

INSTITUIÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS (ICEX)
DEPARTAMENTO DE FÍSICA (DF)
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

THIAGO FERREIRA COUTO

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

ALFENAS - MG

2025

Thiago Ferreira Couto

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

Dissertação apresentada ao Polo Alfenas - MG do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física / Astronomia.

Orientador: Dr. João Vicente Zampieron

Alfenas - MG
2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Couto, Thiago Ferreira.

Gamificação e Robótica Educacionais no Ensino de Ondulatória no Ensino Médio: Desenvolvimento e Avaliação de uma Intervenção Pedagógica / Thiago Ferreira Couto. - Alfenas, MG, 2026.

144 f. : il. -

Orientador(a): João Vicente Zampieron.

Dissertação (Mestrado Nacional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Gamificação. 2. Robótica educacional. 3. Ondulatória. 4. Metodologias ativas. 5. Ensino de Física. I. Zampieron, João Vicente, orient. II. Título.

THIAGO FERREIRA COUTO

TÍTULO: GAMIFICAÇÃO E ROBÓTICA EDUCACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA DE ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UMA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA.

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Física / Astronomia.

Aprovada em: 11 de Dezembro de 2025.

Prof. Dr. João Vicente Zampieron
Presidente da Banca Examinadora
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Frederico Augusto Toti
Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL

Prof. Dr. Adhimar Flávio Oliveira
Instituição: Universidade Federal de Itajuba - UNIFEI



Documento assinado eletronicamente por **João Vicente Zampieron, Usuário Externo**, em 27/02/2026, às 12:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1727001** e o código CRC **77BA1838**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que amam a ciência e o conhecimento, que veem na curiosidade humana o motor do progresso e na razão a luz que dissipa as sombras da ignorância.

Aos que acreditam que a educação e a ciência são as armas pacíficas mais poderosas já criadas — capazes de romper paradigmas políticos, sociais e étnicos — e que lutam todos os dias, nas salas de aula, nos laboratórios e na vida, para construir um mundo mais justo, livre e iluminado pela compreensão.

Que esta obra seja um tributo à fé inabalável na inteligência, na ética e na esperança que só o saber pode inspirar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Criador e meu Deus, fonte de toda sabedoria e luz, por guiar meus passos e me conceder força nos momentos de dúvida e serenidade nas horas de incerteza.

Ao meu pai (*in memoriam*), cuja presença permanece viva em minha memória e em cada conquista que alcanço; seus conselhos e exemplo continuam a ser meu alicerce silencioso. À minha mãe, pelo amor incondicional, paciência e fé que sustentam meus dias; e à minha irmã, companheira de jornada, por seu apoio, carinho e incentivo constante.

Agradeço com gratidão profunda aos meus professores, que me inspiraram a trilhar o caminho do conhecimento e a acreditar que ensinar é um ato de eternidade. Cada lição transmitida foi uma semente plantada em meu espírito curioso.

E, por fim, ao meu orientador, cuja orientação sábia, paciência e confiança foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua dedicação e exemplo de compromisso acadêmico reforçaram em mim a importância de unir rigor científico à paixão pelo ensino.

A todos, minha sincera gratidão — por acreditarem, apoiarem e fazerem parte desta caminhada que é, acima de tudo, um ato de fé e amor pela ciência.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

EPÍGRAFE

“Na vida, nada deve ser temido, apenas compreendido.”

(Marie Curie, 1933)

Esta frase ecoa como um chamado à coragem intelectual. A ciência não é um território de mistério inacessível, mas um convite ao entendimento — uma jornada em que o medo dá lugar à curiosidade e a dúvida se transforma em descoberta. Cabe a nós, professores e cientistas, despertar esse espírito nos alunos: mostrar que cada equação, cada experimento e cada hipótese são passos rumo à liberdade do pensamento. Ensinar ciência é acender a chama da compreensão, é inspirar mentes a olhar para o desconhecido não com receio, mas com a ousadia de quem sabe que compreender é o primeiro ato de transformar o mundo.

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional baseado na integração entre gamificação e robótica para o ensino de ondulatória no Ensino Médio. A proposta resultou na criação do jogo de tabuleiro “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”, que utiliza desafios conceituais, pontuação e recompensas simbólicas associadas à construção de uma trena digital ultrassônica programada na plataforma Arduino. A pesquisa fundamenta-se em referenciais teóricos que articulam o “construtivismo” de Piaget e o “construcionismo” de Papert. Quanto à metodologia, o estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e delineamento quase-experimental, envolvendo alunos do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública. Os dados qualitativos foram coletados por observação participante e registros reflexivos. Os resultados demonstraram ganhos expressivos de aprendizagem, maior engajamento e fortalecimento do raciocínio científico, evidenciando que a associação entre ludicidade, tecnologia e prática experimental potencializa a compreensão dos fenômenos ondulatórios. Conclui-se que a robótica educacional e a gamificação configuram estratégias eficazes para tornar o ensino de Física mais dinâmico, significativo e conectado à realidade tecnológica dos estudantes.

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

ABSTRACT

This research aimed to develop, implement, and evaluate an educational product based on the integration of gamification and robotics for teaching wave phenomena in high school. The proposal resulted in the creation of the board game "Bat e Volta – Curta Essa Onda!" (Bat and Back – Enjoy This Wave!), which uses conceptual challenges, scoring, and symbolic rewards associated with the construction of an ultrasonic digital tape measure programmed on the Arduino platform. The research is based on theoretical frameworks that combine Piaget's "constructivism" and Papert's "constructionism." Regarding methodology, the study is characterized as applied research, with a qualitative approach and quasi-experimental design, involving second-year high school students from a public school. Qualitative data were collected through participant observation and reflective records. The results demonstrated significant learning gains, increased 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 constitute effective strategies to make Physics teaching more dynamic, meaningful and connected to the technological reality of students.

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

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ONDULATÓRIA, GAMIFICAÇÃO E ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA	17
2.1	CONCEITOS DE FÍSICA: ONDULATÓRIA	17
2.2	GAMIFICAÇÃO NA EDUCAÇÃO	28
2.3	ROBÓTICA EDUCACIONAL E CULTURA <i>MAKER</i>	33
2.4	PARADIGMAS TEÓRICO-PEDAGÓGICOS	43
2.5	ESTUDOS ANTERIORES E META-ANÁLISES	55
3	METODOLOGIA	70
3.1	DESCRIÇÃO DO PRODUTO PEDAGÓGICO – O JOGO: “BAT E VOLTA – CURTA ESSA ONDA!”	70
3.2	MATERIAIS E RECURSOS UTILIZADOS	71
3.3	RECURSOS HUMANOS E TECNOLÓGICOS	72
3.4	PÚBLICO-ALVO	72
3.5	PROGRAMAÇÃO	72
3.6	PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DO JOGO	72
3.7	CONSTRUÇÃO DA TRENA DIGITAL ULTRASSÔNICA	73
3.8	ENCERRAMENTO E REFLEXÃO	73
3.9	MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	73
3.10	ANÁLISE DE DADOS	74
4	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO	75
4.1	DETALHAMENTO DE CRIAÇÃO DO JOGO	75
4.2	ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA	76
4.3	DESAFIOS ENCONTRADOS E SOLUÇÕES ADOTADAS	77
4.4	GESTÃO DE TEMPO DURANTE A ATIVIDADE	78
4.5	MANUTENÇÃO DO INTERESSE E ENGAJAMENTO DOS ALUNOS	79
5	ESTUDO METODOLÓGICO	79
5.1	CONFIABILIDADE E VALIDADE DO INSTRUMENTO	79
5.2	PLANO DE ANÁLISE	80
5.3	PROCEDIMENTOS APLICADOS	80
5.4	ETAPAS	81
5.5	RESULTADOS DIDÁTICOS UTILIZADOS	81
5.6	CONSIDERAÇÕES ÉTICAS	81
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICES	94

1 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 (PCN) (Brasil, 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 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.

A decisão de ingressar no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) intensificou ainda mais esse interesse. A busca por um objeto de estudo que unisse o gosto pelas tecnologias educacionais à necessidade de uma intervenção pedagógica inovadora levou à concepção de um jogo didático, capaz de integrar elementos lúdicos com práticas de programação e prototipagem utilizando Arduino. A intenção não era apenas criar um recurso diferente, mas propor uma experiência metodológica que dialogasse com as demandas atuais do ensino de Ciências.

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.

Diversas pesquisas desenvolvidas no contexto brasileiro do Ensino de Física indicam que a Ondulatória constitui um dos conteúdos conceitualmente mais desafiadores para os estudantes. Um fator central apontado na literatura é a natureza abstrata dos fenômenos ondulatórios, que exige do aluno a compreensão de processos que não envolvem deslocamento material do meio, mas sim a propagação de uma perturbação. Moreira (2021) destaca que, em conteúdos dessa natureza, a aprendizagem tende a ser comprometida quando o estudante não dispõe de modelos conceituais adequados para interpretar fenômenos não diretamente observáveis. No caso das ondas, essa dificuldade manifesta-se na confusão recorrente entre o movimento das partículas do meio e o movimento da própria onda, problema amplamente relatado em estudos brasileiros sobre compreensão conceitual em Física.

Outro aspecto amplamente documentado diz respeito às dificuldades na interpretação de representações gráficas e matemáticas, fortemente presentes no estudo da Ondulatória. Pesquisas publicadas na *Revista Brasileira de Ensino de Física* e no *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* mostram que muitos estudantes apresentam dificuldades em atribuir significado físico a gráficos que relacionam grandezas como deslocamento, posição e tempo. Araújo e Veit (2004), ao analisarem o uso de múltiplas representações no ensino de Física,

apontam que a leitura de gráficos frequentemente ocorre de forma fragmentada e algorítmica, sem que o aluno compreenda o fenômeno que o gráfico representa. Em Ondulatória, essa limitação é particularmente crítica, pois a descrição do fenômeno depende da coordenação simultânea entre espaço e tempo, o que exige níveis mais elevados de abstração e integração conceitual.

Além disso, estudos brasileiros baseados na teoria da aprendizagem significativa indicam que a Ondulatória costuma ser ensinada de forma excessivamente formal e descontextualizada, dificultando a ancoragem dos novos conceitos aos conhecimentos prévios dos estudantes. Moreira (1999) argumenta que, quando conceitos fundamentais não encontram subsunçores adequados na estrutura cognitiva do aprendiz, o resultado é uma aprendizagem mecânica e instável. Em investigações sobre ensino de ondas mecânicas, autores brasileiros relatam que os estudantes frequentemente memorizam fórmulas relacionadas à frequência, comprimento de onda e velocidade, mas não conseguem aplicá-las de forma coerente em situações conceituais ou experimentais. Esses resultados reforçam a ideia de que as dificuldades em Ondulatória não são pontuais, mas refletem problemas estruturais na forma como o conteúdo é tradicionalmente abordado no ensino de Física.

Em síntese, a pesquisa brasileira em Ensino de Física aponta que a dificuldade dos alunos com a Ondulatória decorre da combinação de três fatores principais: a abstração intrínseca do fenômeno, a necessidade de interpretar e articular múltiplas representações (gráficas, matemáticas e conceituais) e a predominância de práticas de ensino que favorecem a aprendizagem mecânica em detrimento da construção de significados. Esses elementos explicam por que a Ondulatória figura, de modo recorrente, entre os conteúdos considerados mais complexos e desafiadores pelos estudantes ao longo da formação em Física.

A presente dissertação 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:

- Criar um jogo de tabuleiro 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).

O presente trabalho organiza-se em seis capítulos, além desta Introdução. No Capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica que sustenta a pesquisa. Inicia-se com a discussão dos principais conceitos de ondulatória, suas propriedades, aplicações e dificuldades recorrentes no processo de ensino-aprendizagem. Em seguida, exploram-se os fundamentos da gamificação na educação, suas potencialidades e limitações, bem como as contribuições da robótica educacional e da cultura *maker* para a aprendizagem de Física. Também são analisados os referenciais teórico-pedagógicos (Construtivismo e Construcionismo), com foco em suas tensões, complementaridades e implicações para o ensino. O capítulo conclui com a apresentação de pesquisas prévias e meta-análises sobre o emprego de jogos e robótica em ambientes educacionais.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, caracterizando a natureza da pesquisa, o contexto escolar, os participantes e os instrumentos de coleta de dados. Explica-se o delineamento aplicado, suas limitações e as estratégias qualitativas. Também são detalhados os materiais utilizados, incluindo o jogo “Bat e Volta – Curta essa Onda!” e os protótipos de robótica baseados em Arduino.

No Capítulo 4, tem-se o processo de desenvolvimento e implementação do produto pedagógico. São descritas as etapas de concepção do jogo de tabuleiro, a integração com a robótica educacional, o sistema de pontuação e os desafios propostos aos alunos. Relatam-se ainda os procedimentos de aplicação em sala de aula e as condições reais de execução, destacando os limites de tempo, recursos e engajamento.

O Capítulo 5 traz a análise e discussão dos resultados. São examinados os efeitos da proposta sobre a aprendizagem dos alunos, considerando os dados qualitativos. Os resultados são confrontados com a literatura existente, discutindo convergências e divergências, além de evidenciar as limitações da pesquisa e as implicações pedagógicas do estudo.

Já o Capítulo 6 apresenta as considerações finais, sintetizando as principais contribuições da dissertação para o ensino de Física, especialmente no tema da ondulatória. Também são discutidas as limitações metodológicas, as implicações para a prática docente e são indicadas sugestões de continuidade para futuras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ONDULATÓRIA, GAMIFICAÇÃO E ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO DE FÍSICA

2.1 CONCEITOS DE FÍSICA: ONDULATÓRIA

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; λ : 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 λ ou em f impacta diretamente a dinâmica da onda observada.

Os fenômenos ondulatórios são descritos na Física como processos de propagação de perturbações em um meio material, resultantes da interação entre propriedades elásticas e inerciais desse meio. Define-se ondas sonoras como ondas mecânicas longitudinais, nas quais as oscilações das partículas do meio ocorrem paralelamente à direção de propagação da onda, manifestando-se por sucessivas compressões e rarefações do material (Halliday; Resnick; Walker, 2014). Essa característica distingue as ondas sonoras das ondas transversais, como aquelas que se propagam em cordas, embora ambas possam ser descritas por formalismos matemáticos semelhantes.

A descrição quantitativa das ondas sonoras inicia-se pela representação do deslocamento longitudinal de um elemento do meio. Esse deslocamento pode ser modelado por uma função harmônica do tipo:

$$s(x, t) = s_m \cos(kx - \omega t)$$

Em que $s(x, t)$ representa o deslocamento instantâneo do elemento do meio em relação à sua posição de equilíbrio, s_m é a amplitude do deslocamento, isto é, o valor máximo dessa oscilação, k é o número de onda, definido como $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, sendo λ o comprimento de onda, e ω é a frequência angular, dada por $\omega = 2\pi f$, em que f é a frequência da onda (Tipler; Mosca, 2009).

Essa equação evidencia que o estado do meio depende simultaneamente da posição e do tempo, caracterizando a natureza espaço-temporal do fenômeno ondulatório.

Associada ao deslocamento das partículas do meio, surge a variação de pressão característica das ondas sonoras. Quando um elemento do meio é comprimido ou expandido pela passagem da onda, ocorre uma variação local da pressão em relação à pressão atmosférica de equilíbrio. Essa variação pode ser expressa por uma equação senoidal do tipo:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \sin(kx - \omega t)$$

Em que $\Delta p(x, t)$ é a variação instantânea da pressão e Δp_m representa a amplitude da variação de pressão (Halliday; Resnick; Walker, 2014). A defasagem de $\pi/2$ entre as funções de deslocamento e de pressão indica que o deslocamento máximo ocorre quando a variação de pressão é nula, e vice-versa, aspecto fundamental para compreender a dinâmica microscópica da propagação sonora.

A velocidade de propagação da onda sonora no meio é outro conceito central, sendo determinada exclusivamente pelas propriedades físicas do material. A velocidade do som pode ser escrita como:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Em que B é o módulo de elasticidade volumétrico do meio, relacionado à resistência do material à compressão, e ρ é a massa específica do meio (Tipler; Mosca, 2009). Essa relação explica por que o som se propaga mais rapidamente em sólidos e líquidos do que em gases, uma vez que materiais mais rígidos apresentam maior valor de B . A equação também evidencia que a velocidade da onda não depende da amplitude nem da frequência, mas apenas das propriedades do meio de propagação.

Além do deslocamento e da pressão, a análise energética das ondas sonoras envolve o conceito de intensidade sonora, definida como a potência média transportada pela onda por unidade de área. A intensidade I pode ser expressa como:

$$I = \frac{P}{A}$$

Onde P é a potência da fonte sonora e A é a área da superfície sobre a qual a energia se distribui. Para uma fonte pontual isotrópica, a intensidade decresce com o quadrado da distância

à fonte, conforme a relação $I = \frac{P}{4\pi r^2}$, o que traduz matematicamente a conservação da energia na propagação esférica das ondas sonoras (Halliday; Resnick; Walker, 2014).

Por fim, um fenômeno ondulatório de grande relevância física é o efeito Doppler, que ocorre quando há movimento relativo entre a fonte sonora e o observador. Esse efeito mostrando que a frequência percebida difere da frequência emitida, em função das velocidades envolvidas. Um exemplo notável apresentado na obra é o da ecolocalização de morcegos, que emitem ondas sonoras de alta frequência e analisam o eco refletido por objetos ou presas em movimento. A variação da frequência do eco permite determinar a velocidade relativa do alvo, ilustrando de forma clara como as equações da Ondulatória se aplicam a sistemas biológicos reais e reforçando o caráter universal desses princípios físicos (Halliday; Resnick; Walker, 2014).

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, 2014).

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; 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; 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 20 Hz e 20.000 Hz, ou seja, ondas sonoras abaixo dessa faixa são consideradas infrassom e acima são chamadas de ultrassom e, portanto, inaudíveis para humanos.

A ondulatória, no âmbito da física, trata dos fenômenos nos quais uma perturbação se propaga através de um meio (ou, no caso de ondas eletromagnéticas, através do vácuo) sem que haja transporte significativo de massa entre os pontos do meio. (Halliday; Resnick; Walker, 2014, p. 444) e, nesse processo, as partículas do meio oscilam em torno de uma posição de equilíbrio, mas retornam a ela, de modo que o meio não se desloca globalmente. Também se ressalta que essa propagação implica a transferência de energia e momento, e não de matéria em massa (Halliday; Resnick; Walker, 2014, p. 446). A clareza desse conceito é fundamental no ensino médio para que o aluno entenda que “o que se propaga” é a perturbação, não o meio em si.

As propriedades fundamentais de uma onda — como comprimento de onda (λ), frequência (f), período (T), amplitude (A) e velocidade de propagação (v) — formam o núcleo teórico da ondulatória. No livro *Physics for Scientists and Engineers* (Giancoli, 7. ed.) encontra-se a definição: “Uma onda é qualquer perturbação de uma condição de equilíbrio ... que se propaga com o tempo de uma região do espaço para outra.” (Giancoli, 2014, p. 342), e distingue-se entre ondas transversais, em que a oscilação das partículas é perpendicular à direção de propagação, e ondas longitudinais, em que a oscilação é paralela. A fórmula clássica da velocidade de onda ($v = \lambda \cdot f$), permite relacionar diretamente as grandezas. Essas propriedades permitem ao professor do Ensino Médio orientar os alunos nas diferentes classificações das ondas (mecânicas vs. eletromagnéticas; transversais vs. longitudinais) e fornecer-lhes ferramentas para quantificar fenômenos de maneira rigorosa (Halliday; Resnick; Walker, 2014, p. 449).

A partir dessa base teórica, é possível abordar outros efeitos ondulatórios relevantes para o ensino: reflexão, refração, difração, interferência e ressonância. Por exemplo, Halliday; Resnick; Walker (2014) tratam das condições de contorno que geram ondas estacionárias,

ressaltando que “Ondas estacionárias surgem da superposição de duas ondas de mesma frequência viajando em direções opostas.”

Esses conceitos são vitais para o entendimento dos fenômenos ondulatórios, e permitem ir além da simples definição, estimulando o aluno a perceber padrões matemáticos e físicos, bem como a desenhar e interpretar gráficos de onda, crista, vale, nós e antinós.

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 $v = \lambda \cdot f$.

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 Ondulatória constitui um campo essencial da Física que se dedica ao estudo da produção, propagação e recepção das ondas. Em sua essência, uma onda é uma perturbação que se propaga em um meio (ou no vácuo, no caso das ondas eletromagnéticas), transferindo energia de um ponto a outro sem transportar matéria.

O estudo da Ondulatória é baseado em um conjunto de grandezas que descrevem o movimento ondulatório: comprimento da onda (distância entre dois pontos consecutivos que estão na mesma fase; frequência (número de oscilações que a onda completa num determinado intervalo de tempo); período (tempo necessário para que a onda complete um ciclo); amplitude (intensidade máxima da perpetuação) e velocidade da propagação (velocidade da energia em que se desloca no meio).

Todas as ondas, sejam mecânicas ou eletromagnéticas, estão sujeitas a fenômenos que governam sua interação com o meio:

- Reflexão: Ocorre quando a onda incide em um obstáculo e retorna ao meio de origem. É o princípio fundamental do eco, do sonar e da ecolocalização (como a utilizada pelos morcegos).
- Refração: Caracteriza-se pela mudança na velocidade e no comprimento de onda quando a onda passa de um meio para outro (a luz que passa do ar para a água), frequentemente resultando em desvio na direção de propagação.
- Difração: É a capacidade que uma onda tem de contornar obstáculos ou se espalhar após passar por aberturas estreitas.
- Interferência: É a superposição de duas ou mais ondas no mesmo ponto do espaço, podendo resultar em uma onda de maior amplitude (interferência construtiva) ou de menor amplitude (interferência destrutiva).
- Polarização: É um fenômeno exclusivo de ondas transversais (como a luz), onde a direção de vibração da onda é restringida a um único plano.

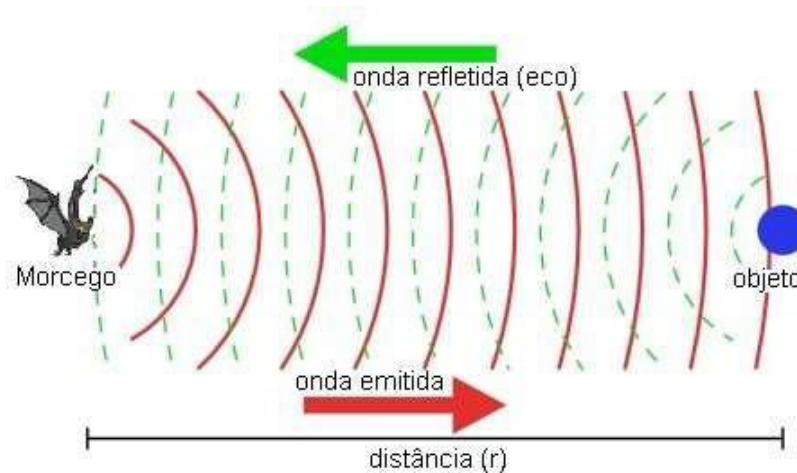
O estudo da Ondulatória é vital porque fundamenta a maioria das tecnologias de comunicação e sensoriamento que utilizamos diariamente. Além disso, é a base teórica que explica como a energia se move ao nosso redor, permitindo desde a comunicação global até o diagnóstico médico, evidenciando sua importância central na Física e na Engenharia.

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; 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).

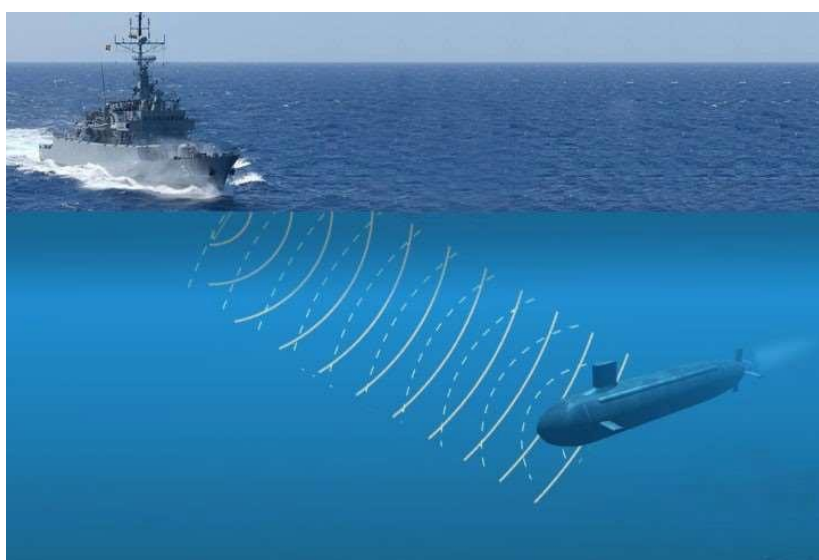
Ao interpretar os tempos de retorno, a intensidade e a variação de frequência dos ecos, os morcegos podem calcular com precisão a distância e a posição dos objetos. Esse mecanismo é tão avançado que permite a alguns morcegos discernir texturas e diferenciar presas de outros objetos fixos ou móveis no ambiente (Fenton, 2003).

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.

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; Resnick; Walker, 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). 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.

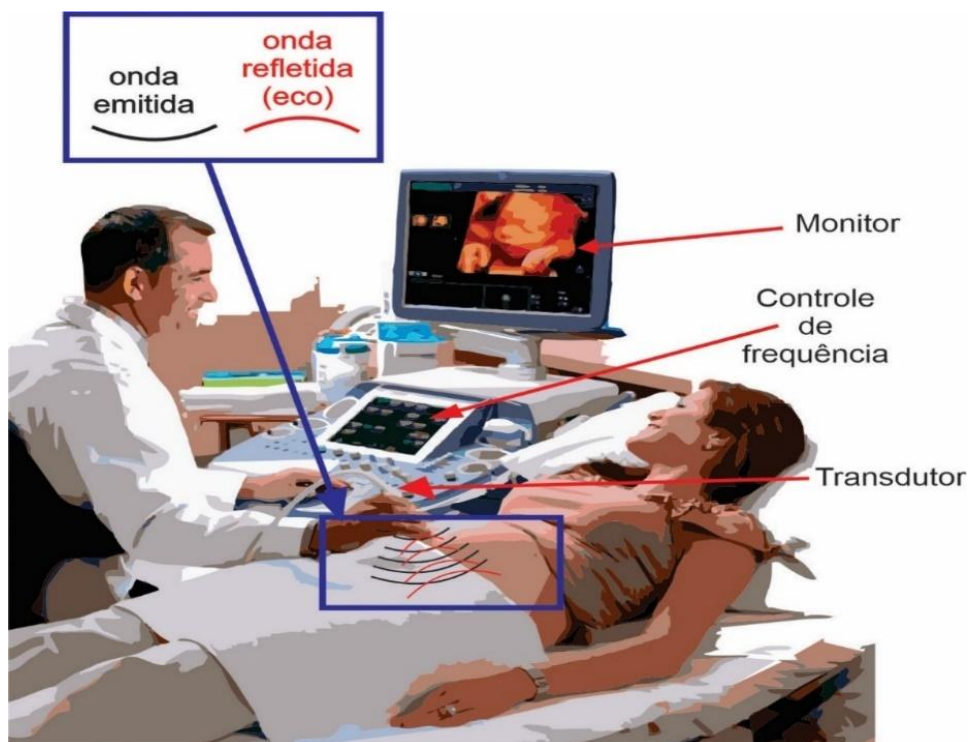
Figura 3 – Imagem de um feto em ultrassonografia obstétrica



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; 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 recebê-las 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; Resnick; Walker, 2016; Kawakami *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.

Sobre o efeito Doppler, temos a definição:

Quando um observador e uma fonte sonora permanecem em repouso em relação a um meio homogêneo, vemos que a frequência do movimento ondulatório permanece constante. Suponha que o observador esteja parado em relação ao meio, mas que a fonte se mova em relação a este meio, ou que o observador se mova em relação ao meio, ou então que ambos estejam em movimento em relação ao meio. Neste caso, a frequência medida pelo observador não é igual a frequência medida por um observador que se move no mesmo sistema da fonte. A variação de frequência produzida pelo movimento relativo entre observador e a fonte constitui o chamado *efeito Doppler* (Luiz, 2007, p. 80).

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; 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; 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 relevância desse conteúdo também se manifesta no campo tecnológico. O domínio dos princípios ondulatórios é fundamental para compreender o funcionamento de dispositivos como sensores, radares, lasers e sistemas de comunicação. De acordo com Young; Freedman (2020), essa relação entre teoria e aplicação contribui para formar cidadãos mais conscientes do papel da ciência e da tecnologia no cotidiano.

A formação científica sólida requer, portanto, um ensino de ondulatória que vá além da memorização e do formalismo. É preciso articular conceitos, contextos e práticas, permitindo que o estudante se perceba como agente de construção do conhecimento.

2.2 GAMIFICAÇÃO NA EDUCAÇÃO

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.

Podemos dizer que "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 *gamification* (do inglês: *gamificação*) 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.

Kapp (2012) argumenta que a gamificação educativa deve ser compreendida como uma abordagem instrucional que combina as dinâmicas motivacionais dos jogos com os objetivos pedagógicos da sala de aula. O autor ressalta que a aprendizagem gamificada não se resume à competição ou à coleta de pontos, mas ao uso intencional de *feedback*, progressão e recompensas para estimular o pensamento crítico e a resolução de problemas. "A gamificação é, antes de tudo, um meio de promover comportamentos desejáveis e resultados de aprendizagem por meio de um design instrucional que desperta o mesmo tipo de engajamento emocional, cognitivo e social que encontramos nos jogos digitais" (Kapp, 2012, p. 19).

Para Prensky (2010), pioneiro na discussão sobre jogos digitais e aprendizagem, os estudantes contemporâneos pertencem a uma geração imersa em linguagens interativas e digitais, o que exige que as práticas pedagógicas sejam repensadas para dialogar com sua cultura e suas formas de aprender. Assim, a gamificação surge como um recurso de mediação entre o universo tecnológico dos alunos e os conteúdos escolares, permitindo a construção de significados a partir de desafios e *feedbacks* contínuos.

Estudos indicam que a gamificação pode contribuir para a melhoria do desempenho acadêmico e do engajamento dos estudantes. Hamari *et al.* (2014) realizaram uma revisão da literatura sobre os efeitos da gamificação e concluíram que "a gamificação tende a ter efeitos positivos, mas os resultados dependem do contexto em que é aplicada e do modo como os elementos de jogo são implementados" (Hamari *et al.*, 2014, p. 3025).

No entanto, é importante que a implementação da gamificação seja cuidadosamente planejada, considerando as necessidades e características dos alunos, para evitar possíveis efeitos negativos, como a desmotivação ou a competição excessiva. Hanus e Fox (2015) alertam que "a utilização de técnicas como pontuações e ranqueamentos pode, em alguns casos, ter um impacto contraproducente na motivação intrínseca dos alunos a longo prazo" (Hanus; Fox, 2015, p. 152).

Zichermann; Cunningham (2011) reforçam que os elementos centrais da gamificação — pontos, níveis, recompensas, missões, rankings e feedback — são eficazes quando associados a um propósito significativo. Sem essa intencionalidade, há o risco de transformar a aprendizagem em mera repetição mecânica de tarefas, sem envolvimento cognitivo real. Hamari *et al.* (2014) complementam que a gamificação bem planejada não substitui a pedagogia, mas a potencializa ao favorecer a participação ativa do aprendiz e ao criar ambientes de engajamento contínuo.

Os jogos, quando utilizados com propósito educacional, devem oferecer aos aprendizes a oportunidade de experimentar, errar, corrigir e tentar novamente, em um ciclo constante de aprendizagem. A gamificação traz essa lógica para o ensino, transformando o erro em parte natural e produtiva do processo (Prensky, 2010, p. 24).

A partir dessas concepções, entende-se que a gamificação na educação não é um modismo tecnológico, mas uma estratégia de ensino que ressignifica o papel do aluno e do professor, aproximando a aprendizagem dos princípios de interatividade e desafio próprios dos ambientes digitais (Deterding *et al.*, 2011; Kapp, 2012).

Os efeitos da gamificação sobre o aprendizado têm sido amplamente investigados nas últimas duas décadas, com resultados promissores, mas também com ressalvas. Uma das revisões mais citadas é a metanálise conduzida por Hamari *et al.* (2014), que analisou 24 estudos empíricos e concluiu que a maioria reportou efeitos positivos sobre motivação, engajamento e desempenho, embora a magnitude do impacto dependa do contexto e do desenho da intervenção. Os autores alertam que resultados inconsistentes costumam estar relacionados à ausência de planejamento pedagógico e à ênfase excessiva em recompensas extrínsecas.

Em pesquisa posterior, Subhash; Cudney (2018) realizaram uma revisão sistemática com 64 estudos e observaram que a gamificação melhora a colaboração e o desempenho em tarefas cognitivamente complexas, especialmente quando associada a metodologias ativas, como *problem-based learning* (do inglês: aprendizagem baseada em problemas) e aprendizagem por projetos. Esses resultados reforçam que a gamificação é mais efetiva quando integrada a uma estratégia de ensino mais ampla, e não utilizada isoladamente. “A gamificação pode ser

uma ferramenta poderosa para promover a aprendizagem significativa, desde que o design do sistema seja cuidadosamente planejado, baseado em objetivos educacionais claros e sustentado por princípios de motivação intrínseca” (Subhash; Cudney, 2018, p. 21).

Em uma metanálise mais ampla, Sailer; Homner (2020) avaliaram 43 estudos empíricos e confirmaram ganhos significativos em engajamento e desempenho, especialmente quando as mecânicas de jogo são vinculadas a elementos narrativos e de cooperação. No entanto, os autores enfatizam que o impacto da gamificação depende da clareza dos objetivos instrucionais e da adequação das recompensas ao perfil dos estudantes. “Os efeitos da gamificação não são universais nem automáticos; eles emergem do alinhamento entre o design pedagógico, os objetivos de aprendizagem e as necessidades motivacionais dos participantes” (SAILER; HOMNER, 2020, p. 18).

A análise das evidências demonstra que, embora ainda existam lacunas metodológicas, há um consenso crescente de que a gamificação pode contribuir para o aprendizado significativo, desde que apoiada por uma base teórica consistente e aplicada em contextos que valorizem a autonomia e a cooperação (Hamari *et al.*, 2014; Subhash; Cudney, 2018; Sailer; Homner, 2020).

Um dos principais debates teóricos sobre gamificação diz respeito à relação entre motivação intrínseca e extrínseca. De acordo com a Teoria da Autodeterminação, formulada por Deci; Ryan (1985), a motivação intrínseca decorre do interesse e da satisfação pessoal em realizar uma tarefa, enquanto a motivação extrínseca está ligada a recompensas externas, como pontos ou prêmios. Em ambientes educacionais, equilibrar essas dimensões é um desafio constante.

Kapp (2012) adverte que o uso indiscriminado de recompensas pode reduzir a motivação intrínseca, tornando o aprendizado dependente de estímulos externos. No entanto, quando bem planejada, a gamificação pode fortalecer o senso de competência e autonomia, estimulando o engajamento genuíno dos alunos.

A motivação sustentada pela gamificação surge quando o aluno percebe que os desafios têm significado e que o feedback recebido contribui para seu crescimento. A recompensa, nesse caso, não é o objetivo final, mas um reconhecimento simbólico de sua progressão (Kapp, 2012, p. 63).

Sailer; Homner (2020) afirmam que elementos como narrativa, cooperação e *feedback* imediato favorecem a motivação intrínseca, ao passo que recompensas acumulativas e rankings reforçam dimensões extrínsecas. A eficácia da gamificação, portanto, depende do equilíbrio entre essas duas forças. Prensky (2010) complementa que os jogos educativos devem permitir

liberdade de experimentação e erro, pois é no processo de tentativa e superação que ocorre a aprendizagem significativa.

Para que um ambiente gamificado seja considerado eficaz, ele deve proporcionar um nível de desafio que estimule o aluno, e não o frustre. Além disso, as recompensas devem ser sentidas como mérito, e não como manipulação, e o envolvimento deve ser mantido sem comprometer a autonomia do aluno para definir seus caminhos. (Sailer; Homner, 2020, p. 22).

Autores como Deci; Ryan (2000) e Deterding *et al.* (2011) defendem que o foco da gamificação deve estar na satisfação das necessidades psicológicas básicas de competência, autonomia e pertencimento. Quando essas necessidades são atendidas, a motivação intrínseca se mantém estável, mesmo na presença de recompensas externas. Essa perspectiva reforça que o design pedagógico deve valorizar o significado das atividades e o papel ativo do estudante.

Neste caminho, a gamificação na educação apresenta potenciais expressivos, mas também riscos concretos. Pode promover o engajamento e a aprendizagem significativa se alinhada a objetivos claros, contextos adequados e práticas pedagógicas que privilegiem o protagonismo discente. Por outro lado, quando aplicada de forma superficial, corre o risco de reforçar comportamentos competitivos e reduzir a motivação intrínseca. Portanto, cabe ao educador compreender que gamificar é mais do que introduzir jogos: é desenhar experiências de aprendizagem que despertem curiosidade, autonomia e prazer em aprender (Deci; Ryan, 2000; Kapp, 2012; Sailer; Homner, 2020).

Embora a gamificação tenha ganhado destaque como estratégia pedagógica inovadora, autores clássicos da didática alertam para o risco de sua adoção acrítica e superficial. Metodologias ativas só produzem aprendizagem significativa quando estão articuladas a objetivos cognitivos claros e a processos reflexivos consistentes; caso contrário, tendem a reduzir-se a práticas motivacionais efêmeras, centradas mais na dinâmica do jogo do que na construção do conhecimento (Bordenave; Pereira, 1982). Nesse sentido, a gamificação pode favorecer uma aprendizagem fragmentada, na qual o aluno se envolve com desafios pontuais e recompensas imediatas, mas sem necessariamente estabelecer relações conceituais profundas ou compreender os fundamentos teóricos subjacentes aos conteúdos trabalhados.

A organização das práticas educativas, enfatiza que estratégias metodológicas não são neutras e devem ser avaliadas à luz das competências que se pretende desenvolver (Zabala, 1998). Sob essa perspectiva, um dos limites da gamificação reside na tendência de privilegiar dimensões procedimentais e atitudinais em detrimento dos conteúdos conceituais mais abstratos, especialmente em áreas como a Física. Quando mal estruturada, a gamificação pode induzir o

aluno a focar excessivamente em metas externas — como pontuações, rankings ou recompensas simbólicas — deslocando a atenção do processo de compreensão conceitual. Tal dinâmica pode reforçar uma lógica de desempenho imediato, em vez de favorecer a elaboração progressiva e crítica do conhecimento científico.

Metodologias inovadoras, incluindo a gamificação, exigem planejamento rigoroso, intencionalidade pedagógica e formação docente adequada para evitar distorções em sua aplicação (Bacich; Moran, 2018). Os autores alertam que, sem uma mediação pedagógica consistente, a gamificação pode acentuar desigualdades entre os estudantes, favorecendo aqueles com maior familiaridade com linguagens digitais ou maior competitividade, ao mesmo tempo em que desmotiva alunos que não se identificam com esse tipo de dinâmica. Além disso, Moran destaca que o excesso de estímulos lúdicos pode dificultar o desenvolvimento da autonomia intelectual e da autorregulação da aprendizagem, competências essenciais para a formação crítica e científica dos estudantes.

Além disso, Moreira (2021) chama atenção para o fato de que muitos currículos e práticas pedagógicas não favorecem a integração entre teoria, representação e fenômeno físico. Em Ondulatória, essa fragmentação é particularmente prejudicial, pois o entendimento conceitual depende da coordenação entre experimentos, simulações, gráficos, diagramas e linguagem matemática. Quando essa integração não ocorre, o estudante pode até resolver exercícios algorítmicos, mas sem compreender efetivamente o significado físico das soluções obtidas. Assim, as dificuldades no ensino de Ondulatória não devem ser atribuídas apenas à complexidade do conteúdo, mas a um quadro mais amplo de desafios no ensino de Física, conforme apontado por Moreira, que envolve a necessidade de práticas didáticas voltadas à aprendizagem significativa, à modelagem e à interpretação crítica de representações científicas.

2.3. ROBÓTICA EDUCACIONAL E CULTURA *MAKER*

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 e 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* (do inglês: fazer), amplamente discutido por Blikstein (2013), que propõe a criação de ambientes escolares de experimentação, como laboratórios de *fab labs* (do inglês: fabricação digital) 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.

Para Bers (2021), a robótica é uma poderosa linguagem para a expressão do pensamento científico e computacional, pois permite que os aprendizes formulem ideias, testem hipóteses e verifiquem resultados concretos. O processo de construção de robôs envolve lógica, planejamento, depuração de erros e reflexão, aspectos que desenvolvem habilidades cognitivas

superiores e reforçam o senso de autoria. A autora destaca ainda o caráter socioemocional da prática robótica, uma vez que ela promove empatia, cooperação e persistência.

A robótica educacional pode ser classificada de diferentes formas, dependendo dos objetivos pedagógicos e dos recursos tecnológicos utilizados. Alimisis (2013) propõe três níveis: robótica de exploração, voltada à familiarização com sensores e atuadores; robótica de modelagem, que busca reproduzir fenômenos do mundo real; e robótica de projeto, na qual os alunos desenvolvem soluções originais para problemas abertos. Essa hierarquização evidencia que o foco da robótica não é apenas técnico, mas formativo, desenvolvendo autonomia intelectual e pensamento crítico.

Segundo a perspectiva de Alimisis (2013), a robótica educacional não se resume à montagem, mas configura-se como um ambiente de aprendizado prático. Nesse contexto, os estudantes são incentivados a investigar fenômenos, construir protótipos e adquirir uma compreensão aprofundada da lógica dos sistemas tecnológicos.

Resnick (2017), criador do projeto *Scratch* no *MIT Media Lab*, enfatiza que a robótica e a programação são meios de ampliar as formas de expressão e promover o que denomina de *Creative Learning Spiral* (do inglês: Espiral de Aprendizagem Criativa) o ciclo contínuo de imaginar, criar, brincar, compartilhar e refletir. Essa espiral de aprendizagem reforça o papel do erro e da iteração como componentes essenciais do aprendizado. No contexto educacional, a robótica funciona como uma extensão dessa espiral, na qual o aluno explora conceitos científicos ao mesmo tempo em que desenvolve uma mentalidade criativa.

A cultura *maker* emerge como uma extensão natural do construcionismo de Papert, adaptada ao século XXI e impulsionada pelo acesso a tecnologias digitais acessíveis. Blikstein (2013) afirma que a incorporação dessa cultura nas escolas representa uma mudança paradigmática: o foco passa da instrução para a invenção. A robótica, nesse cenário, torna-se uma das ferramentas mais potentes para concretizar esse novo paradigma, pois integra teoria e prática, pensamento e ação, abstração e materialidade.

Bers (2021) propõe o conceito de *coding as a playground* (do inglês: programar como brincar), que preconiza que as atividades de robótica e programação devem ser exploratórias e lúdicas, respeitando o ritmo individual de aprendizagem e fomentando o engajamento autêntico. Essa metáfora poderosa ressalta que a aprendizagem significativa é alcançada quando o aluno se sente emocionalmente envolvido com a atividade, uma condição naturalmente facilitada pela robótica por meio da experimentação e do desafio prático.

A robótica educacional também favorece o desenvolvimento do chamado pensamento computacional, definido por Wing (2006) como o conjunto de habilidades cognitivas

necessárias para resolver problemas de forma lógica e estruturada. Ao programar um robô, o aluno aprende a decompor um problema em partes menores, identificar padrões e projetar algoritmos, o que o aproxima da lógica científica e da metodologia investigativa da Física e da Engenharia.

Além do aspecto cognitivo, a robótica promove o aprendizado colaborativo. Segundo Blikstein (2013), a construção coletiva de projetos robóticos estimula a negociação de ideias, a divisão de tarefas e a resolução de conflitos, competências essenciais para o trabalho em equipe. Essa dimensão social está em consonância com a teoria sociocultural de Vygotsky (2007), segundo a qual o aprendizado ocorre mediado pela interação e pela linguagem.

A robótica é um meio privilegiado de aprendizagem colaborativa, pois cada construção é resultado de múltiplas vozes, saberes e contribuições. Ao cooperar, o aluno aprende a argumentar, a justificar e a compreender perspectivas diferentes das suas (Blikstein, 2013, p. 67).

Papert (1993) defende que o uso de tecnologias como o *Logo* (precursor das linguagens de programação educativas) já demonstrava o potencial de criar ambientes intelectualmente ricos, onde a experimentação substitui a memorização. Essa visão se mantém atual, pois a robótica e o pensamento *maker* ampliam o alcance desse modelo, oferecendo uma nova epistemologia de aprendizagem, na qual o conhecimento é construído por meio da manipulação concreta de ideias.

A robótica educacional tem sido incorporada progressivamente aos currículos de educação básica em diversos países. No Brasil, sua presença cresce com o avanço de programas institucionais e de políticas públicas voltadas à inovação e à educação tecnológica. Segundo Bers (2021), essa expansão reflete o reconhecimento da robótica como um caminho para o desenvolvimento de competências do século XXI, tais como criatividade, colaboração e pensamento crítico.

Resnick (2017) argumenta que a robótica e as práticas *maker* contribuem para tornar o ensino mais inclusivo, pois valorizam múltiplas formas de expressão e possibilitam que estudantes com diferentes estilos de aprendizagem participem ativamente. Ao contrário de metodologias centradas apenas na abstração, a robótica permite que o aprendizado se dê de modo visual, tátil e interativo.

Blikstein (2013) ressalta que a robótica e a fabricação digital resgatam a importância da experimentação manual na formação científica. Ao manipular componentes eletrônicos, motores e sensores, os estudantes percebem relações entre teoria e prática, o que favorece a compreensão dos conceitos físicos subjacentes aos sistemas tecnológicos. “Quando o estudante

constrói um robô, ele está, na verdade, construindo um modelo físico do seu próprio pensamento. O artefato torna-se um espelho cognitivo que reflete o modo como ele compreende o mundo” (Resnick, 2017, p. 39).

Alimisis (2013) destaca que a robótica, por unir ação e reflexão, proporciona oportunidades únicas de avaliação formativa. O professor pode observar o processo de resolução de problemas, identificar equívocos conceituais e intervir de forma pontual, garantindo que a aprendizagem se mantenha significativa e contínua. Essa perspectiva se aproxima das metodologias de pesquisa-ação, em que o conhecimento é construído de forma colaborativa entre professor e aluno.

Bers (2021) argumenta que a robótica também contribui para o desenvolvimento ético e cidadão. Ao programar e projetar máquinas que interagem com o ambiente, os alunos são levados a refletir sobre o impacto social e ambiental das tecnologias. Essa dimensão ética é essencial para a formação científica contemporânea, que deve considerar tanto a eficácia técnica quanto a responsabilidade social.

Neste caminho, a robótica educacional e a cultura *maker* sintetizam a convergência entre teoria pedagógica e inovação tecnológica. Como afirmam Blikstein (2013) e Papert (1980), trata-se de uma pedagogia do fazer e do pensar, na qual o erro é valorizado como parte do processo criativo e a curiosidade é o motor da aprendizagem. A robótica, portanto, não é apenas um instrumento didático, mas uma linguagem contemporânea que ensina o aluno a compreender, projetar e transformar o mundo.

O avanço das políticas educacionais voltadas ao ensino de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (sigla em inglês: STEM) tem impulsionado pesquisas sobre o impacto da robótica educacional como instrumento de aprendizagem interdisciplinar. Para Alimisis (2013), a robótica ocupa um papel privilegiado na integração entre as áreas de STEM, pois permite que os alunos experimentem fenômenos físicos enquanto aplicam conceitos matemáticos e princípios de engenharia na construção de protótipos. Essa transversalidade favorece uma compreensão mais ampla da natureza da ciência e da tecnologia, promovendo a alfabetização científica e digital.

Diversas investigações indicam que o uso da robótica em projetos STEM promove o desenvolvimento de competências cognitivas superiores, tais como o pensamento crítico, a análise de sistemas e a resolução criativa de problemas (Bers, 2021). A experiência prática de construir e programar robôs exige que os alunos compreendam os fundamentos físicos e matemáticos por trás de seus movimentos e respostas, estabelecendo uma ponte concreta entre a teoria e a prática científica.

Projetos de robótica educacional proporcionam um ambiente autêntico de aprendizagem, no qual os alunos exploram princípios científicos enquanto projetam artefatos tecnológicos, observam resultados empíricos e refletem sobre os processos envolvidos. Trata-se de uma forma de educação científica experimental e participativa (Alimisis, 2013, p. 19).

Blikstein (2013) argumenta que a robótica aplicada ao ensino STEM representa uma estratégia potente de inclusão, pois engaja estudantes com diferentes perfis cognitivos e socioculturais em torno de desafios comuns. Essa abordagem rompe com o ensino transmissivo e transforma a sala de aula em um espaço de experimentação, onde o erro é parte do processo e não um fracasso. Segundo o autor, ao programar e depurar um robô, o aluno vivencia o método científico em escala reduzida, aprendendo a observar, formular hipóteses, testar e ajustar suas conclusões.

Bers (2021) reforça que a robótica integrada a currículos de Física e Matemática estimula o aprendizado baseado em projetos, permitindo que o aluno desenvolva competências científicas enquanto constrói algo de valor pessoal. Essa combinação de agência e propósito é fundamental para consolidar a motivação intrínseca e a aprendizagem significativa, conforme as teorias de Papert (1980). Assim, a robótica transcende o status de ferramenta e se converte em uma metodologia ativa que ressignifica o papel do estudante.

Pesquisas recentes demonstram que o engajamento em projetos robóticos contribui para a melhoria no desempenho em testes padronizados e para o aumento da permanência de estudantes em cursos de ciências (Resnick, 2017). Essa correlação decorre da natureza interdisciplinar dos projetos, que exigem aplicação integrada de princípios de mecânica, eletrônica e programação, além de favorecer o aprendizado colaborativo.

Vários estudos apontam que a robótica desempenha um papel crucial ao facilitar a visualização e a manipulação interativa de conceitos físicos, atuando como uma ponte entre o conhecimento teórico e o empírico. Para Resnick (2017, p. 41), essa característica torna o aprendizado mais tangível, superando as barreiras existentes entre o saber abstrato e a prática da ciência.

Segundo Coutinho (2003), a aprendizagem se torna um processo ativo de construção. A Robótica Educacional - ao reproduzir os problemas do cotidiano - promove um contexto mais significativo e motivador, testando na prática a montagem dos robôs e verificando as suas percepções.

O impacto positivo da robótica em contextos STEM é confirmado por diversas metanálises internacionais. Bers (2021) destaca que estudantes que participam de programas de

robótica tendem a desenvolver maior autoconfiança, persistência e interesse pelas áreas de ciências e engenharia. Esses resultados são particularmente importantes para o ensino médio, faixa etária em que o desinteresse pela ciência costuma aumentar.

Segundo Alimisis (2013), a natureza investigativa da robótica estimula o raciocínio hipotético-dedutivo e o uso de modelagem matemática. Ao programar um sensor de distância, por exemplo, o aluno precisa compreender como variáveis físicas, como tempo e velocidade, se relacionam. Essa prática transforma a aprendizagem em um processo de experimentação contínua, que reflete o funcionamento real da ciência.

Blikstein (2013) enfatiza que as práticas robóticas são particularmente eficazes em ambientes STEM porque tornam visíveis os processos cognitivos. O aluno, ao depurar um erro de programação ou ajustar um circuito, manifesta explicitamente seu raciocínio, o que permite ao professor acompanhar o desenvolvimento conceitual e oferecer feedback formativo. Essa transparência cognitiva é um dos diferenciais pedagógicos mais valiosos da robótica.

Bers (2021) destaca que o sucesso das atividades de robótica no ensino de Física depende do equilíbrio entre orientação e autonomia. O professor deve atuar como facilitador, propondo desafios abertos e incentivando o diálogo entre pares. Essa postura mediadora reflete o paradigma da Cultura *Maker*, no qual o conhecimento é construído de maneira coletiva e processual. A função do professor em atividades de robótica educacional não é a de fornecer soluções prontas, mas sim a de ser o facilitador de um ecossistema de investigação. Segundo Blikstein (2013), é nesse ambiente que os estudantes podem explorar ativamente, experimentar o erro e, desse modo, edificar suas próprias compreensões.

Resnick (2017) observa que o envolvimento em projetos de robótica melhora a autopercepção dos estudantes como produtores de conhecimento científico. Ao perceberem-se capazes de construir e programar sistemas funcionais, eles passam a compreender a Física como ciência experimental e aplicada, e não apenas como um conjunto de equações. Esse empoderamento intelectual é central para o desenvolvimento da identidade científica.

Estudos de Bers (2021) e Blikstein (2013) também apontam que a robótica favorece a inclusão de grupos tradicionalmente sub-representados nas áreas de STEM, como meninas e estudantes de baixa renda, ao oferecer oportunidades de sucesso tangíveis e significativas. A criação de artefatos concretos gera sentimento de pertencimento e reduz a ansiedade frente às disciplinas de exatas, tradicionalmente percebidas como elitistas.

Além do impacto cognitivo, há também evidências de ganhos afetivos e motivacionais. Alimisis (2013) destaca que a robótica desperta curiosidade e prazer em aprender, elementos essenciais para a construção de um ambiente de aprendizagem positivo. O desafio de fazer um

robô funcionar, aliado à cooperação em grupo, promove satisfação intrínseca e engajamento contínuo. “A robótica educacional cria um contexto de aprendizagem prazeroso, no qual o aluno aprende porque quer aprender, não apenas porque precisa. Essa mudança de postura é fundamental para transformar o ensino de ciências” (Bers, 2021, p. 63).

Resnick (2017) propõe que as atividades robóticas sejam integradas ao currículo como projetos de longa duração, permitindo ciclos sucessivos de experimentação e refinamento. Essa abordagem favorece a consolidação da aprendizagem e o desenvolvimento de pensamento científico de longo prazo.

A interdisciplinaridade da robótica também contribui para o desenvolvimento de competências do século XXI, como a colaboração, a comunicação e o pensamento sistêmico (Blikstein, 2013). Essas habilidades são essenciais para a formação de cidadãos críticos e preparados para os desafios tecnológicos contemporâneos.

Bers (2021) afirma que os resultados positivos da robótica em STEM decorrem de sua capacidade de tornar o conhecimento visível, manipulável e socialmente compartilhável. O robô, enquanto artefato material, funciona como mediador simbólico entre o pensamento abstrato e a ação prática, promovendo aprendizagem significativa.

Alimisis (2013) complementa que a robótica contribui para a formação científica ao proporcionar um ambiente de “experimentação reflexiva”, em que o estudante aprende a partir da análise de erros e da reformulação de hipóteses. Essa forma de aprendizagem aproxima-se da prática científica real, baseada em tentativa, erro e iteração.

A literatura recente converge na defesa de que a robótica educacional é uma das metodologias mais promissoras para o ensino de Física e para a consolidação das práticas STEM na educação básica. Sua eficácia está na combinação equilibrada entre ação, reflexão e colaboração, dimensões que transformam o estudante em pesquisador de sua própria aprendizagem (Blikstein, 2013; Alimisis, 2013; Resnick, 2017; Bers, 2021).

A integração da Robótica Educacional e da Cultura *Maker* nas aulas de Física do Ensino Médio é amplamente defendida por seu potencial em materializar conceitos abstratos e promover o protagonismo discente, alinhando-se aos princípios do Construcionismo (Papert, 1993) e da BNCC (Brasil, 2018). Contudo, a efetivação dessa abordagem no contexto escolar brasileiro é marcada por desafios estruturais, pedagógicos e curriculares significativos.

O principal obstáculo reside na dimensão material e financeira. A adoção da robótica e da Cultura *Maker* demanda recursos que, frequentemente, estão ausentes nas escolas públicas e em muitas privadas: Custo e Manutenção de *Hardware*, com investimento inicial em *kits* de

robótica (como Arduino e sensores), ferramentas e a necessidade contínua de reposição de componentes configuram uma barreira financeira substancial (Blikstein, 2013). Criação de um espaço adequado. A metodologia *Maker* exige a transição da sala de aula tradicional para um espaço laboratorial que permita a montagem, a experimentação e a desconstrução de projetos, com bancadas e computador com acesso estável à internet para instalação de software e codificação da trena ultrassônica. Gestão de tempo, conseguindo organizar uma estrutura dentro da rigidez curricular e a extensão do conteúdo de Física no Ensino Médio, que criam um conflito entre o tempo necessário para a experimentação (montagem, programação e *debugging*) e a cobertura do conteúdo programático (Alimisis, 2013). O trabalho com robótica exige, por natureza, um tempo que a grade horária convencional raramente disponibiliza.

A eficácia da metodologia está intrinsecamente ligada à qualificação e à mudança de mentalidade do corpo docente. Requer uma formação multidisciplinar. O professor de Física deve transcender seu papel tradicional, adquirindo competências em programação, eletrônica e *design*. Essa exigência de uma formação multidisciplinar, que não é padrão nos cursos de licenciatura, impõe um desafio de formação continuada (Blikstein, 2013).

A transição do papel docente, que deve migrar de instrutor para mediador e facilitador (Lovato *et al.*, 2018). Essa mudança envolve orientar o processo de investigação do aluno, gerenciar o ambiente de erro e estimular a autonomia, em vez de simplesmente fornecer as respostas prontas. Outro ponto a se observar é a resistência à metodologia, tanto por parte de professores que não se sentem seguros com as novas tecnologias, quanto por parte de alunos que preferem a passividade da aula expositiva. A mudança para o paradigma ativo *Maker* pode gerar resistência e frustração inicial.

A implementação de práticas de cultura *Maker* no ensino de Física exige repensar os modelos curriculares tradicionais. A lógica escolar historicamente valoriza conteúdos abstratos, segmentados e avaliados por respostas exatas e algoritmos já estabelecidos, enquanto a abordagem *Maker* promove aprendizagem ativa, interdisciplinar e situada em problemas reais (Martinez e Stager, 2013). Nesse cenário, surge a necessidade de reorganizar o currículo para integrar teoria e prática de forma coerente, permitindo que a robótica e a prototipagem funcionem como meios para a construção de conhecimento e não como um componente periférico ou extracurricular.

A avaliação constitui um dos maiores desafios dessa integração. Modelos avaliativos convencionais, centrados na memorização de fórmulas e em provas individuais, não capturam elementos essenciais que emergem na aprendizagem prática, como pensamento crítico, colaboração e criatividade. Como argumenta Resnick (2017), a cultura *Maker* valoriza o

“aprender fazendo” e principalmente o “aprender com o erro”, o que requer instrumentos avaliativos capazes de reconhecer o processo de construção do conhecimento e não apenas o produto final. Rubricas analíticas e avaliação formativa contínua tornam-se fundamentais para medir competências e não somente resultados corretos.

Outro ponto crítico é o alinhamento entre objetivos de aprendizagem e o desenvolvimento dos projetos. Para evitar que a atividade *Maker* se torne apenas uma oficina de montagem, é necessário assegurar que cada construção robótica ou experimento físico contribua efetivamente para a compreensão dos conceitos científicos envolvidos — como ondas, energia, movimento ou circuitos elétricos (Papert, 1980; Valente, 2019). Assim, a robótica educacional deve ser um instrumento epistemológico, permitindo que o estudante observe, modele, teste hipóteses e represente matematicamente os fenômenos físicos investigados.

Superar esses desafios demanda também condições estruturais, políticas públicas adequadas e formação docente continuada. Professores precisam ser capacitados para atuar como mediadores de processos investigativos, sabendo orientar sem retirar a autoria dos estudantes, equilibrando rigor científico com liberdade criativa. Além disso, tempo pedagógico deve ser ajustado para que etapas essenciais — ideação, prototipagem, testes, falhas e reconstrução — ocorram sem pressões indevidas de calendário e cobertura apressada de conteúdos (Honey e Kanter, 2013).

Por fim, o êxito curricular da cultura *Maker* depende de um redesenho avaliativo que reconheça a complexidade do aprender ciência ao manipular materiais, construir artefatos e resolver problemas concretos. Quando bem estruturadas, as práticas *Maker* contribuem para o desenvolvimento de competências previstas na BNCC, como argumentação científica, cultura digital e protagonismo estudantil, fortalecendo o ensino de Física ao aproximá-lo da realidade tecnológica que constitui a vida contemporânea. Dessa forma, a cultura *Maker* se consolida como um caminho legítimo para uma educação mais criativa, inclusiva e intelectualmente exigente.

2.4 PARADIGMAS TEÓRICO-PEDAGÓGICOS

O construtivismo, enquanto paradigma epistemológico e pedagógico, tem em Jean Piaget (1896–1980) um de seus principais expoentes. Sua teoria propõe que o conhecimento não é transmitido, mas construído ativamente pelo sujeito em interação com o meio. Essa concepção rompe com a visão mecanicista do behaviorismo e inaugura uma nova compreensão sobre o processo de aprender. Para Piaget (1976), a inteligência é um processo adaptativo que

se desenvolve pela equilibração entre assimilação e acomodação, dois mecanismos complementares que explicam como o indivíduo incorpora e transforma informações provenientes do ambiente.

Em oposição à aprendizagem entendida como simples resposta a estímulos, o construtivismo enfatiza o papel ativo do sujeito na organização de suas estruturas cognitivas. Bruner (1976) complementa essa perspectiva ao afirmar que o ato de aprender consiste em reorganizar o conhecimento, construindo representações mentais progressivamente mais abstratas. Assim, a mente humana não é um receptáculo passivo, mas um sistema dinâmico que interpreta, seleciona e transforma experiências. “O conhecimento não é uma cópia da realidade, mas uma construção contínua do sujeito em interação com o meio. É por meio da ação, da manipulação e da reflexão que o indivíduo atinge níveis mais elevados de compreensão” (Piaget, 1976, p. 27).

Piaget estruturou sua teoria em quatro estágios principais de desenvolvimento cognitivo: sensório-motor, pré-operatório, operatório concreto e operatório formal. Cada estágio representa uma forma particular de pensar e compreender o mundo, caracterizada por modos específicos de raciocínio. No contexto da educação, essa progressão é essencial para o planejamento das atividades pedagógicas, pois define o tipo de operação mental que o aluno é capaz de realizar em determinada fase. O ensino de Física, por exemplo, exige o domínio do pensamento formal, no qual o estudante pode raciocinar sobre hipóteses, variáveis e leis abstratas.

Segundo Coll (1996), o construtivismo de Piaget oferece um modelo explicativo poderoso para compreender como o aluno se apropria do conhecimento científico. O processo de equilibração, que regula a passagem entre estágios, implica a resolução de conflitos cognitivos que estimulam a reorganização das estruturas mentais. Em sala de aula, isso se traduz na importância de propor situações-problema que desafiem as concepções prévias dos alunos e provoquem desequilíbrio produtivo.

À luz do construtivismo, o papel do professor não se reduz à transmissão de respostas prontas, mas envolve criar condições para que o aluno confronte suas próprias concepções e busque novas formas de compreendê-las, por meio de situações que provoquem desequilíbrios produtivos em seus esquemas de pensamento (Coll, 1996).

A teoria construtivista também introduz o conceito de ação como base do conhecimento. Para Piaget (1976), 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.

Bruner (1976), ao desenvolver a teoria da aprendizagem por descoberta, reafirmou que o ensino deve estimular a exploração e a formulação de hipóteses. O aluno constrói sentido à medida que organiza as informações em estruturas coerentes, e o papel do educador é facilitar essa organização por meio de representações icônicas, simbólicas e inativas. Essa noção reforça o caráter processual do conhecimento e a importância de múltiplas formas de representação no ensino de ciências.

Vygotsky (2007), embora de orientação teórica distinta, contribuiu para o fortalecimento do construtivismo ao introduzir a dimensão social da aprendizagem. Segundo ele, o desenvolvimento cognitivo é mediado pela linguagem e pelas interações sociais, e a chamada *Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)* define o espaço entre o que o aluno pode fazer sozinho e o que pode realizar com ajuda. Essa concepção complementa a visão piagetiana ao incorporar o papel do outro e da cultura no processo de construção do conhecimento. “O que a criança é capaz de fazer hoje em cooperação, será capaz de fazer sozinha amanhã. Esse é o princípio fundamental da Zona de Desenvolvimento Proximal, que define o potencial do aprendizado mediado” (Vygotsky, 2007, p. 86).

No campo educacional, o construtivismo provocou uma revolução metodológica. A teoria piagetiana também apresenta implicações diretas para o ensino de Física. O raciocínio operatório formal, característico da adolescência, possibilita compreender relações entre variáveis e formular hipóteses — habilidades fundamentais para o estudo de fenômenos como movimento, energia e ondas (Coll, 1996). No entanto, pesquisas indicam que muitos estudantes não atingem espontaneamente esse nível de pensamento, o que exige mediação pedagógica cuidadosa.

Bruner (1976) defende que a aprendizagem científica deve ser estruturada em torno de conceitos fundamentais que se repetem em diferentes níveis de complexidade. Essa ideia, conhecida como *currículo espiral*, inspira práticas de ensino que retomam os mesmos princípios físicos em contextos variados, permitindo ao aluno compreender progressivamente suas inter-relações. Essa abordagem é especialmente eficaz em disciplinas abstratas como a Física, onde o conhecimento é cumulativo e hierarquizado. “O conhecimento é um processo contínuo de reformulação. A cada nova experiência, o indivíduo reorganiza suas estruturas cognitivas, tornando-se capaz de compreender os mesmos fenômenos sob perspectivas mais complexas” (Bruner, 1976, p. 43).

Piaget (1976) ressalta que a aprendizagem deve estar em harmonia com o desenvolvimento cognitivo. Forçar o ensino de conceitos abstratos a alunos em estágios concretos de pensamento gera frustração e incompreensão. O planejamento pedagógico deve, portanto, considerar o estágio de desenvolvimento dos estudantes e propor atividades adequadas à sua capacidade de abstração. Essa adaptação evita a sobrecarga cognitiva e garante a construção gradual do conhecimento.

Coll (1996) observa que o construtivismo também influenciou profundamente as práticas avaliativas. Avaliar, sob essa ótica, significa compreender o processo de aprendizagem, e não apenas medir resultados. A ênfase desloca-se da verificação para a compreensão, e o erro passa a ser visto como indicador de avanço cognitivo, e não como falha. Essa mudança epistemológica transforma o modo como se concebe o papel do aluno e o sentido da escola.

Vygotsky (2007) acrescenta que o contexto sociocultural exerce influência decisiva na aprendizagem. O ambiente escolar, ao proporcionar interações ricas e significativas, expande a Zona de Desenvolvimento Proximal e acelera a internalização de conhecimentos. Assim, a aprendizagem é tanto individual quanto social, e o professor atua como mediador entre o saber culturalmente elaborado e o conhecimento pessoal do aluno.

O construtivismo também promove uma concepção ativa de erro. Para Piaget (1976), o erro é parte natural do processo de aprendizagem, pois representa um momento de desequilíbrio necessário à construção de novos esquemas mentais. Essa perspectiva, incorporada às práticas pedagógicas contemporâneas, valoriza a experimentação e a reflexão, elementos centrais também da robótica educacional e das práticas *maker*.

Bruner (1976) e Coll (1996) argumentam que o ensino de ciências deve priorizar o desenvolvimento da curiosidade e da autonomia intelectual. O aluno que experimenta, observa e interpreta fenômenos torna-se capaz de formular explicações próprias e, posteriormente, confrontá-las com modelos científicos. Esse movimento de construção e reconstrução caracteriza o verdadeiro aprendizado significativo.

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 (1976) descreveu como o motor do desenvolvimento intelectual.

A partir dessa perspectiva, a sala de aula se transforma em um espaço de experimentação intelectual e emocional. O professor atua como facilitador, organizando contextos que desafiam

e ampliam as capacidades cognitivas dos estudantes. Essa concepção contrasta radicalmente com o behaviorismo, que prioriza o controle e a previsibilidade do comportamento.

Assim, o construtivismo piagetiano constitui um marco teórico fundamental para o ensino contemporâneo, especialmente no campo das ciências. Sua ênfase na ação, na interação e no desequilíbrio cognitivo oferece subsídios concretos para metodologias que valorizam a autonomia e a criatividade. Como observa Coll (1996), compreender o construtivismo é compreender a essência da educação ativa, centrada no sujeito que pensa, age e reconstrói continuamente o conhecimento.

O construcionismo surgiu na década de 1980 como uma evolução natural das ideias construtivistas de Jean Piaget, ampliando-as com o uso de tecnologias digitais e experiências criativas de aprendizagem. Proposto por Seymour Papert, matemático e colaborador direto de Piaget no *Centre International d'Épistémologie Génétique* de Genebra, o construcionismo fundamenta-se na ideia de que o aprendizado ocorre de forma mais profunda quando o indivíduo constrói um produto tangível, dotado de significado pessoal e social (Papert, 1980). Essa perspectiva mantém o foco na ação e na reflexão, mas acrescenta o poder mediador das tecnologias na construção do conhecimento.

De acordo com Papert (1993), o aprendizado é mais significativo quando o sujeito se engaja em atividades criativas que envolvem a construção de algo concreto — seja um robô, um programa de computador, uma animação ou uma maquete. O ato de construir materializa o pensamento e transforma o conhecimento em ação. O processo não é linear nem prescritivo: envolve tentativa, erro, depuração e reconstrução. Essa dinâmica aproxima o aluno da prática científica, em que o conhecimento é constantemente revisado e aprimorado.

O construcionismo não se limita à construção de conhecimento dentro da mente, mas enfatiza a construção de algo fora da mente — algo que possa ser compartilhado, examinado, criticado e reformulado. O aprendizado acontece melhor quando as pessoas estão ativamente envolvidas na criação de coisas significativas (Papert, 1993, p. 142).

Mitchel Resnick, sucessor intelectual de Papert no *MIT Media Lab*, ampliou essas ideias ao desenvolver o conceito de aprendizagem criativa, baseada nos “4 Ps”: *Projects, Passion, Peers and Play* (do inglês: projetos, paixão, pares e brincadeira) (Resnick, 2017). Essa abordagem propõe que o conhecimento se consolida quando o aluno trabalha em projetos que lhe despertam interesse, colabora com colegas e experimenta livremente. Assim, o aprender passa a ser um processo afetivo e social, que combina curiosidade, experimentação e propósito.

Papert (1980) argumenta que o computador, quando usado pedagogicamente, não é apenas uma ferramenta, mas um ambiente para pensar. Ele possibilita ao aluno controlar o processo de aprendizagem, explorar hipóteses e testar soluções. Essa visão contrasta com o uso tecnocrático da tecnologia na educação, que reduz o aluno a mero consumidor de conteúdo digital. O construcionismo, ao contrário, propõe o computador como instrumento de emancipação intelectual.

Kafai (2006), colaboradora de Papert no MIT, reforça que o construcionismo promove uma relação dialógica entre pensar e fazer. Ao programar, projetar ou construir, o aluno reflete sobre suas ações e desenvolve o que a autora chama de “epistemologia pessoal”. Essa dimensão reflexiva distingue o construcionismo de abordagens puramente práticas, pois enfatiza a intencionalidade e o significado do ato criativo. Neste trilho, é possível verificar de acordo com a literatura que “o construcionismo é mais do que aprender fazendo; é aprender refletindo sobre o que se faz, é atribuir sentido à experiência através da criação. O ato de construir transforma o conhecimento em uma forma de expressão pessoal e coletiva” (Kafai, 2006, p. 45).

O vínculo entre construcionismo e robótica educacional é profundo e histórico. Papert (1980) criou a linguagem de programação LOGO como ferramenta para que crianças pudessem explorar conceitos matemáticos e físicos de forma interativa. A famosa “tartaruga LOGO” permitia que os estudantes visualizassem os resultados de seus comandos, desenvolvendo noções de ângulo, movimento e repetição. Essa experiência inaugurou o conceito de “micromundos”, ambientes virtuais projetados para o aprendizado exploratório e auto orientado.

Blikstein (2013) observa que o construcionismo rompeu as barreiras entre aprender e criar, introduzindo uma dimensão cultural à aprendizagem tecnológica. O autor identifica o construcionismo como a base filosófica do movimento *maker*, pois ambos valorizam o protagonismo do aprendiz e a experimentação como forma de pensamento. No contexto da educação científica, essa abordagem aproxima o ensino da prática real da ciência e da engenharia.

Paulo Freire (1996), embora oriundo de outra tradição teórica, compartilha com Papert o ideal emancipador da educação. Ambos entendem o ato de aprender como prática de liberdade. Freire defende que o conhecimento nasce do diálogo e da problematização da realidade, enquanto Papert propõe que ele emerge da criação e da experimentação. O ponto de convergência é a rejeição do ensino bancário e a valorização da autonomia intelectual do estudante. A educação libertadora não impõe conteúdos, mas cria condições para que o educando construa sua leitura crítica do mundo. Aprender é um ato de reinventar-se, de transformar a curiosidade em conhecimento ativo e transformador (Freire, 1996, p. 83).

No construcionismo, o erro é visto como parte essencial do processo de aprendizagem. Papert (1980) enfatiza que “falhar cedo e falhar frequentemente” é um caminho natural para o sucesso, pois o conhecimento se consolida a partir da depuração de erros. Essa postura se opõe frontalmente ao paradigma tradicional, que valoriza o acerto e penaliza o equívoco. Na robótica educacional e nas práticas *maker*, o erro é interpretado como dado experimental, um indicador de progresso cognitivo.

Resnick (2017) argumenta que ambientes construcionistas favorecem o aprendizado iterativo: imaginar, criar, brincar, compartilhar e refletir. Cada ciclo reforça a autonomia e o senso de autoria dos estudantes. Essa dinâmica aproxima-se do método científico, em que a experimentação é parte indissociável da construção do conhecimento.

Blikstein (2013) observa que o construcionismo oferece uma estrutura epistemológica sólida para integrar tecnologia e pedagogia. Diferente de abordagens que introduzem ferramentas digitais de forma superficial, o construcionismo propõe que a tecnologia sirva como extensão do pensamento, um meio de expressão intelectual. Essa visão legitima o uso da robótica e da programação não como fins em si mesmos, mas como linguagens para pensar.

Kafai (2006) acrescenta que a prática construcionista promove a inclusão e a diversidade, ao permitir que alunos com diferentes estilos de aprendizagem encontrem modos pessoais de se expressar. O foco no processo, e não apenas no produto final, reduz a ansiedade associada à avaliação e estimula a colaboração entre pares. Em projetos de Física, por exemplo, a construção de robôs ou experimentos controlados por sensores oferece oportunidades concretas para explorar conceitos abstratos.

Bers (2021) amplia a perspectiva construcionista ao integrar robótica e valores humanísticos. Para ela, aprender a programar e a construir não é apenas desenvolver habilidades técnicas, mas também éticas e sociais. O aluno é convidado a refletir sobre o impacto de suas criações e sobre o uso responsável da tecnologia. Essa dimensão ética é essencial em tempos de automação e inteligência artificial.

Papert (1993) destaca que o construcionismo está intrinsecamente ligado ao prazer de aprender. Ao contrário de metodologias que associam o estudo ao esforço punitivo, o construcionismo resgata a ludicidade e o entusiasmo natural da curiosidade infantil. O jogo, a descoberta e a criação tornam-se motores da aprendizagem, transformando o ambiente escolar em espaço de experimentação intelectual e emocional. “Aprender é muito mais do que absorver informações; é um processo de autoexpressão criativa. A alegria de construir algo que funcione é, por si só, um reforço poderoso que sustenta o aprendizado contínuo” (Papert, 1993, p. 156).

Resnick (2017) reforça que o construcionismo não é apenas uma teoria de sala de aula, mas uma filosofia de vida. Encoraja uma postura investigativa, colaborativa e criativa diante dos desafios cotidianos. Essa mentalidade é particularmente relevante para o ensino de Física, pois os estudantes aprendem melhor quando podem visualizar, testar e modificar fenômenos, em vez de apenas descrevê-los abstratamente.

Blikstein (2013) ressalta que o construcionismo também desafia a própria noção de autoridade pedagógica. O professor deixa de ser o transmissor exclusivo de conhecimento e passa a ser um parceiro intelectual do aluno. Essa relação horizontal cria um ambiente de confiança, essencial para que os estudantes se sintam à vontade para explorar, errar e inovar.

Freire (1996) complementa que a autonomia é condição indispensável para o aprendizado genuíno. Quando o aluno participa ativamente da criação de seu conhecimento, ele desenvolve consciência crítica e se reconhece como sujeito histórico. Essa ideia converge com o ideal construcionista de empoderamento intelectual. “O ato de ensinar exige a convicção de que todos somos capazes de aprender. O que diferencia o educador libertador é sua capacidade de criar espaços onde o aluno possa pensar, fazer e refletir, reinventando o mundo com suas próprias mãos” (Freire, 1996, p. 91).

No campo da robótica educacional, o construcionismo constitui a base filosófica que sustenta o “aprender fazendo com propósito”. Projetos de Física desenvolvidos sob essa perspectiva — como a construção de trenas digitais, sensores de som ou simulações de ondas — permitem que o estudante compreenda os fenômenos a partir da experimentação direta. A criação de protótipos amplia a compreensão conceitual e fortalece o vínculo entre teoria e prática.

Kafai (2006) e Resnick (2017) demonstram, em estudos empíricos, que ambientes construcionistas aumentam o engajamento e a persistência dos alunos. O prazer de ver algo funcionando, de resolver um problema real, transforma a relação com o conhecimento científico. Essa motivação intrínseca é um dos maiores trunfos do construcionismo.

Nesse rumo, o construcionismo representa a convergência entre tecnologia, criatividade e reflexão. Ao valorizar o fazer com significado, essa abordagem supera a visão instrumental da educação e propõe um modelo centrado no aprendiz, no diálogo e na experimentação. Como afirmam Blikstein (2013) e Freire (1996), o verdadeiro aprendizado ocorre quando a educação se torna um ato criador, um espaço de invenção e de emancipação.

A integração de ferramentas tecnológicas lúdicas, como a robótica educacional, a gamificação e os jogos digitais, no ensino de Física para o Ensino Médio, estabelece um ambiente de aprendizagem profundamente fundamentado na articulação entre o construtivismo

(Piaget) e o construcionismo (Papert). Essas metodologias ativas não apenas modernizam o ensino, mas, sobretudo, catalisam os processos cognitivos essenciais para a aquisição de um conhecimento físico significativo.

O Construtivismo Piagetiano fornece a base teórica, ao postular que o conhecimento resulta de um processo ativo de reestruturação das estruturas cognitivas (esquemas) do indivíduo. A aprendizagem efetiva da Física, portanto, exige que o aluno enfrente desequilíbrios cognitivos que o forcem a “acomodar” novos conceitos (como as leis de conservação ou o princípio da superposição) em seus esquemas mentais.

O Construcionismo de Seymour Papert atua como o motor prático desse processo. Papert, expandindo o trabalho de Piaget, defende que a construção mental do conhecimento é potencializada quando o estudante está ativamente engajado na construção de um artefato público e compartilhável. A robótica, a gamificação e os jogos servem como os instrumentos para essa construção externa.

A Robótica e Construção Artefactual é um bom exemplo paradigmático do Construcionismo. Ao projetar, montar e programar um robô (o artefato) que simula um conceito físico – por exemplo, a análise de vetores em um sistema de tração ou a propagação de ondas ultrassônicas, o estudante traduz o formalismo abstrato da Física em uma realidade manipulável. O êxito ou o fracasso desse projeto prático gera o “conflito cognitivo piagetiano”, exigindo que o aluno revise suas hipóteses (Física teórica) para reestruturar o código (Física aplicada).

A Gamificação e Jogos como Ambiente de Desafio atuam como o “ecossistema motivacional” que sustenta a construção. Ao inserir desafios (missões), regras e recompensas na jornada de aprendizagem, por exemplo, em um jogo sobre ondulatória ou em um sistema gamificado de resolução de problemas, essas estratégias promovem o engajamento autêntico e a persistência. O “feedback” imediato do jogo, aliado aos “puzzles” baseados em princípios físicos, constantemente provoca o desequilíbrio cognitivo, estimulando a reflexão e a experimentação iterativa (essenciais ao Construtivismo).

Neste modelo sinérgico, as ferramentas tecnológicas atuam como “mediadoras dialógicas”. O estudante constrói um robô ou interage com o ambiente gamificado (Construcionismo) para que, por meio da experimentação prática e da superação de desafios lúdicos, ele construa ativamente o seu próprio conhecimento de Física. O resultado é uma aprendizagem que transcende a memorização, alcançando a compreensão profunda e a capacidade de aplicação autônoma.

As duas teorias se conectam e ao mesmo tempo se complementam. O construtivismo de Jean Piaget e o construcionismo idealizado por Seymour Papert são correntes epistemológicas

que compartilham o pressuposto central de que o conhecimento é ativamente construído pelo aprendiz, e não passivamente absorvido. Contudo, a análise qualitativa de suas nuances revela uma relação de complementaridade fundamental, onde o uma atua como uma extensão e da outra metodologia aplicada, especialmente eficaz em contextos de tecnologias digitais e robótica.

O construtivismo se divide em dois momentos. O primeiro momento de construção interna, como o indivíduo constrói estruturas de conhecimento em sua mente. Seu foco está no desenvolvimento cognitivo, mediado pelos processos de assimilação (incorporar novas experiências aos esquemas existentes) e acomodação (modificar os esquemas existentes para incorporar o novo). A qualidade da aprendizagem num processo de reestruturação interna é significativa quando o sujeito é levado ao desequilíbrio cognitivo (conflito) e por esforço próprio, consegue reestruturar suas ideias, atingindo um novo estado de equilíbrio. O objeto (ou o ambiente) tem um papel fundamental nesse processo. Ele serve como fonte de interação e desafio, mas a ênfase é na manipulação mental e na reflexão que essa interação provoca.

Num segundo momento, a construção externa materializada, também resultante do desse processo de construção. Essa é a descrição do melhor ambiente para a aprendizagem construtivista. Ele introduz um requisito adicional: a construção mental é especialmente poderosa quando ocorre durante a construção de um artefato público e compartilhável — algo "externo ao sujeito". A qualidade da aprendizagem numa construção externa é a materialização do pensamento. O construcionismo valoriza o processo de "colocar o pensamento nas coisas". Ao construir um robô ou programar um código, o estudante precisa traduzir ideias abstratas em comandos concretos, forçando uma precisão e clareza de pensamento que o diálogo ou a escrita muitas vezes não exigem.

Todo esse processo tem o erro como *Feedback*. O artefato se torna um espelho do entendimento do aluno. Se o robô não funciona ou o código falha, o erro é imediato, concreto e reversível. Esse *feedback* imediato é um poderoso gatilho para o desequilíbrio cognitivo piagetiano, levando o aluno a revisar ativamente suas hipóteses.

A relação entre as duas correntes é de continuidade e complementação. A investigação se concentra em responder: de que forma a conexão entre as duas teorias pode, efetivamente, concretizar o que esta pesquisa se propõe a explicar?

Em suma, o Construtivismo explica que a aprendizagem é uma construção mental; o Construcionismo oferece a metodologia e o ambiente tecnológico (e.g., robótica) mais eficazes para que essa construção mental ocorra de forma profunda, engajadora e tangível. O artefato construído externamente é o catalisador que garante a reestruturação interna do conhecimento.

A compreensão das bases teóricas que sustentam o ensino de Física mediado por jogos, robótica e elementos de gamificação requer uma análise comparativa entre os paradigmas educacionais abordados. Cada corrente — Construtivismo e Construcionismo — oferece uma lente distinta para interpretar o processo de ensino-aprendizagem e para orientar as práticas pedagógicas. Em conjunto, elas delineiam um panorama complexo de possibilidades e limites que fundamentam a presente proposta de pesquisa.

A proposta do jogo “Bat e Volta – Curta Essa Onda!”, que integra princípios da gamificação e da robótica educacional, dialoga com diferentes concepções teóricas, combinando reforço, mediação e construção ativa do conhecimento. O objetivo da análise comparativa é evidenciar como essas teorias convergem para sustentar o projeto — seja pela ênfase na construção cognitiva (construtivismo e aprendizagem significativa), ou na criação concreta (construcionismo) e também apontar onde se manifestam tensões epistemológicas entre controle e autonomia, entre ensino programado e aprendizagem criativa.

A adoção da gamificação como estratégia pedagógica no ensino de Ciências e Física suscita uma tensão epistemológica relevante quando analisada à luz das teorias construtivista e construcionista da aprendizagem. No construtivismo piagetiano, a aprendizagem é concebida como um processo ativo de construção interna do conhecimento, no qual o sujeito reorganiza esquemas cognitivos por meio da assimilação e da acomodação. Nesse quadro teórico, Piaget rejeita explicitamente o uso de recompensas extrínsecas como motor da aprendizagem, uma vez que tais estímulos tendem a deslocar o foco do sujeito do processo de equilíbrio cognitiva para a obtenção de reforços externos, comprometendo a autonomia intelectual e a motivação intrínseca (Piaget, 1976). Sob essa perspectiva, práticas pedagógicas excessivamente baseadas em recompensas podem favorecer comportamentos adaptativos superficiais, sem promover reestruturações cognitivas profundas.

A gamificação, por sua vez, estrutura-se, em grande parte, sobre elementos extrínsecos de motivação, como pontos, níveis, desafios progressivos e recompensas simbólicas. Essa característica coloca a gamificação em aparente conflito com os pressupostos construtivistas, pois o engajamento do estudante pode passar a ser orientado mais pela lógica do jogo do que pela necessidade interna de compreender o objeto de conhecimento. Tal tensão se intensifica quando a dinâmica gamificada assume um caráter fortemente prescritivo, no qual as ações do aluno são rigidamente guiadas por regras e metas previamente definidas, limitando o espaço para a exploração autônoma e para o erro construtivo, elementos centrais no construtivismo piagetiano.

No entanto, a análise dessa tensão torna-se mais complexa quando considerada à luz do construcionismo de Papert. Embora inspirado em Piaget, Papert desloca o foco da construção interna do conhecimento para a construção de artefatos públicos, defendendo que a aprendizagem ocorre de forma mais profunda quando o aluno cria, testa, compartilha e refina produtos significativos, como programas, modelos ou objetos concretos (Papert, 1993). Nesse sentido, jogos e ambientes lúdicos podem funcionar como contextos férteis para a aprendizagem, desde que permitam ao estudante atuar como autor e não apenas como executor de tarefas. A tensão emerge, contudo, quando a gamificação assume uma estrutura excessivamente guiada, na qual o jogo se reduz a uma sequência de desafios fechados, esvaziando o potencial criativo defendido pelo construcionismo.

Dessa forma, o ponto crítico não reside na presença ou ausência de recompensas, mas no papel epistemológico que essas recompensas desempenham no processo de aprendizagem. Quando utilizadas como fins em si mesmas, as recompensas reforçam uma lógica behaviorista incompatível tanto com o construtivismo quanto com o construcionismo. Entretanto, quando assumem a função de organizadores da atividade, sinalizando progresso, estruturando desafios e oferecendo feedback formativo, elas podem coexistir com abordagens construtivistas e construcionistas. Nesse equilíbrio, a gamificação deixa de ser um mecanismo de controle do comportamento e passa a funcionar como um ambiente de aprendizagem estruturado, no qual o aluno constrói conhecimento ao resolver problemas, formular hipóteses e criar soluções significativas.

Nesse contexto, o trabalho desenvolvido nesta dissertação posiciona-se em uma zona de equilíbrio epistemológico, ao articular elementos da gamificação com princípios construtivistas e construcionistas. A estrutura do jogo orienta a progressão do estudante, sem eliminar sua agência intelectual, enquanto as tarefas propostas exigem a mobilização ativa de conceitos físicos e a construção de artefatos significativos. Assim, a motivação extrínseca inicial atua como porta de entrada para o engajamento, mas a aprendizagem efetiva emerge da atividade intelectual do estudante, em consonância com a aprendizagem significativa e com a criação defendida por Papert. Esse equilíbrio permite superar a dicotomia entre motivação e construção do conhecimento, transformando a gamificação em um meio pedagógico epistemologicamente coerente.

O delineamento da proposta didática que utiliza o jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" e a Cultura *Maker* não se restringe a uma única linha teórica, mas se sustenta na sinergia complementar entre o Construtivismo e o Construcionismo. Essa articulação é

essencial para garantir que a aprendizagem da Ondulatória seja, simultaneamente, um processo de reestruturação interna e de concretização externa do saber.

O Construtivismo como Fundamento Cognitivo (Piaget, Bruner) oferece a base epistemológica, ao requerer que a aprendizagem seja um processo ativo de construção mediado pela reorganização dos esquemas mentais. Sua contribuição direta à proposta é garantir que o professor atue como mediador, criando desafios que gerem o desequilíbrio cognitivo no aluno.

O design gamificado do jogo "Bate e Volta" materializa essa necessidade: o avanço no tabuleiro depende da resposta correta às cartas-desafio, forçando o estudante a reestruturar o conhecimento (acomodação) para superar o obstáculo e prosseguir. O jogo transforma o desafio conceitual em um imperativo lúdico.

O Construcionismo como Extensão Metodológica e Aplicada surge como a metodologia aplicada que potencializa o Construtivismo. Ele enfatiza que o aprendizado é particularmente eficaz quando ocorre durante a construção de um artefato concreto e significativo.

Essa perspectiva sustenta a fase da Cultura *Maker* e da robótica. O conhecimento teórico, que o aluno demonstra ao vencer o jogo e acumular pontos " π " (valor monetário determinado pela regra), é imediatamente traduzido em ação: a construção e programação da Trena Digital Ultrassônica. O aluno, agora um Criador, aplica os conceitos de reflexão e velocidade da onda para fazer o sensor ultrassônico funcionar.

Embora os paradigmas partam de premissas distintas, há um eixo comum que converge para o protagonismo do aluno. No construtivismo e no construcionismo, essa lógica é superada pela autonomia cognitiva e criativa, em que o aluno não apenas responde, mas cria e transforma o ambiente de aprendizagem.

No contexto do ensino de Física mediado por tecnologias e jogos, essas abordagens formam um continuum pedagógico que vai do controle ao diálogo, da repetição à criação.

A proposta "Bat e Volta – Curta Essa Onda!" materializa essa integração ao combinar elementos de reforço (pontuação, desafios), construção ativa (montagem de dispositivos robóticos) e mediação coletiva (trabalho em grupo e discussão dos resultados). Assim, o produto educacional se apoia em uma epistemologia híbrida¹.

Por outro lado, as tensões entre as abordagens não devem ser ignoradas. O desafio reside em evitar que os mecanismos de recompensa típicos da gamificação sejam reduzidos a incentivos comportamentais, comprometendo a dimensão crítica e reflexiva da aprendizagem. Nesse sentido, a análise revela que a proposta da dissertação encontra sustentação teórica em

¹ Epistemologia híbrida refere-se a base filosófica desta metodologia de ensino. Envolve mistura equilibrada de estrutura (modelo, regras, roteiro, objetivos claros) e liberdade (criação, exploração, diálogo, autoria).

múltiplos referenciais que se complementam e tensionam entre si. A coerência epistemológica do trabalho reside justamente nessa articulação: A proposta adota a ótica construtivista — ao assumir que a aprendizagem é um processo ativo de construção mediado pela reorganização dos esquemas mentais — e a amplia com o Construcionismo, que exige que o aluno materialize esse processo na criação de artefatos concretos. A integração dessas perspectivas configura um referencial pedagógico robusto, plural e adaptável às exigências do ensino de Física contemporâneo.

2.5 ESTUDOS ANTERIORES E META-ANÁLISES

O uso de jogos no ensino de Física vem sendo explorado nas últimas duas décadas como estratégia para aproximar o conhecimento científico das vivências cotidianas dos estudantes. Pesquisas nacionais e internacionais apontam que o jogo, ao conjugar ludicidade e desafio cognitivo, pode potencializar a aprendizagem conceitual, a motivação e o pensamento crítico. De acordo com Prensky (2010), as novas gerações aprendem por meio de experiências interativas, nas quais o erro e o acerto fazem parte de um ciclo contínuo de descoberta. Assim, o jogo não é mero entretenimento, mas uma linguagem pedagógica alinhada à cultura digital.

Diversos estudos têm investigado a integração da gamificação e da robótica no ensino de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), evidenciando os benefícios dessa abordagem para a aprendizagem dos estudantes. Por exemplo, Alves (2018) desenvolveu uma pesquisa sobre a aplicação da gamificação na educação e concluiu que "a gamificação pode ser uma ferramenta poderosa para melhorar a experiência de aprendizagem, tornando-a mais envolvente e divertida" (Alves, 2018, p. 99).

Além disso, Andriola (2021) realizou um estudo comparativo sobre os impactos da robótica no ensino básico e observou que "a robótica educacional contribui para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais, além de aumentar o interesse dos alunos pelas disciplinas de STEM" (Andriola, 2021, p. 21050).

No que diz respeito ao ensino de Ondulatória, Pereira, Fusinato e Neves (2009) desenvolveram um jogo de tabuleiro para auxiliar na compreensão dos conceitos de ondas e relataram que "o jogo possibilitou ao aluno aprender conceitos teóricos de Física ao mesmo tempo em que joga" (Pereira; Fusinato; Neves, 2009, p. 5). Esses estudos indicam que a combinação de gamificação e robótica pode ser uma estratégia eficaz para o ensino de ondulatória, promovendo um aprendizado mais significativo e engajador para os estudantes.

Mattar (2010) sustenta que os jogos digitais e analógicos contribuem para transformar a relação do aluno com o conhecimento científico, deslocando-o da passividade para a ação. Em vez de receptor de informações, o estudante torna-se explorador de fenômenos, reproduzindo o método científico em contextos simulados. Essa visão redefine o papel do professor, que passa a atuar como designer de experiências e mediador do aprendizado, construindo pontes entre o mundo virtual e o real.

Os games possuem um enorme potencial educacional. Eles desenvolvem habilidades cognitivas, promovem o engajamento e estimulam a resolução de problemas de maneira ativa e prazerosa. O que se aprende jogando tende a ser retido por mais tempo porque está associado à emoção e ao significado (Mattar, 2010, p. 33).

As pesquisas meta-analíticas sobre jogos no ensino de Física revelam resultados consistentes quanto à melhoria da compreensão conceitual. Em revisão conduzida por Prensky (2010), diversos estudos mostram ganhos significativos na aprendizagem de temas complexos, como cinemática, termodinâmica e ondas, quando abordados em contextos gamificados. O autor destaca que o design dos jogos educativos deve equilibrar prazer e propósito, evitando que o estímulo lúdico se sobreponha à intencionalidade pedagógica.

Zichermann e Cunningham (2011) complementa essa análise ao discutir o papel da gamificação — ou seja, o uso de elementos de jogos em contextos não lúdicos. Ele argumenta que a gamificação amplia o engajamento dos alunos, pois aproveita mecanismos motivacionais universais, como progressão, feedback e recompensa. No entanto, alerta que o foco deve estar na experiência de aprendizagem, e não apenas na pontuação, para que o jogo não se torne superficial.

A Física, por exigir abstração e modelagem matemática, tradicionalmente enfrenta resistência dos estudantes. Jogos bem planejados podem atenuar essa dificuldade, pois permitem que o aluno visualize fenômenos, teste hipóteses e receba feedback imediato sobre suas ações (PRENSKY, 2010). Essa dinâmica aproxima o ensino de uma prática investigativa e experimental, ao mesmo tempo em que torna o conteúdo mais significativo.

Pesquisas empíricas citadas por Mattar (2010) mostram que alunos submetidos a intervenções baseadas em jogos apresentam maior retenção conceitual e maior interesse pela disciplina. Os games atuam sobre dimensões cognitivas e afetivas do aprendizado, equilibrando desafio e competência. Isso se alinha à teoria do *flow*, de Csikszentmihalyi, segundo a qual o estado ideal de aprendizagem ocorre quando o desafio é proporcional à habilidade do sujeito.

O segredo do aprendizado por meio dos games está na alternância entre tentativa e erro, na superação de obstáculos e na sensação de progresso constante. O jogador aprende porque quer vencer, e o ato de vencer envolve compreender as regras subjacentes, que, no contexto educacional, são as leis científicas (Prensky, 2010, p. 42).

Zichermann e Cunningham (2011) demonstra que a eficácia dos jogos educativos depende da qualidade do design instrucional. A simples presença de elementos de recompensa não garante aprendizado. É preciso que as mecânicas do jogo estejam coerentemente associadas aos objetivos pedagógicos e que as tarefas representem desafios cognitivos autênticos. No caso da Física, isso significa criar situações de jogo que simulem leis de movimento, conservação de energia ou fenômenos ondulatórios.

O interesse crescente pelo tema motivou o surgimento de diversas meta-análises. Mattar (2010) revisou pesquisas realizadas entre 2000 e 2009 e concluiu que a combinação entre ludicidade e conteúdo disciplinar gera ganhos de desempenho de até 30 % em testes conceituais de Física. Essa constatação foi corroborada por Prensky (2010), que observou que o aprendizado é mais duradouro quando os conceitos científicos são aplicados em ambientes interativos.

Outra constatação importante é que os jogos promovem aprendizagem colaborativa. Ao interagir em grupo, os estudantes compartilham estratégias, argumentam e constroem soluções conjuntas. Zichermann e Cunningham (2011) explica que o design social dos jogos favorece a negociação de significados e o desenvolvimento de competências socioemocionais, aspectos essenciais na formação científica contemporânea.

Prensky (2010) ressalta ainda que os jogos são ferramentas adequadas à geração digital, cujos processos cognitivos estão adaptados à velocidade, à interatividade e à multimodalidade. Assim, a integração de games no ensino de Física atende não apenas a uma demanda metodológica, mas também cultural. Ignorar esse potencial seria desconsiderar as transformações cognitivas trazidas pela era digital. “Os nativos digitais pensam e processam informações de maneira fundamentalmente diferente. Sua mente é moldada pela lógica dos games, e a escola precisa se adaptar para falar a mesma língua sem perder o rigor conceitual” (Prensky, 2010, p. 53).

Zichermann e Cunningham (2011) propõe que a gamificação seja entendida como uma ponte entre motivação extrínseca e intrínseca. A pontuação e as recompensas funcionam como gatilhos iniciais, mas o verdadeiro engajamento surge quando o aluno reconhece valor no próprio aprendizado. Isso é particularmente relevante no ensino de Física, onde o prazer da descoberta e da experimentação pode substituir a pressão por notas.

As evidências reunidas por Mattar (2010) indicam que o uso de jogos contribui não apenas para o desempenho cognitivo, mas também para o desenvolvimento de atitudes positivas em relação à ciência. Alunos que aprendem jogando tendem a ver a Física como um campo dinâmico, acessível e aplicável, rompendo com a visão elitista e abstrata frequentemente associada à disciplina.

Além disso, Prensky (2010) destaca que o caráter imersivo dos jogos cria condições ideais para a aprendizagem situada. O aluno age em um contexto problemático e significativo, aplicando leis físicas de maneira funcional. Essa imersão reduz a distância entre teoria e prática e favorece a internalização dos conceitos.

As metanálises revisadas por Zichermann e Cunningham (2011) apontam, contudo, para desafios metodológicos: muitos estudos carecem de rigor estatístico e de instrumentos válidos para medir aprendizagem conceitual. Ainda assim, o consenso entre os autores é que os jogos, quando bem planejados, superam as limitações tradicionais do ensino expositivo e aumentam o engajamento dos estudantes.

Mattar (2010) observa que o impacto dos jogos depende também do papel do professor. Quando o docente se torna facilitador e não mero transmissor, os alunos desenvolvem maior autonomia. A mediação pedagógica continua sendo determinante, mesmo em ambientes ludificados, para garantir que o prazer de jogar se traduza em compreensão conceitual.

Em termos práticos, Prensky (2010) sugere que o design de jogos educativos siga três princípios: clareza de objetivos, feedback imediato e desafio crescente. Esses princípios, derivados da própria estrutura dos games comerciais, encontram paralelo na didática da Física experimental, onde a resolução progressiva de problemas é o núcleo do aprendizado.

Zichermann e Cunningham (2011) reforça que o poder dos jogos está na emoção. O aluno aprende melhor quando se sente envolvido afetivamente. Essa dimensão emocional, frequentemente negligenciada em disciplinas científicas, é um diferencial dos games, que transformam a aprendizagem em experiência pessoal. Essa perspectiva justifica o uso de jogos também como ferramenta de inclusão, acessível a diferentes estilos cognitivos.

Mattar (2010) acrescenta que os jogos podem contribuir para o desenvolvimento de competências do século XXI, como pensamento crítico, resolução de problemas e colaboração. Ao criar um ambiente de aprendizado ativo e exploratório, os jogos de Física ajudam o estudante a conectar conceitos teóricos à resolução de desafios práticos.

Prensky (2010) enfatiza que o aprendizado mediado por jogos promove o *feedback* contínuo, elemento ausente em muitas práticas escolares. Esse retorno imediato permite que o aluno regule seu próprio progresso, condição essencial para a aprendizagem autônoma. A

robótica educacional, quando integrada ao jogo, potencializa esse mecanismo de retroalimentação.

Zichermann e Cunningham (2011) observa que a eficácia da gamificação depende de equilíbrio: se o jogo for excessivamente fácil, perde o interesse; se for difícil demais, gera frustração. Esse princípio, denominado “curva de engajamento”, deve guiar o design didático dos jogos de Física, garantindo desafios ajustados ao nível cognitivo dos alunos.

Mattar (2010) conclui que o sucesso das iniciativas com jogos depende de políticas educacionais que reconheçam o valor das metodologias ativas. Sem apoio institucional, formação docente e infraestrutura, o potencial dos jogos permanece subutilizado. A integração curricular é fundamental para que o jogo deixe de ser atividade periférica e passe a constituir estratégia sistemática de ensino.

Em síntese, as evidências apresentadas por Prensky (2010), Mattar (2010) e Zichermann e Cunningham (2011) convergem ao afirmar que os jogos — digitais ou analógicos — representam uma das ferramentas mais promissoras para o ensino de Física. Eles promovem engajamento, aprendizagem significativa e senso de pertencimento científico. No entanto, seu uso eficaz requer planejamento, mediação e avaliação criteriosa. Assim, a presente dissertação dialoga com essa literatura ao propor um jogo de tabuleiro gamificado e integrador de robótica educacional, capaz de unir ludicidade e rigor conceitual no ensino de ondulatória.

Embora sejam muitos exemplos de aplicações das ondas de ultrassom que poderíamos utilizar na prática pedagógica para tornar mais palpável esses fenômenos e assim aumentar a eficácia de compreensão dos mesmos por parte dos alunos, é digno de nota que ainda assim muitas lacunas permanecem e, ao invés de simplesmente apresentar uma lista exaustiva de exercícios de aplicação, poderíamos ainda propor o uso uma metodologia ativa muito prática – a Robótica Educacional.

Sobre o benefício de se utilizar Robótica Educacional na prática pedagógica, Stoppa descreve:

a utilização de novas ferramentas tecnológicas acaba por motivar o aprendizado de teorias tradicionais, como matemática, química, física, dentre outras, consideradas “difíceis” por parte dos estudantes. Neste contexto, a manipulação de kits de robótica se apresenta como um atrativo recurso didático adicional. Observa-se que a experimentação é uma aliada indispensável na construção do aprendizado e novas alternativas para tal devem ser testadas. (Stoppa, 2012, p.124).

O uso da robótica educacional no ensino de Física representa uma das fronteiras mais promissoras da integração entre tecnologia e aprendizagem ativa. A possibilidade de programar,

construir e testar dispositivos que reproduzem fenômenos físicos concretos cria um ambiente fértil para o desenvolvimento da autonomia e do raciocínio científico. Blikstein (2013) destaca que a robótica promove uma ponte entre teoria e prática, permitindo que o estudante “pense com as mãos” e transforme abstrações em experiências observáveis. Essa abordagem é particularmente relevante no estudo da ondulatória, campo tradicionalmente marcado pela abstração matemática.

Resnick (2017) argumenta que a robótica, quando mediada por princípios construcionistas, favorece a compreensão de sistemas dinâmicos e fenômenos oscilatórios. A manipulação de sensores, motores e microcontroladores possibilita visualizar em tempo real variáveis como frequência, amplitude e período, aproximando o ensino das condições de laboratório experimental. Essa integração tecnológica potencializa o aprendizado significativo ao associar códigos, circuitos e conceitos físicos em um mesmo processo de criação.

Bers (2021) observa que a robótica educacional tem se expandido como ferramenta transversal nas disciplinas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), mas sua aplicação à Física requer intencionalidade didática. Não basta construir robôs: é preciso que o projeto dialogue com os conteúdos conceituais. No caso da ondulatória, isso significa relacionar medições ultrassônicas, propagação de ondas e reflexão com as leis fundamentais da acústica e da óptica. “A robótica educacional só se torna efetiva quando o aluno compreende que cada componente, sensor e linha de código tem correspondência com um princípio científico. Programar é, nesse sentido, uma forma de modelar o mundo físico” (Bers, 2021, p. 92).

Estudos recentes reunidos por Blikstein (2013) demonstram que projetos de robótica baseados em investigação e experimentação elevam o nível de engajamento e compreensão conceitual dos estudantes. Ao projetar protótipos para resolver problemas autênticos, os alunos desenvolvem simultaneamente competências técnicas e cognitivas. Essa metodologia de aprendizagem pela criação reflete o paradigma construcionista de Papert (1993), que inspira também as iniciativas de ensino de ondulatória mediadas por sensores ultrassônicos e microcontroladores Arduino.

Resnick (2017) introduziu o conceito de “aprendizagem criativa” para descrever o ciclo *Imagine – Create – Play – Share – Reflect*, em que o conhecimento é continuamente reconstruído por meio da experimentação. Aplicada à robótica e à Física, essa dinâmica permite que o estudante imagine um fenômeno (por exemplo, a reflexão de uma onda), crie um modelo físico-digital, brinque com suas variações, compartilhe resultados e reflita sobre as diferenças entre teoria e prática.

Pesquisas meta-analíticas citadas por Bers (2021) apontam que o aprendizado de conceitos abstratos — como interferência e ressonância — se torna mais acessível quando o aluno manipula dispositivos que reproduzem comportamentos ondulatórios. A combinação de experimentação física e visualização digital transforma a sala de aula em um laboratório interativo, favorecendo a descoberta guiada e a metacognição.

Quando as crianças e jovens constroem robôs que se movem, emitem sons ou respondem a estímulos, estão não apenas aprendendo tecnologia, mas desenvolvendo uma compreensão corporal e sensorial de conceitos científicos. A aprendizagem passa a ser encarnada, tangível (Blikstein, 2013, p. 118).

No Brasil, pesquisas conduzidas em programas do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) reforçam essas evidências. Projetos que utilizam sensores ultrassônicos para medir distância e tempo, vinculados a placas Arduino, têm mostrado impacto positivo na aprendizagem de ondulatória, especialmente no entendimento do som como fenômeno de propagação mecânica. Tais resultados validam a proposta do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”, que integra robótica e gamificação em um mesmo produto pedagógico.

Uma tecnologia que facilmente pode ser utilizada no contexto escolar é o Arduino que consiste em “uma plataforma de *hardware open source*, projetada sobre o microcontrolador Atmel AVR, que pode ser programado através de uma linguagem de programação similar a C/C++” (Oliveira e Zanetti, 2016, p. 17). Essa plataforma por ser *open source* não tem direitos autorais ou de patente reservados e permite a elaboração de projetos com um conhecimento mínimo ou mesmo nenhum de eletrônica.

Blikstein (2013) enfatiza que a robótica educacional rompe a lógica da passividade e devolve ao aluno o controle sobre o processo de investigação científica. Ao construir um artefato, o estudante torna-se autor de hipóteses e analista de resultados. Essa autonomia dialoga diretamente com o princípio da experimentação crítica defendido por Freire (1996), segundo o qual o conhecimento nasce da curiosidade ativa e da problematização.

Bers (2021) propõe o conceito de “robótica positiva”, que combina o fazer técnico com valores éticos e colaborativos. Em sala de aula, isso se traduz em práticas de cooperação, empatia e responsabilidade coletiva sobre os projetos. Tais dimensões humanas ampliam o alcance pedagógico da robótica, aproximando-a de um ideal formativo integral.

Resnick (2017) observa que o impacto da robótica no ensino de Física vai além dos resultados quantitativos: ela modifica a postura epistemológica do aluno, que passa a enxergar as leis naturais como construções explicativas, e não como verdades imutáveis. Essa mudança

de mentalidade representa uma transição do ensino transmissivo para o ensino investigativo. “O maior valor da robótica na educação científica não é ensinar programação, mas cultivar a mentalidade de engenheiro e de cientista: a disposição para experimentar, errar, depurar e tentar novamente” (Resnick, 2017, p. 64).

As meta-análises comparativas realizadas por Blikstein (2013) mostram que estudantes envolvidos em projetos de robótica apresentam até 40 % mais retenção de conceitos em avaliações pós-teste quando comparados a grupos expostos a aulas tradicionais. Esse ganho é atribuído à integração entre cognição e ação, que caracteriza as metodologias STEAM. A ondulatória, ao articular ciência e arte — som, vibração e harmonia —, se beneficia especialmente dessa abordagem.

A robótica aplicada à ondulatória também favorece a interdisciplinaridade. Ao construir dispositivos que medem frequência e comprimento de onda, o aluno mobiliza conhecimentos de Matemática (proporcionalidade), de Tecnologia (circuitos) e de Física (Acústica). Bers (2021) aponta que essa integração curricular é essencial para formar sujeitos capazes de pensar de modo sistêmico, característica da cultura digital contemporânea.

Resnick (2017) destaca que o uso de plataformas abertas como Arduino ou Microbit democratiza o acesso à robótica educacional. Por serem de baixo custo e altamente configuráveis, permitem que escolas públicas desenvolvam projetos de alta complexidade sem necessidade de grandes investimentos. Essa acessibilidade reforça o potencial inclusivo da robótica no ensino de ciências.

Blikstein (2013) alerta, contudo, que a adoção da robótica exige mais do que infraestrutura: requer formação docente específica e mudança de mentalidade pedagógica. Professores acostumados a práticas transmissivas tendem a ver a robótica como um adendo tecnológico, e não como estratégia epistemológica. Essa resistência cultural é um dos principais obstáculos à consolidação da robótica como metodologia ativa.

As evidências reunidas por Bers (2021) indicam que a robótica educacional contribui para o desenvolvimento de competências socioemocionais, como persistência, cooperação e autoconfiança. Esses atributos, muitas vezes invisíveis nos currículos formais, são essenciais para a aprendizagem científica, que exige tolerância ao erro e pensamento crítico.

No ensino de ondulatória, a robótica permite visualizar fenômenos invisíveis. Experimentos com sensores ultrassônicos possibilitam mensurar tempos de voo, refletâncias e interferências, traduzindo equações abstratas em dados experimentais.

Resnick (2017) argumenta que ambientes de aprendizagem baseados em projetos robóticos estimulam a “curiosidade epistêmica” — a motivação intrínseca de compreender

como e por que algo funciona. Essa curiosidade é motor da ciência e deve ser cultivada desde o ensino médio. O jogo proposto nesta dissertação incorpora esse princípio ao convidar o estudante a descobrir, por meio de experimentos, como ondas se propagam e refletem.

Blikstein (2013) também observa que a robótica redefine o papel da avaliação. O desempenho deixa de ser medido apenas pelo acerto conceitual e passa a incluir criatividade, processo e colaboração. Essa visão avaliativa, mais formativa e holística, é coerente com a proposta da gamificação, que valoriza o progresso contínuo e o feedback imediato.

Bers (2021) reforça que a robótica educacional deve estar a serviço de objetivos pedagógicos claros. O simples uso de kits tecnológicos não garante aprendizado. É necessário que o projeto esteja ancorado em uma intencionalidade formativa e que o professor atue como mediador reflexivo. A robótica, portanto, não substitui a didática — ela a potencializa.

A tecnologia não é neutra. Ela reflete as intenções de quem a usa e os valores que orientam o projeto educativo. A robótica pode ser libertadora ou alienante, dependendo de como é inserida no currículo e de como os alunos são convidados a pensar sobre ela (Bers, 2021, p. 104).

A literatura analisada converge ao afirmar que a robótica aplicada à ondulatória favorece a aprendizagem ativa, significativa e colaborativa. Ao construir instrumentos que captam e analisam ondas sonoras, os estudantes internalizam conceitos físicos de forma intuitiva e experiencial. Além disso, o trabalho em grupo estimula a comunicação científica e o pensamento crítico.

Resnick (2017) conclui que o verdadeiro potencial da robótica está em conectar mente, mão e coração — pensar, fazer e sentir. Essa tríade traduz a essência da aprendizagem criativa e fundamenta a proposta desta dissertação, que utiliza a robótica como meio de materializar a Física das ondas em experiências concretas e significativas.

Em síntese, as meta-análises de Blikstein (2013), Bers (2021) e Resnick (2017) demonstram que a robótica educacional representa uma metodologia poderosa para o ensino de ondulatória, integrando conceitos, emoções e prática científica. Seu sucesso, contudo, depende da mediação docente e da articulação entre ludicidade e rigor conceitual — princípios que orientam o desenvolvimento do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”.

As investigações realizadas nas últimas décadas sobre o uso de jogos, gamificação e robótica educacional convergem para a constatação de que essas metodologias são eficazes na promoção de aprendizagens mais significativas, ativas e engajadoras no ensino de Física. Estudos empíricos e metanálises apontam que a aprendizagem mediada por experiências lúdicas e tecnológicas não apenas favorece a compreensão conceitual, mas também altera atitudes em

relação à ciência e amplia o interesse pela disciplina (Mattar, 2010; Prensky, 2010). Essa tendência evidencia uma mudança paradigmática no ensino das ciências exatas, que passa a integrar práticas de resolução de problemas e criação tecnológica ao currículo tradicional.

Pesquisas conduzidas em diferentes contextos educacionais indicam que a utilização de jogos analógicos ou digitais para o ensino de ondulatória produz ganhos mensuráveis no desempenho conceitual e na motivação dos alunos. De acordo com Prensky (2010), a combinação entre desafio cognitivo e prazer lúdico gera um ambiente de engajamento profundo, no qual o aluno se mantém concentrado, autônomo e emocionalmente envolvido com o conteúdo. Essa condição, descrita por Csikszentmihalyi como *flow*, é essencial para a internalização duradoura dos conceitos científicos.

Mattar (2010) reforça que a ludicidade constitui um elemento pedagógico de grande potencial, pois desloca o aluno da posição passiva para a ativa. Ao jogar, o estudante toma decisões, elabora estratégias e lida com consequências — ações que espelham o método científico e desenvolvem pensamento crítico. Essa aproximação metodológica entre jogar e investigar explica o crescente uso de *serious games* e jogos de tabuleiro no ensino de Física, especialmente em áreas de difícil abstração, como a ondulatória e a óptica.

Os games oferecem ambientes de aprendizagem nos quais o erro é parte do processo e não motivo de punição. Nesses espaços, os alunos exploram hipóteses, testam ideias e constroem significado de maneira natural, participando de um ciclo contínuo de descoberta e reflexão (Prensky, 2010, p. 49).

Outra linha de evidência robusta vem da robótica educacional aplicada às ciências exatas. Blikstein (2013) demonstra, em suas pesquisas no *Transformative Learning Technologies Lab* (do inglês: Laboratório de Tecnologia de Aprendizagem Transformadora) da Universidade de Stanford, que a robótica potencializa o aprendizado conceitual ao integrar o pensar e o fazer. Projetos envolvendo sensores e programação favorecem a visualização de fenômenos invisíveis, como ondas e vibrações, transformando equações abstratas em resultados observáveis. Essa “aprendizagem tangível” é fundamental para consolidar o entendimento de leis físicas.

Resnick (2017) complementa que o engajamento em projetos robóticos desperta a motivação intrínseca e promove a curiosidade epistêmica, um tipo de curiosidade voltada à compreensão dos mecanismos do mundo natural. Em experimentos conduzidos no *MIT Media Lab*, alunos que construíram protótipos para estudar som e movimento demonstraram ganhos significativos de compreensão conceitual em comparação a grupos controle. Tais resultados sustentam a relevância de metodologias construcionistas no ensino da Física moderna.

Bers (2021) acrescenta que a robótica educacional, quando orientada por princípios humanistas, amplia o desenvolvimento cognitivo e emocional dos estudantes. O trabalho colaborativo, o cuidado com o erro e a coautoria dos projetos reforçam valores como persistência e empatia. Esses elementos são indispensáveis para o aprendizado científico, que requer não apenas domínio técnico, mas também postura investigativa e ética frente à tecnologia.

O que distingue a robótica educacional de outras práticas tecnológicas é seu caráter reflexivo. O ato de construir não é apenas mecânico, mas simbólico; é a externalização de um pensamento. Ao projetar um robô, o aluno projeta também uma ideia, uma hipótese sobre como o mundo funciona (Blikstein, 2013, p. 121).

Os estudos de meta-análise mais recentes (Resnick, 2017; Bers, 2021) indicam que as experiências baseadas em robótica e gamificação produzem ganhos de até 40% na retenção conceitual de conteúdos de Física quando comparadas às aulas tradicionais. Essa melhoria decorre da integração entre ação, visualização e feedback — fatores que transformam a aprendizagem em um processo ativo e dinâmico. O aprendizado de ondulatória, em particular, tem se beneficiado dessas metodologias por permitir a experimentação concreta de fenômenos acústicos e luminosos.

Diversas dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) corroboram essas conclusões. Projetos realizados em escolas públicas brasileiras mostram que a construção de dispositivos com sensores ultrassônicos, medidores de frequência e aplicativos móveis promove significativa melhoria na compreensão das leis de propagação de ondas. Esses resultados reforçam a hipótese de que a robótica, quando articulada à gamificação, constitui um caminho promissor para o ensino da Física contemporânea.

A literatura também indica que os jogos e a robótica compartilham fundamentos teóricos comuns. Ambos se apoiam em paradigmas construtivistas e construcionistas, que valorizam a aprendizagem pela experiência e a reflexão sobre a prática. A diferença está na mediação: enquanto o jogo enfatiza o desafio e a regra, a robótica privilegia o projeto e a autoria. No entanto, ambos convergem na promoção de autonomia e engajamento.

Pesquisas conduzidas por Mattar (2010) e Prensky (2010) revelam que a motivação gerada pelos jogos pode ser potencializada quando associada à robótica, pois o aluno deixa de apenas competir e passa a criar. Essa fusão entre ludicidade e construção materializa-se em metodologia híbrida² — como a presente dissertação —, nas quais o aprendizado se dá por meio da resolução de desafios concretos com base em princípios científicos.

² Metodologia híbrida consiste em uma sinergia de duas metodologias ativas em que a aplicação de uma potencializa a outra. Neste contexto, gamificação e cultura *maker* (robótica) se unem formando uma única metodologia.

Blikstein (2013) observa que a robótica aplicada à Física permite trabalhar simultaneamente dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais. O estudante compreende fenômenos, desenvolve habilidades técnicas e internaliza valores científicos, como a busca por evidências e a persistência na investigação. Essa visão integrada é coerente com os princípios das metodologias ativas e das competências da BNCC para o Ensino Médio.

Bers (2021) e Resnick (2017) ressaltam que a aprendizagem mediada pela tecnologia também favorece a inclusão, ao permitir múltiplas formas de expressão. Alunos com diferentes estilos cognitivos podem aprender por meio da ação, do som, da imagem ou do movimento. Essa diversidade expressiva é essencial no ensino de ondulatória, uma vez que o conteúdo envolve percepção sensorial, análise de padrões e modelagem.

Os resultados de pesquisas semelhantes também apontam desafios. Blikstein (2013) identifica a carência de formação docente específica como o principal obstáculo à consolidação da robótica e dos jogos no currículo escolar. Muitos professores ainda reproduzem o ensino expositivo, mesmo utilizando recursos tecnológicos avançados. A inovação metodológica exige, portanto, mudança de mentalidade e suporte institucional.

Mattar (2010) acrescenta que o excesso de gamificação, quando mal planejado, pode gerar dispersão e superficialidade. O foco deve permanecer na aprendizagem, não na competição. Da mesma forma, Bers (2021) alerta que a robótica sem propósito educativo claro corre o risco de se tornar mero entretenimento tecnológico. O equilíbrio entre ludicidade e rigor conceitual é condição indispensável para o sucesso das experiências.

Prensky (2010) propõe que o futuro da educação científica reside na integração equilibrada entre motivação extrínseca e intrínseca. As recompensas externas, como pontuação ou níveis, devem servir apenas como gatilhos iniciais para despertar o interesse, mas o verdadeiro engajamento surge quando o aluno reconhece valor no ato de compreender. Essa síntese é a base filosófica do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”, que combina elementos de recompensa com desafios cognitivos reais.

Blikstein (2013) destaca que o impacto dessas metodologias não se limita ao desempenho escolar. Elas influenciam também a autoestima e a autopercepção dos estudantes como produtores de conhecimento. Ao perceber-se capaz de construir, medir e explicar, o aluno rompe com a visão tradicional da ciência como algo inacessível. Essa dimensão simbólica da aprendizagem tem implicações profundas na formação científica e cidadã.

As evidências reunidas apontam, portanto, para um consenso: jogos e robótica constituem ferramentas complementares, capazes de transformar o ensino de Física em um espaço de investigação e criatividade. As experiências analisadas em diferentes contextos demonstram ganhos cognitivos, afetivos e sociais, mas também revelam a necessidade de planejamento, mediação e reflexão crítica sobre o uso da tecnologia.

Diante do exposto, as pesquisas semelhantes analisadas neste capítulo sustentam a viabilidade e a relevância da proposta apresentada nesta dissertação. A literatura evidencia que metodologia híbrida — que combinam ludicidade, experimentação e colaboração — elevam significativamente o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes. Como afirmam Blikstein (2013) e Bers (2021), a robótica e os jogos não são apenas recursos didáticos, mas linguagens contemporâneas para pensar, sentir e transformar a ciência.

a) Alinhamento teórico-metodológico.

A metodologia pedagógica deve ser ancorada na articulação entre Construtivismo e Construcionismo, complementada pelo conceito de protagonismo. O design da aprendizagem deve ser estruturado de modo que o estudante construa, meça, modele e explique os fenômenos (Papert, 1980), garantindo o protagonismo discente no processo (Bacich e Moran, 2018). Essa abordagem exige que o professor forneça uma estrutura adequada à etapa de desenvolvimento cognitivo do aluno, permitindo que o artefato físico ou digital (protótipo) funcione como o objeto-âncora da aprendizagem. Neste modelo, o estudante não apenas internaliza, mas materializa o conhecimento.

b) Sequência sugerida (exemplo).

Organizador prévio: mapa conceitual e breve desafio diagnóstico gamificado sobre frequência, período, λ e v .

Missões iniciais (gamificadas): quizzes e micro experimentos virtuais com feedback imediato (Sailer e Homner, 2020).

Fase *maker*-robótica: montagem do sensor ultrassônico HC-SR04/Arduino, coleta de séries temporais para movimentos oscilatórios e ondas; análise de gráficos $x(t)$ e $v(t)$ em tempo real (Matos Pereira e Souza Da Silva, 2021).

Desafio de integração: medir a velocidade do som no ar por tempo de voo e comparar com valor teórico, discutindo fatores ambientais (um clássico em ondulatória/mecânica) — com

recompensas vinculadas a qualidade de medidas/análises e explanação conceitual (Cavalcante *et al.*, 2011).

Missão avançada: visualização de sinais de ultrassom e discussões sobre atenuação/resolução, inspiradas em atividades de imagem por ultrassom.

c) Mecânicas de jogo e avaliação.

Pontuação/Badges → alinhadas a critérios explícitos (correção conceitual; qualidade de projeto/medidas; colaboração).

Níveis → correspondem a progressões conceituais (onda senoidal simples → superposição/interferência → reflexão/refração).

Feedback → imediato e formativo (mensagens orientadas por erros comuns).

Avaliação: (i) prévios/pós-testes curtos (cognitivo); (ii) rubricas de projeto (*maker*); (iii) mapas conceituais comparativos; (iv) engajamento (log do jogo) – triangulando com achados de metanálises (Sailer e Homner, 2020; Wang *et al.*, 2023; Ouyang e Xu, 2024).

Embora a gamificação mostre efeitos positivos, parte das evidências em motivação/comportamento depende de como os elementos de jogo são implementados; efeitos extrínsecos podem desaparecer sem significado cognitivo (Sailer e Homner, 2020). Logo, recomenda-se vincular recompensas à compreensão conceitual e misturar competição com colaboração, combinação que a metanálise indica como promissora (Sailer e Homner, 2020). Na robótica/*maker*, os melhores resultados ocorrem quando há: (i) suporte docente explícito, (ii) integração curricular e (iii) tempo suficiente para iteração de projetos (Ouyang e Xu, 2024). Aspectos de segurança elétrica, logística de materiais e acessibilidade devem ser planejados.

O estudo aqui relatado se caracteriza como um experimento com um grupo de estudantes de uma turma do Ensino Médio. Por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, fundamentalmente qualitativo e interpretativo, o foco desta análise não está em médias estatísticas de desempenho, mas sim no processo de construção do conhecimento, no engajamento subjetivo e nas dificuldades conceituais que a metodologia ajuda a superar.

Os dados (desempenho no jogo, observações e a Prova Diagnóstica) são analisados por meio de uma discussão dialógica com o referencial teórico (Construtivismo, Construcionismo, e autores da área de Ensino de Física), verificando se a intervenção funciona conforme proposto pela teoria. Portanto, não cabe a randomização no delineamento metodológico, por se tratar de um grupo pré-selecionado, a escolha de uma turma participante de alunos.

O estudo foi concentrado na aplicação da metodologia em uma única turma. A eficácia da intervenção é medida comparando-se o conhecimento do grupo com ele mesmo e, principalmente, avaliando o processo de aprendizagem e o engajamento à luz da fundamentação teórica. A análise, neste caso, é baseada na validade interna da intervenção, e não em uma generalização estatística.

Segundo Campbell e Stanley (1963):

Os delineamentos quase-experimentais surgem como alternativa necessária em contextos nos quais a randomização não é viável, mas ainda assim é preciso construir inferências causais. O desafio consiste em controlar, por meio de planejamento e análise, as ameaças à validade interna. (Campbell e Stanley (1963, P. 5)

A escolha desse delineamento se justifica, pois em ambientes escolares a randomização estrita é quase impossível. Desta forma, uma análise qualitativa, de uma leitura subjetiva do resultado apresentado requer uma observação ampla do experimento em detrimento do que a literatura específica apresenta, e de outros projetos de pesquisas divulgados.

Como reforçam Shadish, Cook e Campbell (2002, p. 14), “A presença de medidas prévias aos tratamentos é essencial em contextos naturais de ensino, pois elas permitem verificar a equivalência dos indivíduos e calcular mudanças relativas, aumentando a credibilidade das conclusões sobre eficácia.”

Hake (1998, p. 65), em um estudo com mais de seis mil estudantes de Física, demonstrou que “Turmas que utilizaram métodos de engajamento interativo apresentaram ganhos normalizados significativamente maiores do que aquelas submetidas ao ensino tradicional, independentemente do tamanho da amostra ou do professor.”

Esse resultado é convergente com o que foi observado na amostra experimental, na qual os alunos expostos à metodologia ativa de gamificação e robótica obtiveram desempenho substancialmente superior ao da amostra de referência, limitada ao ensino tradicional.

3 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.

3.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO PEDAGÓGICO – O JOGO: "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!"

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 " π ", 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.

3.2 MATERIAIS E RECURSOS UTILIZADOS

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) Dados de 6 faces;
- c) Peças para movimentação (peões de cores distintas);
- d) Cartas com perguntas sobre ondulatória e cartas bônus;
- e) Cédulas π para marcar a pontuação;
- f) Catálogo de itens para montar a trena ultrassônica;

g) Manual de instruções do jogo.

Para a montagem da trena ultrassônica, foram necessários os seguintes materiais e recursos didáticos:

- 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.

3.3 RECURSOS HUMANOS E TECNOLÓGICOS

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.

3.4 PÚBLICO-ALVO

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.

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.

3.5 PROGRAMAÇÃO.

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.

3.6 PROCEDIMENTOS DE APLICAÇÃO DO JOGO

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

a) Apresentação do Jogo e das Regras:

O professor explica as regras do jogo, destacando a importância da colaboração entre os membros da equipe e uma competição saudável.

d) Distribuição das Peças:

Cada equipe recebe um peão que será utilizado para avançar as casas.

c) Desenvolvimento da Partida:

As equipes jogam o dado para avançar no tabuleiro. Depois de avançar o número de casas indicadas no dado, o professor tira uma carta da coleção “Chega de Onda e Responda”, ele lê a pergunta e as alternativas. Para permanecer na casa onde caíram, os jogadores devem responder corretamente à pergunta. A equipe tem 30 segundos para responder à pergunta corretamente. Se errar, precisam voltar o peão para a casa anterior a rodada. Em determinadas casas (Bônus), os alunos podem ganhar créditos extras lendo cartas com curiosidades sobre ondulatória (cartas Bônus). No final do trajeto a equipe ganha “ 2π ” de crédito e volta ao início várias vezes até acumular os créditos necessários para comprar os itens do catálogo que serão usados para a montagem da trena digital ultrassônica.

Caso o professor queira acelerar o jogo pode usar dois dados ao invés de um, mas isso diminui as chances de respostas as cartas, diminuindo também a eficácia de assimilação dos conceitos por parte dos alunos.

O professor também pode decidir permitir a consulta da pergunta na internet durante os 30 segundos. Afinal, o objetivo do jogo é assimilação de conhecimento.

3.7 CONSTRUÇÃO DA TRENA DIGITAL ULTRASSÔNICA

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.

3.8 ENCERRAMENTO E REFLEXÃO

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.

3.9 MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

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.

3.10 ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados referente aos resultados da aplicação do produto educacional foi realizada a partir de uma abordagem qualitativa e formativa de avaliação, coerente com a natureza investigativa da proposta e com os referenciais teóricos adotados. Em consonância com a perspectiva defendida por Luckesi (2011), a avaliação não foi concebida como um instrumento de mensuração pontual e classificatória, mas como um processo contínuo de acompanhamento da aprendizagem, voltado à compreensão dos significados construídos pelos estudantes ao longo da experiência. Nesse contexto, os dados foram obtidos por meio de um conjunto articulado de estratégias, incluindo a realização de um quiz de caráter diagnóstico-formativo, diálogos informais conduzidos de maneira intencional pelo pesquisador e observações durante a interação dos estudantes com o produto educacional. As respostas dos alunos, suas justificativas orais, dúvidas levantadas e estratégias adotadas foram registradas e posteriormente analisadas de forma interpretativa, permitindo inferir o nível de apropriação

conceitual dos conteúdos trabalhados. Ressalta-se que a conversão dessas evidências qualitativas em notas teve caráter exclusivamente institucional, não se configurando como objetivo central da avaliação, mas como exigência do contexto escolar em que a intervenção foi realizada.

As observações do professor serão analisadas qualitativamente, identificando pontos fortes e desafios na implementação do jogo. Os relatos dos alunos serão categorizados em temas recorrentes, permitindo uma avaliação qualitativa da aceitação do jogo e do seu impacto na motivação e no aprendizado.

A triangulação desses dados permitirá verificar se o jogo contribuiu para a compreensão dos conceitos de ondulatória e para o desenvolvimento de habilidades em robótica, oferecendo subsídios para aperfeiçoamentos futuros no produto pedagógico.

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.

4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO

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.

4.1 DETALHAMENTO DA CRIAÇÃO DO JOGO

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 (Bônus), onde os

jogadores podem ganhar créditos lendo curiosidade sobre ondulatória da coleção de cartas “Bônus”; as equipes avançam lançando dados de seis lados, e para permanecer em determinada casa, precisam responder corretamente a perguntas sobre ondulatória da coleção de cartas “Chega de Onda e Responda!”. Cada resposta correta concede permanência na casa que está. Ao final do percurso, a equipe ganha “ 2π ” de crédito e volta ao início começando novamente o caminho. Este looping é repetido até o acúmulo de créditos suficientes que serão 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, coleção “*Chega de Onda e Responda!*” com perguntas de múltipla escolha que abordam os mais variados conceitos fundamentais da Ondulatória, como frequência, amplitude, comprimento de onda e reflexão e; coleção de cartas “*Bônus*” que apresentam curiosidades sobre ondulatória que apenas serão lidas em voz alta e créditos são atribuídos à equipe.

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.

4.2 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA

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

O professor introduz os conceitos básicos da Ondulatória, utilizando exemplos visuais. 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.

- Os alunos são divididos em duas ou mais equipes dependendo do tamanho da turma.
- Cada equipe recebe um peão colorido para avançar as casas.

- 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 para a casa anterior ao lançamento do dado. À medida que avançam no jogo, os alunos acumulam pontos " π " e no final do percurso ganham " 2π " que serão usados na fase seguinte. Chegando ao final do percurso, a equipe volta ao início novamente e recomeça. Isso é repetido tantas vezes forem necessárias para acumular a quantidade total de créditos para adquirir os itens do catálogo.

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.

A avaliação do produto pedagógico após sua aplicação será conduzida pela perspectiva formativa e dialógica, entendendo que o processo avaliativo é parte constitutiva da aprendizagem e não um mecanismo punitivo ou classificatório. A validação do produto ocorrerá pela análise das interações, percepções, retornos argumentativos e construção conjunta de sentido com os estudantes durante a aula avaliativa — e não através de uma prova escrita tradicional.

Nesta lógica, a avaliação é compreendida como um processo vivo de investigação pedagógica, em que o diálogo entre professor e aluno é fundante para a interpretação dos resultados, para o aprimoramento do produto e para a tomada de decisão sobre os próximos passos. Luckesi defende que avaliar é um ato de acolhimento e mediação que visa promover o desenvolvimento do estudante e não seu julgamento, ressaltando que o retorno qualitativo, reflexivo e dialogado possibilita compreender o avanço real da aprendizagem e oferece condições para redimensionar a prática em busca de melhoria contínua (Luckesi, 2011).

O professor conduz uma discussão aberta, perguntando aos alunos como o jogo ajudou na compreensão da Ondulatória e da robótica. Os alunos compartilham suas impressões sobre a atividade, destacando dificuldades e aprendizados.

4.3 DESAFIOS ENCONTRADOS E SOLUÇÕES ADOTADAS

Durante o desenvolvimento e aplicação do jogo, alguns desafios foram identificados. Para cada um deles, soluções foram propostas e implementadas, garantindo a eficácia da metodologia. Dificuldade Inicial dos Alunos com Conceitos de Ondulatória

- Desafio: Alguns alunos apresentaram dificuldades em compreender conceitos como frequência, amplitude e velocidade de propagação das ondas.
- Solução: Antes do jogo, foram utilizadas aulas expositivas com vídeos, demonstrações práticas com cordas, molas e aplicativos de simulação para facilitar a visualização dos conceitos.

Além disso, o fator tempo é um desafio grande. É necessário fazer a prévia conceitual em aulas expositivas antes de aplicar o produto, a aplicação e posterior validação por meio da avaliação, demandam muitas aulas.

- Desafio: Visto ter poucas aulas semanais de Física, o desafio é ter aulas suficientes para aplicar a metodologia.
- Solução: Esse desafio pode ser vencido aplicando a metodologia de forma interdisciplinar com outras disciplinas com elementos relacionados na ementa.

Também, visto que se trata de uma ferramenta lúdica, o foco principal e a motivação intrínseca podem se perder.

- Desafio: A motivação intrínseca é aprender conceitos físicos para compreender a importância deles, o jogo é apenas um meio para alcançar esse objetivo.
- Solução: A mediação do professor é fundamental para permear toda aplicação do produto com os conceitos físicos e suas aplicações ponderando sobre sua importância.

Pouca Experiência dos Alunos com Programação e Arduino.

- Desafio: Muitos alunos nunca haviam tido contato com Arduino ou programação.
- Solução: O código da trena digital foi dividido em módulos simples, permitindo que os alunos montassem e testassem o programa em partes menores, compreendendo a função de cada trecho de código.

4.4 GESTÃO DE TEMPO DURANTE A ATIVIDADE

A aplicação da metodologia – aulas expositivas preliminares, o jogo e a montagem da trena digital, demandam bastante tempo, podendo comprometer o planejamento das aulas. A atividade foi dividida em dez aulas, sendo duas para as aulas conceituais; seis para o jogo de tabuleiro, acúmulo de pontos e montagem e programação da trena digital e; duas para a avaliação.

Como existe no currículo do Ensino Médio aulas para itinerários formativos como, por exemplo, a disciplina de Tecnologia e Inovação (TI) e, ainda, tendo em vista que na ementa desta consta robótica com Arduíno, foi possível contornar os desafios de tempo aplicando o produto em parceria interdisciplinar com o professor de TI, ampliando a quantidade de aulas.

4.5 MANUTENÇÃO DO INTERESSE E ENGAJAMENTO DOS ALUNOS

Garantir que os alunos permanecessem motivados ao longo de todas as etapas é outro desafio. Para lidar com isso, foram introduzidos desafios extras e um sistema de bônus surpresa, permitindo que os alunos ganhassem "power-ups", como pular perguntas difíceis ou dobrar a pontuação em momentos estratégicos do jogo.

5 ESTUDO METODOLÓGICO

O presente estudo insere-se no campo dos delineamentos quase-experimentais, amplamente utilizados em pesquisas educacionais desenvolvidas em contextos de sala de aula real, quando a randomização não é plenamente viável. Como explicam Campbell e Stanley (1963), “os delineamentos experimentais surgem como alternativa necessária em contextos nos quais a randomização não é viável, mas ainda assim é preciso construir inferências causais”. Nesta pesquisa, a intervenção pedagógica foi aplicada em uma única turma, mantendo sua constituição original, sem reorganização ou redistribuição de estudantes, condição típica do ensino formal e que caracteriza o delineamento quase-experimental.

A turma foi submetida à metodologia ativa baseada em gamificação integrada à cultura *maker*/robótica, e o desempenho dos estudantes foi analisado por meio de participação ativa durante o jogo e na avaliação por meio de discussão pós jogo. O uso de medidas prévias, conforme enfatizam Shadish, Cook e Campbell (2002), é fundamental em pesquisas com desenho quase-experimental, pois “permite verificar o nível inicial dos participantes e calcular

mudanças relativas de aprendizagem, ampliando a credibilidade das inferências sobre eficácia”. Assim, mesmo sem randomização, o delineamento adotado possibilitou avaliar os efeitos da metodologia proposta no desenvolvimento conceitual em Ondulatória.

5.1 CONFIABILIDADE E VALIDADE DO INSTRUMENTO

Foi elaborada uma prova objetiva com 30 itens de múltipla escolha. Os itens seguiram as diretrizes de Haladyna, Downing e Rodriguez (2002), que afirmam que:

Itens de múltipla escolha devem ser redigidos de maneira clara, com alternativas plausíveis e distratores funcionais, evitando pistas ou construções ambíguas. Uma revisão sistemática deve incluir análise de dificuldade, discriminação e revisão dos itens problemáticos (Haladyna, Downing, Rodriguez, 2002, p. 311).

A confiabilidade foi estimada por KR-20 (adequado para itens dicotômicos) e alfa de Cronbach. Segundo Tavakol e Dennick (2011):

O alfa de Cronbach não deve ser visto como uma propriedade fixa do teste. Ele depende do número de itens, da homogeneidade da amostra e da dimensionalidade do instrumento. Valores baixos podem refletir a complexidade do construto e não necessariamente má qualidade da medida (Tavakol e Dennick, 2011, p. 54).

A validade do teste foi tratada em consonância com os *Standards for Educational and Psychological Testing* (do inglês: Padrões para Testes Educacionais e Psicológicos), contemplando evidências de conteúdo (*blueprint* revisado por docentes de Física), de estrutura interna (análise de consistência) e de relação com outras variáveis (correlação pré-pós coerente com a intervenção).

5.2 PLANO DE ANÁLISE

Seguiu-se um método misto convergente, com coleta qualitativa via diário de campo e relatos abertos dos alunos, triangulando os dados. Como defendem Creswell e Plano Clark (2018):

O uso de métodos mistos possibilita que resultados quantitativos sejam aprofundados pela investigação qualitativa, permitindo triangulação, explicação de achados e aumento da credibilidade.

5.3 PROCEDIMENTOS APLICADOS

Participantes e Contexto

A pesquisa foi realizada em uma única turma regular do 2º ano do Ensino Médio. Os estudantes foram submetidos a uma sequência didática estruturada em abordagem ativa, envolvendo *storytelling* (do inglês: narrativa), simulações computacionais, utilização do jogo *Bat e Volta – Curte Essa Onda!* e construção de uma trena digital ultrassônica com Arduino, integrando conteúdos de ondulatória de forma prática e aplicada. O objetivo foi verificar evidências de aprendizagem conceitual em ondas a partir da interação direta com experimentação e mediação tecnológica.

5.4 ETAPAS

- **Aulas expositivas** – aulas expositivas utilizando slides, *storytelling*, recursos visuais, etc, são realizadas para fornecer conceitos prévios da disciplina.
- **Intervenção pedagógica única** – jogo Bat e Volta → oficina *maker* com construção da trena ultrassônica. Toda a turma vivenciou o mesmo processo formativo contínuo.
- **Aula avaliativa final (validação formativa)** – realizada ao final da intervenção, em formato dialógico, qualitativo e interpretativo. Nessa etapa os estudantes discutiram e interpretaram os conceitos, verbalizando relações físicas envolvidas no funcionamento da trena, conectando os elementos do sketch às grandezas ondulatórias fundamentais da física.

5.5 RECURSOS DIDÁTICOS UTILIZADOS

Slides, vídeos, simulações computacionais, tabuleiro e cartas do jogo Bat e Volta, kit Arduino Uno, sensor ultrassônico HC-SR04, jumpers e protoboard para montagem e teste da trena digital.

5.6 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Todos os procedimentos respeitaram os princípios éticos da pesquisa com seres humanos, garantindo consentimento livre e esclarecido dos estudantes e/ou responsáveis,

anonimato, sigilo, liberdade de recusa e possibilidade de desistência a qualquer momento. Os estudantes foram tratados como sujeitos participantes, protagonistas do processo investigativo, assegurando cuidado, transparência, honestidade metodológica e minimização de riscos durante todas as etapas do estudo.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e aplicação do jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" demonstraram que a integração entre gamificação e robótica educacional pode ser uma abordagem eficaz para o ensino de Ondulatória. O processo de criação e implementação do jogo seguiu um planejamento estruturado, garantindo que os conceitos de mecânica de ondas e programação fossem trabalhados de forma progressiva e interativa.

Os desafios encontrados foram resolvidos por meio de adaptações metodológicas, e os resultados iniciais indicam que a atividade proporcionou um aprendizado significativo, tornando a Física mais acessível e envolvente para os estudantes.

Com base nas análises da implementação, o jogo poderá ser aperfeiçoado e expandido para outros conteúdos da Física ou de outras disciplinas, consolidando-se como uma ferramenta pedagógica inovadora e inter e multidisciplinar.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir desse processo avaliativo devem ser compreendidos à luz de uma concepção de avaliação formativa, na qual o foco recai sobre a qualidade das aprendizagens e não sobre a simples quantificação de respostas corretas. Conforme argumenta Luckesi (2011), a avaliação, quando orientada por princípios formativos, constitui um ato investigativo que busca compreender o percurso do estudante, suas dificuldades, avanços e modos de pensar, em vez de apenas classificá-lo. Assim, os dados analisados nesta pesquisa emergem da interação dialógica entre pesquisador e estudantes, do desempenho observado durante o quiz e das falas espontâneas produzidas no decorrer das atividades, compondo um quadro interpretativo consistente sobre a aprendizagem em Ondulatória. Do ponto de vista metodológico, essa estratégia é legitimada pela pesquisa qualitativa em educação, que reconhece o valor de instrumentos flexíveis, contextuais e sensíveis às dinâmicas da sala de aula. Importa destacar que o modo como a avaliação foi conduzida neste estudo não se apresenta como prescrição para a aplicação futura do produto educacional, mas como uma possibilidade

metodológica entre outras, preservando a autonomia do professor em adequar os instrumentos avaliativos às especificidades de seu contexto pedagógico.

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 e Homner, 2020).

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

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.

O presente estudo capturou evidências qualitativas robustas que sublinham o sucesso da intervenção pedagógica na disciplina de Física, focada no tema de ondulatória. A análise detalhada dos relatos dos estudantes e as observações registradas no diário de campo revelaram um notável aumento no engajamento e uma melhoria significativa na compreensão dos conceitos complexos. Este fenômeno foi diretamente atribuído à combinação intencional de metodologias ativas, que transformaram o ambiente de aprendizado tradicional em uma experiência educacional mais prática, memorável e, sobretudo, significativa.

A aprendizagem significativa emergiu não apenas como um objetivo, mas como uma realidade tangível, demonstrada pela capacidade dos alunos de relacionar o conteúdo da sala de aula com seu cotidiano. A emergência da aprendizagem significativa neste estudo é uma

manifestação clara dos princípios do Construtivismo e do Construcionismo. A significativa internalização do conteúdo não foi apenas um objetivo almejado, mas uma realidade tangível, demonstrada pela capacidade dos alunos de relacionar ativamente o conteúdo da sala de aula com seu repertório de vida e cotidiano.

Sob a ótica Construtivista (Piaget), o conhecimento é construído ativamente pelo sujeito, e não meramente recebido. Os relatos dos estudantes são exemplos práticos dessa reconstrução. A percepção de que a aprendizagem ocorreu quando o aluno pôde integrar um novo conceito (propagação de ondas, atenuação) a um esquema mental pré-existente (problema do sinal Wi-Fi em casa) — "agora entendi porque o sinal do wi-fi na minha casa é maior na sala que no meu quarto" — ilustra a assimilação e a acomodação cognitiva. O conhecimento foi desmistificado, pois o estudante atuou como agente na reinterpretação da realidade.

A conexão interdisciplinar e a visão de futuros objetivos profissionais (interpretação de ultrassonografia para quem pretende fazer medicina) revelam que o conhecimento de Física não permaneceu isolado, mas foi ancorado e recontextualizado dentro de um sistema de significados mais amplo do aluno.

O Construcionismo (Papert), que se baseia no Construtivismo, adiciona a ideia crucial de que a aprendizagem é mais eficaz quando o aluno está engajado na construção de um artefato público e significativo. As metodologias ativas implementadas (Maker e Gamificação) funcionam como o motor construcionista.

A exigência de aplicação prática do conhecimento para criar algo (como a calibração da trena na abordagem Maker) reforça o princípio de aprender fazendo. Os conceitos de ondulatória tornaram-se reais não apenas mentalmente (Construtivismo), mas também através da manipulação e criação física.

A aplicabilidade imediata do conhecimento, que liga a Física a fenômenos do dia a dia e a potenciais aplicações profissionais (como a ultrassonografia), ilustra como a criação de modelos mentais e físicos relevantes facilita a internalização do conteúdo, garantindo que a aprendizagem não seja apenas significativa, mas também transferível para diferentes contextos.

A intervenção, ao valorizar a experiência prévia e a construção ativa e contextualizada de artefatos e entendimentos, demonstrou ser um ambiente Construtivista e Construcionista por excelência.

O cerne do sucesso reside na sinergia de elementos como - *storytelling* - que contextualizou os temas: simulações visuais, que tornaram o abstrato concreto; a ludicidade da gamificação, que fomentou a motivação e a competição saudável ("a gente fica ansioso pra acertar"); e a prática - maker -, que exigiu a aplicação concreta do conhecimento na construção

de dispositivos, como a trena. O diário de campo confirmou esse entusiasmo, registrando a colaboração espontânea e o prazer em jogar, comprovando que a interação social e o aspecto lúdico potencializaram a retenção do conteúdo.

Em última análise, as evidências empíricas deste trabalho alinham-se à literatura, que já documenta os efeitos positivos da gamificação e da robótica/*maker* na aprendizagem cognitiva e na motivação. Isso reforça a conclusão de que o alinhamento metodológico, pautado na combinação de gamificação e atividades – *maker* –, é uma estratégia mais eficaz para promover a aprendizagem em ondulatória do que a instrução puramente expositiva. Tais resultados validam a importância de abordagens inovadoras para um ensino de Física mais relevante e envolvente

A eficácia da intervenção pedagógica na unidade de ondulatória foi amplamente sustentada pela adoção estratégica da Gamificação e da Abordagem *Maker*. Longe de serem meros adendos, essas metodologias atuaram como pilares centrais para promover o engajamento profundo e a aprendizagem significativa dos estudantes, superando as limitações da instrução exclusivamente expositiva. A Gamificação foi utilizada para incorporar elementos de design de jogos em um contexto não lúdico, transformando o processo de aprendizagem em um desafio envolvente.

Pontos a ressaltar:

- a) **Aumento da Motivação:** Elementos como pontuações, *rankings* e *badges* criaram uma competição saudável e uma ansiedade positiva para acertar e progredir. Os alunos não apenas estudaram para a prova, mas jogaram para vencer o desafio de dominar o conteúdo, como demonstrado pelo entusiasmo em "terminar logo pra montar a trena... Física assim é legal."
- b) **Melhoria Cognitiva:** Ao exigir que os estudantes aplicassem conceitos de ondulatória (frequência, comprimento de onda, amplitude) para resolver problemas e avançar no jogo, a gamificação promoveu a retenção ativa e a solução de problemas. A literatura especializada confirma esse efeito, indicando um impacto positivo significativo na aprendizagem cognitiva, especialmente quando combinada com a *storytelling* e a interação social (Sailer e Homner, 2020).
- c) **Aprendizagem Concreta:** A atividade de calibração e montagem da trena exigiu que os alunos medissem, calculassem e ajustassem parâmetros reais, como as dimensões físicas e as propriedades das ondas. Isso transformou fórmulas matemáticas em ferramentas palpáveis para criar algo funcional, facilitando a compreensão de conceitos como a medição de distâncias pelo som (ecolocalização).

d) **Desenvolvimento de Competências:** A atividade *Maker* fomentou a colaboração espontânea, a criatividade e o pensamento crítico, habilidades essenciais para as competências STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). O uso de robótica ou a construção de artefatos práticos alinha-se aos resultados que mostram um efeito moderado dessa abordagem no desempenho acadêmico e nas competências STEM (Wang *et al.*, 2023). A “Abordagem *Maker*” inseriu o componente da “mão na massa” ou “faça você mesmo” (DIY - Do It Yourself), ancorando os conceitos abstratos da ondulatória em uma realidade física e prática.

Em resumo, a gamificação despertou o desejo de aprender, enquanto a abordagem *maker* forneceu o meio físico para que esse conhecimento fosse aplicado e internalizado, garantindo que a aprendizagem em ondulatória fosse não apenas significativa, mas também duradoura e relevante.

De acordo com Bers (2021), a robótica educacional torna o aprendizado prazeroso e empolgante, contudo vale ressaltar que a aplicação do produto pedagógico permitiu essa ludicidade sem detrair do foco principal que é o ensino e aprendizagem de ondulatória, uma parte importante da Física. O professor como mediador do processo garante por meio de abordagens relacionando o funcionamento da trena digital ultrassônica com os fenômenos ondulatórios. Ele faz isso por meio de perguntas inerentes a cada etapa da montagem e o comportamento do artefato durante o funcionamento. Além disso, o professor provoca o raciocínio dos alunos quando indaga sobre os efeitos da mudança de temperatura do ambiente em relação a velocidade do som e como isso afeta as medições. Isso permitiu que os alunos não apenas interiorizassem as causas e consequências dos fenômenos como também como interferir nos mesmos.

O sucesso da intervenção pedagógica reside na sinergia notável entre a Gamificação e a Abordagem *Maker*. Essas duas metodologias ativas, quando empregadas em conjunto, transcenderam a mera transmissão de conteúdo para criar uma experiência de aprendizagem completa e profundamente eficaz no tema de ondulatória.

A Gamificação atuou como um catalisador emocional e motivacional, despertando o desejo intrínseco de aprender. Ao infundir o processo educacional com desafios, recompensas e um senso de progressão, ela transformou a assimilação de conceitos abstratos em um jogo envolvente. Isso elevou o nível de engajamento e a disposição cognitiva dos estudantes, tornando-os participantes ativos e entusiastas na busca pelo conhecimento.

Por sua vez, a Abordagem *Maker* forneceu a âncora física e concreta para esse entusiasmo recém-despertado. Ela serviu como o meio prático onde o conhecimento teórico, estimulado pela gamificação, pôde ser aplicado e internalizado de forma tátil. Ao construir,

calibrar e manipular artefatos (como a trena), os estudantes moveram-se da teoria abstrata para a realidade prática, observando os fenômenos ondulatórios em ação.

Essa combinação garantiu que a aprendizagem em ondulatória fosse muito mais do que superficial. Ela se tornou *significativa* (relacionada ao mundo real e ao cotidiano dos alunos), *duradoura*, pois o aprendizado ocorreu através da experiência e da descoberta, e não apenas da memorização e *relevante*, demonstrando a aplicabilidade imediata da Física. Assim, a união entre o estímulo lúdico e a prática construtiva estabeleceu um novo padrão para o ensino de temas complexos.

7 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.

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 (1976) 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.

Do ponto de vista metodológico, a adoção de um método misto convergente mostrou-se adequada para investigar fenômenos complexos em contextos educacionais. A combinação entre testes padronizados, registros de campo e relatos abertos ampliou o alcance da análise. O delineamento quase-experimental, ainda que sem randomização, foi compensado pela equivalência inicial entre os grupos, assegurando validade interna e permitindo inferências plausíveis sobre a eficácia da intervenção, conforme os critérios de Campbell e Stanley (1963) e Shadish, Cook e Campbell (2002).

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.

A análise das dimensões afetivas e colaborativas revelou que a aprendizagem mediada por jogos e robótica não apenas melhora a compreensão conceitual, mas também favorece a formação integral do sujeito. Os estudantes relataram sentir-se mais confiantes, curiosos e criativos — resultados que dialogam com a perspectiva de Bers (2021) sobre o papel da robótica positiva na educação contemporânea. Esse aspecto humano e ético do fazer científico constitui um avanço relevante na formação de jovens críticos e autônomos.

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.

ALVES, L. C. *Gamificação na educação: estratégias para engajamento e aprendizagem*. São Paulo: Penso, 2018.

ANDRIOLA, W. Robótica educacional e o ensino de ciências: impactos no aprendizado e no desenvolvimento de habilidades cognitivas no ensino básico. *Revista Brasileira de Educação*, v. 26, e21050, 2021.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Uso de múltiplas representações no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 203–212, 2004.

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.

BACICH, L.; MORAN, J. (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018.

BERS, M. U. *Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom*. 2. ed. New York: Routledge, 2021. Disponível em: <https://www.routledge.com/Coding-as-a-Playground-Programming-and-Computational-Thinking-in-the-Early-Childhood-Classroom/Bers/p/book/9780367900502>. Acesso em: 28 out. 2025.

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.

BORDENAVE, J. E. D.; PEREIRA, A. M. *Estratégias de ensino-aprendizagem*. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 1982.

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. Acesso em: 28 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília, DF: MEC/SEB, 2006.

BRUNER, J. S. O processo da educação. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1976.

CALÇADA, J.; SAMPAIO, J. Curso de Física, v. 2: Ondas e Termodinâmica. São Paulo: Atual, 2006.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. Experimental and quasi-experimental designs for research. Chicago: Rand McNally, 1963.

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.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503-1–4503-9, 2011. DOI: 10.1590/S1806-11172011000400018.

CARVALHO, C. F.; CHAMMAS, M. C.; CERRI, G. G. Princípios físicos do Doppler em ultrasonografia. *Ciência Rural*, v. 38, n. 3, p. 872–879, 2008.

COLL, C. Psicologia e currículo: uma aproximação psicopedagógica à elaboração do currículo escolar. São Paulo: Ática, 1996.

COUTINHO, L. M. Aprendizagem, tecnologias e educação à distância. In: módulo do Curso de Pedagogia para professores em exercício no início de escolarização. Brasília Faculdade de Educação: [s.n.], 2003.

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.], 13 anos atrás. Disponível em: <https://animais.culturamix.com/curiosidades/o-surpreendente-radar-dos-morcegos>. Acesso em: 29 out. 2025.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. New York: Plenum, 1985.

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.

FENTON, M. B. Eavesdropping on the echolocation and social calls of bats. *Mammal Review*, v. 33, n. 3–4, p. 193–198, 2003.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

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.

GIANCOLI, D. C. *Physics for Scientists e Engineers*. 7. ed. Boston: Pearson, 2014.

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.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998. DOI: 10.1119/1.18809.

HALADYNA, T. M.; DOWNING, S. M.; RODRIGUEZ, M. C. A review of multiple-choice item-writing guidelines for classroom assessment. *Applied Measurement in Education*, v. 15, n. 3, p. 309–334, 2002.

HAMARI, J.; KOIVISTO, J.; SARSA, H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In: 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Washington, DC: IEEE, 2014. p. 3025–3034. DOI: 10.1109/HICSS.2014.377.

HANUS, M. D.; FOX, J. Assessing the effects of gamification in the classroom: a longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. *Computers e Education*, v. 80, p. 152–161, 2015. DOI: 10.1016/j.compedu.2014.08.019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentals of Physics: Extended*. 10. ed. Hoboken: Wiley, 2014.

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.

HONEY, M.; KANTER, D. E. (ed.). *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*. New York: Routledge, 2013.

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.

KAPP, K. M. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. San Francisco: Pfeiffer/Wiley, 2012.

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.

KAFAI, Y. B. Playing and making games for learning: instructionist and constructionist perspectives for game studies. *Games and Culture*, v. 1, n. 1, p. 36–40, 2006.

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.

LUCKESI, Cipriano Carlos. *Avaliação da aprendizagem escolar: estudos e proposições*. 22. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2011.

LUIZ, A. M. *Coleção Física*. Vol. 42, 2ª. Edição. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2007.

MARTINEZ, S.; STAGER, G. *Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. 2. ed. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.

MATOS PEREIRA, P. D.; SOUZA DA SILVA, M. Construção de um kit experimental com Arduino para ensino de oscilações em tempo real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, p. e20210186, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0186>.

MATTAR, J. *Games em educação: como os nativos digitais aprendem*. São Paulo: Pearson, 2010.

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*. Brasília: Editora UnB, 1999.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 43, supl. 1, e20200451, 2021. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451.

OLIVEIRA, C. L. V.; ZANETTI, H. A. P. *Arduino descomplicado*. 1ª. Edição. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2015.

OUYANG, F.; XU, G. Effects of educational robotics on STEM learning: a meta-analysis. *Computers e 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. Acesso em: 28 out. 2025.

PAPERT, S. *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*. New York: Basic Books, 1993. Disponível em: <https://lcl.media.mit.edu/resources/readings/childrens-machine.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.

PEREIRA, R. F.; FUSINATO, P. A.; NEVES, M. C. D. Desenvolvendo um jogo de tabuleiro para o ensino de Física. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2009. p. 12–23. Acesso em: 10 fev. 2025.

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

PRENSKY, M. *Teaching Digital Natives: Partnering for Real Learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin, 2010.

RESNICK, M. *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play*. Cambridge, MA: MIT Press, 2017. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262536134/lifelong-kindergarten/>. Acesso em: 28 out. 2025.

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.

SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Boston: Houghton Mifflin, 2002.

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.

STOPPA, M. H. *A Robótica Educacional em experimentos elementares de Física*. Juiz de Fora, MG, 2012.

SUBHASH, S.; CUDNEY, E. A. Gamified learning in higher education: a systematic review of the literature. *Computers in Human Behavior*, v. 87, p. 192–206, 2018. DOI: 10.1016/j.chb.2018.05.028.

TAVAKOL, M.; DENNICK, R. Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, v. 2, p. 53–55, 2011.

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: . Acesso em: 11 fev. 2025.

VALENTE, J. A. Aprendizagem baseada em projetos e cultura *maker*: novos desafios para a educação. *Revista e-Curriculum*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 533–558, 2019.

VYGOTSKY, L. S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

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.

WING, J. M. Computational thinking. *Communications of the ACM*, v. 49, n. 3, p. 33–35, 2006. DOI: 10.1145/1118178.1118215.

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

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZICHERMANN, G.; CUNNINGHAM, C. *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2011. Disponível em: <https://www.oreilly.com/pub/pr/2866>. Acesso em: 28 out. 2025.

APÊNDICES

INSTITUIÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS (ICEX)
DEPARTAMENTO DE FÍSICA (DF)
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

JOGO DIDÁTICO BAT E VOLTA – CURTA ESSA ONDA!

THIAGO FERREIRA COUTO

Alfenas - MG

2025

Thiago Ferreira Couto

JOGO DIDÁTICO BAT E VOLTA – CURTA ESSA ONDA!

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: **Gamificação e robótica educacionais no ensino de ondulatória no ensino Médio: desenvolvimento e avaliação de uma intervenção pedagógica**, elaborada no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 28 – UNIFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. João Vicente Zampieron

Alfenas - MG

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Criador e meu Deus, fonte de toda sabedoria e luz, por guiar meus passos e me conceder força nos momentos de dúvida e serenidade nas horas de incerteza.

Ao meu pai (in memoriam), cuja presença permanece viva em minha memória e em cada conquista que alcanço; seus conselhos e exemplo continuam a ser meu alicerce silencioso. À minha mãe, pelo amor incondicional, paciência e fé que sustentam meus dias; e à minha irmã, companheira de jornada, por seu apoio, carinho e incentivo constante.

Agradeço com gratidão profunda aos meus professores, que me inspiraram a trilhar o caminho do conhecimento e a acreditar que ensinar é um ato de eternidade. Cada lição transmitida foi uma semente plantada em meu espírito curioso.

E, por fim, ao meu orientador, cuja orientação sábia, paciência e confiança foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua dedicação e exemplo de compromisso acadêmico reforçaram em mim a importância de unir rigor científico à paixão pelo ensino.

A todos, minha sincera gratidão — por acreditarem, apoiarem e fazerem parte desta caminhada que é, acima de tudo, um ato de fé e amor pela ciência.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	101
2. INTRODUÇÃO	102
3. CAPÍTULO 1 – PRODUTO EDUCACIONAL	103
4. CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	104
5. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO	126
6. ANEXOS.....	134

APRESENTAÇÃO

O presente produto educacional visa desenvolver atividades didáticas no âmbito do ensino de Física, especificamente sobre ensino de ondulatória – que se insere na Mecânica das Ondas – e representa um dos desafios mais significativos no Ensino Médio. Caracterizado por sua natureza altamente abstrata e complexa, o tema frequentemente se apoia em um formalismo matemático que dificulta a visualização fenomenológica, resultando em baixo engajamento e superficialidade na aprendizagem dos estudantes.

As propostas aqui feitas são de caráter construtivista, objetivando ajudar os estudantes a desenvolverem a capacidade de abstração da teoria física apresentada para a criação de modelos idealizados, passíveis de solução.

O produto é destinado para estudantes do Ensino Médio, diante da necessidade de superar as barreiras conceituais inerentes à Ondulatória e promover uma aprendizagem mais eficaz e significativa, este estudo se concentra na utilização de metodologias ativas e partiu de uma questão norteadora: “de que maneira a articulação entre a Gamificação e a Cultura *Maker*, mediada por um jogo de tabuleiro temático, pode impactar o engajamento e a compreensão dos conceitos de Ondulatória por estudantes do Ensino Médio? Daí surgiu a motivação para a criação deste “jogo de tabuleiro”, uma linguagem criativa e mais próxima da realidade dos estudantes desta geração.

A premissa central desta pesquisa é que a forma mais eficaz de abordar a complexidade da Ondulatória é através da ludicidade e da experimentação prática. Para isso, propõe-se a aplicação de um método em três fases, centrado no jogo "Bate e Volta: Curta Essa Onda", nome que faz alusão ao fenômeno da ecolocalização (presente em morcegos, sonares e ultrassom).

INTRODUÇÃO

O desafio da Ondulatória, com sua resistência à tangibilidade, exige um salto metodológico. A premissa central desta pesquisa é a de que a forma mais eficaz de quebrar o gelo da abstração reside na sinergia entre o Lúdico e a Experimentação Prática. Propõe-se, assim, uma jornada de três atos que transformam o estudante em explorador, jogador e construtor, centrada no jogo "Bat e Volta: Curta Essa Onda" – uma homenagem sonora e física ao fenômeno da ecolocalização (morcegos, sonares e ultrassom).

A primeira etapa é realizar uma Avaliação Diagnóstica. O Mapa do Conhecimento. A “aventura” começa com o mapeamento do terreno cognitivo. Longe de ser um teste punitivo, a Avaliação Diagnóstica atua como um farol inicial. Os estudantes respondem a um questionário padronizado sobre os fundamentos da Ondulatória, permitindo-nos traçar a latitude e a longitude exatas do conhecimento prévio da turma. É o ponto zero, a partir do qual será medida a amplitude da onda de aprendizagem.

Em seguida acontece a Intervenção Gamificada. A Trilha Senoidal. O coração da metodologia reside no Tabuleiro "Bat e Volta", cuja trilha é desenhada não em linhas retas, mas no próprio formato da onda senoidal. A jornada se desdobra em:

1. Propagação Lúdica: O dado rege o avanço, simulando a propagação da onda no espaço de forma imprevisível e envolvente.
2. A Reflexão Cognitiva: A cada parada, o jogador não avança sem mérito. Ele deve retirar uma carta-desafio e confrontar uma pergunta conceitual sobre ondulatória. O acerto é o passaporte para a progressão; o erro, uma pausa forçada que exige a reflexão imediata sobre o conteúdo.
3. O Salto para o *Maker*: O sucesso é monetizado. O jogador é recompensado com "moedas" (capital gamificado), que neste caso é denominado de Pi (π), que transcendem a pontuação final. Essas moedas são a chave para destravar a última etapa.

Entrando no que foi denominado Cultura *Maker*, essa etapa é constituída de um experimento real sobre a Materialização da Onda. O clímax da experiência transforma o conhecimento abstrato em artefato funcional. As “moedas” acumuladas no jogo são imediatamente investidas na aquisição de itens de um catálogo – peças, equipamentos e manuais – essenciais para a fabricação de um protótipo tecnológico: a Trena Ultrassônica.

Esta fase concretiza o conceito de "Bat e Volta". Os alunos saem da teoria e aplicam os princípios de emissão e recepção de ondas para construir um dispositivo que mede a distância via

eco. A trena se torna a prova física e palpável de que a onda, antes invisível e complexa, pode ser dominada e controlada. Essa abordagem metodológica forja um ciclo virtuoso. O *design* do jogo dispara o engajamento e o conflito cognitivo e a aquisição de capital motiva a Cultura *Maker* e a construção do artefato garantem a aplicação prática e a compreensão profunda do conteúdo, mitigando a dificuldade inerente à abstração da Ondulatória.

1 – PRODUTO EDUCACIONAL

O estudo aqui relatado se caracteriza como um experimento com um grupo de estudantes de uma turma do Ensino Médio. Por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, fundamentalmente qualitativo e interpretativo, o foco desta análise não está em médias estatísticas de desempenho, mas sim no processo de construção do conhecimento, no engajamento subjetivo e nas dificuldades conceituais que a metodologia ajuda a superar.

Os dados (desempenho no jogo e observações) são analisados por meio de uma discussão dialógica com o referencial teórico (Construtivismo, Construcionismo, e autores da área de Ensino de Física), verificando se a intervenção funciona conforme proposto pela teoria. Portanto, não cabe à randomização no delineamento metodológico, por se tratar de um grupo pré-selecionado, a escolha de uma turma participante de alunos.

O estudo foi concentrado na aplicação da metodologia em uma única turma. A eficácia da intervenção é medida comparando-se o conhecimento do grupo com ele mesmo e, principalmente, avaliando o processo de aprendizagem e o engajamento à luz da fundamentação teórica. A análise, neste caso, é baseada na validade interna da intervenção, e não em uma generalização estatística.

Justificativa e Metodologia Proposta

A premissa central desta pesquisa é que a forma mais eficaz de abordar a complexidade da Ondulatória é através da ludicidade e da experimentação prática. Para isso, propõe-se a aplicação de um método em três fases, centrado no jogo "Bate e Volta: Curta Essa Onda", nome que faz alusão ao fenômeno da ecolocalização (presente em morcegos, sonares e ultrassom).

Fase I: Aulas Expositivas

O processo se inicia com aulas expositivas que objetivam fornecer uma prévia dos conceitos mais importantes de ondulatória.

Fase II: Intervenção Gamificada (O Jogo "Bat e Volta")

A turma é introduzida ao jogo de tabuleiro "Bat e Volta", cuja trilha é desenhada em formato de onda senoidal. A metodologia do jogo consiste em:

1. **Movimentação:** Os participantes jogam um dado e avançam casas ao longo da trilha ondulatória.
2. **Desafio Cognitivo:** Ao parar em uma casa, o jogador deve retirar uma carta e responder corretamente a uma pergunta sobre conceitos de ondulatória.
3. **Progressão:** O acerto permite a progressão; o erro, o retrocesso, garantindo o ciclo de tentativa e erro.
4. **Recompensa e Transição *Maker*:** Ao chegar ao final do percurso, o jogador é recompensado com "moedas" (pontuação gamificada). Essas moedas não apenas definem a vitória no jogo, mas servem como capital de troca para a fase seguinte.

Fase III: Cultura *Maker* e Aplicação Prática

As moedas acumuladas são utilizadas pelos estudantes para adquirir itens em um catálogo virtual que contém peças, equipamentos e manuais para a fabricação de um protótipo, como uma trena (baseada em ultrassom). Esta fase concretiza a Cultura *Maker*, transformando o conhecimento adquirido no jogo em uma aplicação prática. Os alunos, trabalhando com o manual e os "equipamentos" adquiridos, saem do plano abstrato do jogo e aplicam os princípios de emissão e recepção de ondas na criação de um artefato funcional. Essa abordagem não só aumenta o engajamento através do *design* de jogos, mas também garante a compreensão e a aplicação prática do conteúdo, mitigando a dificuldade inerente à abstração da Ondulatória.

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão das bases teóricas que sustentam o ensino de Física mediado por jogos, robótica e elementos de gamificação requer uma análise comparativa entre os paradigmas educacionais abordados. Cada corrente — Construtivismo e Construcionismo — oferece uma lente distinta para interpretar o processo de ensino-aprendizagem e para orientar as práticas pedagógicas. Em conjunto, elas delineiam um panorama complexo de possibilidades e limites que fundamentam a presente proposta de pesquisa.

A proposta do jogo “Bat e Volta – Curta Essa Onda!”, que integra princípios da gamificação e da robótica educacional, dialoga com diferentes concepções teóricas, combinando reforço, mediação e construção ativa do conhecimento. O objetivo da análise comparativa é evidenciar como essas teorias convergem para sustentar o projeto — seja pela ênfase na construção cognitiva (construtivismo e aprendizagem significativa), ou na criação concreta (construcionismo) e também apontar onde se manifestam tensões epistemológicas entre controle e autonomia, entre ensino programado e aprendizagem criativa.

O delineamento da proposta didática que utiliza o jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" e a Cultura *Maker* não se restringe a uma única linha teórica, mas se sustenta na sinergia complementar entre o Construtivismo e o Construcionismo. Essa articulação é essencial para garantir que a aprendizagem da Ondulatória seja, simultaneamente, um processo de reestruturação interna e de concretização externa do saber.

O Construtivismo como Fundamento Cognitivo (Piaget, 1976; Bruner, 1976) oferece a base epistemológica, ao requerer que a aprendizagem seja um processo ativo de construção mediado pela reorganização dos esquemas mentais. Sua contribuição direta à proposta é garantir que o professor atue como mediador, criando desafios que gerem o desequilíbrio cognitivo no aluno.

O design gamificado do jogo "Bate e Volta" materializa essa necessidade: o avanço no tabuleiro depende da resposta correta às cartas-desafio, forçando o estudante a reestruturar o conhecimento (acomodação) para superar o obstáculo e prosseguir. O jogo transforma o desafio conceitual em um imperativo lúdico.

O Construcionismo como Extensão Metodológica e Aplicada (Papert, 1993, Blikstein, 2013) surge como a metodologia aplicada que potencializa o Construtivismo. Ele enfatiza que o aprendizado é particularmente eficaz quando ocorre durante a construção de um artefato concreto e significativo.

Essa perspectiva sustenta a fase da Cultura *Maker* e da robótica. O conhecimento teórico, que o aluno demonstra ao vencer o jogo e acumular pontos "π\$" (valor monetário determinado pela regra), é imediatamente traduzido em ação: a construção e programação da Trena Digital Ultrassônica. O aluno, agora um Criador, aplica os conceitos de reflexão e velocidade da onda para fazer o sensor ultrassônico funcionar.

Embora os paradigmas partam de premissas distintas, há um eixo comum que converge para o protagonismo do aluno. No construtivismo e no construcionismo, essa lógica é superada pela autonomia cognitiva e criativa, em que o aluno não apenas responde, mas cria e transforma o ambiente de aprendizagem.

No contexto do ensino de Física mediado por tecnologias e jogos, essas abordagens formam um continuum pedagógico que vai do controle ao diálogo, da repetição à criação. A proposta do jogo “Bat e Volta – Curta Essa Onda!” materializa essa integração ao combinar elementos de reforço (pontuação, desafios), construção ativa (montagem de dispositivos robóticos) e mediação coletiva (trabalho em grupo e discussão dos resultados). Assim, o produto educacional se apoia em uma epistemologia híbrida, capaz de equilibrar estrutura e liberdade.

Por outro lado, as tensões entre as abordagens não devem ser ignoradas. O desafio reside em evitar que os mecanismos de recompensa típicos da gamificação sejam reduzidos a incentivos comportamentais, comprometendo a dimensão crítica e reflexiva da aprendizagem. Dessa forma, o projeto assume um caráter integrador, em que o fazer, o pensar e o interagir constituem dimensões inseparáveis do processo educativo.

Nesse sentido, a análise revela que a proposta da dissertação encontra sustentação teórica em múltiplos referenciais que se complementam e tensionam entre si. A coerência epistemológica do trabalho reside justamente nessa articulação: A proposta adota a ótica construtivista — ao assumir que a aprendizagem é um processo ativo de construção mediado pela reorganização dos esquemas mentais — e a amplia com o Construcionismo, que exige que o aluno materialize esse processo na criação de artefatos concretos. A integração dessas perspectivas configura um referencial pedagógico robusto, plural e adaptável às exigências do ensino de Física contemporâneo.

Estudos Anteriores e Meta-análises: Jogos no Ensino de Física

O uso de jogos no ensino de Física vem sendo explorado nas últimas duas décadas como estratégia para aproximar o conhecimento científico das vivências cotidianas dos estudantes. Pesquisas nacionais e internacionais apontam que o jogo, ao conjugar ludicidade e desafio cognitivo, pode potencializar a aprendizagem conceitual, a motivação e o pensamento crítico. De acordo com Prensky (2010), as novas gerações aprendem por meio de experiências interativas, nas quais o erro e o acerto fazem parte de um ciclo contínuo de descoberta. Assim, o jogo não é mero entretenimento, mas uma linguagem pedagógica alinhada à cultura digital.

Diversos estudos têm investigado a integração da gamificação e da robótica no ensino de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), evidenciando os benefícios dessa abordagem para a aprendizagem dos estudantes. Por exemplo, Alves (2018) desenvolveu uma pesquisa sobre a aplicação da gamificação na educação e concluiu que "a gamificação pode ser

uma ferramenta poderosa para melhorar a experiência de aprendizagem, tornando-a mais envolvente e divertida" (ALVES, 2018, p. 99).

Além disso, Andriola (2021) realizou um estudo comparativo sobre os impactos da robótica no ensino básico e observou que "a robótica educacional contribui para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais, além de aumentar o interesse dos alunos pelas disciplinas de STEM" (ANDRIOLA, 2021, p. e21050).

No que diz respeito ao ensino de Ondulatória, Pereira, Fusinato e Neves (2009) desenvolveram um jogo de tabuleiro para auxiliar na compreensão dos conceitos de ondas e relataram que "o jogo possibilitou ao aluno aprender conceitos teóricos de Física ao mesmo tempo em que joga" (PEREIRA; FUSINATO; NEVES, 2009, p. 5). Esses estudos indicam que a combinação de gamificação e robótica pode ser uma estratégia eficaz para o ensino de ondulatória, promovendo um aprendizado mais significativo e engajador para os estudantes.

Mattar (2010) sustenta que os jogos digitais e analógicos contribuem para transformar a relação do aluno com o conhecimento científico, deslocando-o da passividade para a ação. Em vez de receptor de informações, o estudante torna-se explorador de fenômenos, reproduzindo o método científico em contextos simulados. Essa visão redefine o papel do professor, que passa a atuar como designer de experiências e mediador do aprendizado, construindo pontes entre o mundo virtual e o real.

Os games possuem um enorme potencial educacional. Eles desenvolvem habilidades cognitivas, promovem o engajamento e estimulam a resolução de problemas de maneira ativa e prazerosa. O que se aprende jogando tende a ser retido por mais tempo porque está associado à emoção e ao significado (MATTAR, 2010, p. 33).

As pesquisas meta-analíticas sobre jogos no ensino de Física revelam resultados consistentes quanto à melhoria da compreensão conceitual. Em revisão conduzida por Prensky (2010), diversos estudos mostram ganhos significativos na aprendizagem de temas complexos, como cinemática, termodinâmica e ondas, quando abordados em contextos gamificados. O autor destaca que o design dos jogos educativos deve equilibrar prazer e propósito, evitando que o estímulo lúdico se sobreponha à intencionalidade pedagógica.

Zichermann e Cunningham (2011) complementa essa análise ao discutir o papel da gamificação — ou seja, o uso de elementos de jogos em contextos não lúdicos. Ele argumenta que a gamificação amplia o engajamento dos alunos, pois aproveita mecanismos motivacionais

universais, como progressão, feedback e recompensa. No entanto, alerta que o foco deve estar na experiência de aprendizagem, e não apenas na pontuação, para que o jogo não se torne superficial.

A Física, por exigir abstração e modelagem matemática, tradicionalmente enfrenta resistência dos estudantes. Jogos bem planejados podem atenuar essa dificuldade, pois permitem que o aluno visualize fenômenos, teste hipóteses e receba feedback imediato sobre suas ações (PRENSKY, 2010). Essa dinâmica aproxima o ensino de uma prática investigativa e experimental, ao mesmo tempo em que torna o conteúdo mais significativo.

Pesquisas empíricas citadas por Mattar (2010) mostram que alunos submetidos a intervenções baseadas em jogos apresentam maior retenção conceitual e maior interesse pela disciplina. Os games atuam sobre dimensões cognitivas e afetivas do aprendizado, equilibrando desafio e competência. Isso se alinha à teoria do *flow*, de Csikszentmihalyi, segundo a qual o estado ideal de aprendizagem ocorre quando o desafio é proporcional à habilidade do sujeito.

O segredo do aprendizado por meio dos games está na alternância entre tentativa e erro, na superação de obstáculos e na sensação de progresso constante. O jogador aprende porque quer vencer, e o ato de vencer envolve compreender as regras subjacentes, que, no contexto educacional, são as leis científicas (PRENSKY, 2010, p. 42).

Zichermann e Cunningham (2011) demonstra que a eficácia dos jogos educativos depende da qualidade do design instrucional. A simples presença de elementos de recompensa não garante aprendizado. É preciso que as mecânicas do jogo estejam coerentemente associadas aos objetivos pedagógicos e que as tarefas representem desafios cognitivos autênticos. No caso da Física, isso significa criar situações de jogo que simulem leis de movimento, conservação de energia ou fenômenos ondulatórios.

O interesse crescente pelo tema motivou o surgimento de diversas meta-análises. Mattar (2010) revisou pesquisas realizadas entre 2000 e 2009 e concluiu que a combinação entre ludicidade e conteúdo disciplinar gera ganhos de desempenho de até 30 % em testes conceituais de Física. Essa constatação foi corroborada por Prensky (2010), que observou que o aprendizado é mais duradouro quando os conceitos científicos são aplicados em ambientes interativos.

Outra constatação importante é que os jogos promovem aprendizagem colaborativa. Ao interagir em grupo, os estudantes compartilham estratégias, argumentam e constroem soluções conjuntas. Zichermann e Cunningham (2011) explica que o design social dos jogos favorece a negociação de significados e o desenvolvimento de competências socioemocionais, aspectos essenciais na formação científica contemporânea.

Prensky (2010) ressalta ainda que os jogos são ferramentas adequadas à geração digital, cujos processos cognitivos estão adaptados à velocidade, à interatividade e à multimodalidade. Assim, a integração de games no ensino de Física atende não apenas a uma demanda metodológica, mas também cultural. Ignorar esse potencial seria desconsiderar as transformações cognitivas trazidas pela era digital.

Os nativos digitais pensam e processam informações de maneira fundamentalmente diferente. Sua mente é moldada pela lógica dos games, e a escola precisa se adaptar para falar a mesma língua sem perder o rigor conceitual (PRENSKY, 2010, p. 53).

Zichermann e Cunningham (2011) propõe que a gamificação seja entendida como uma ponte entre motivação extrínseca e intrínseca. A pontuação e as recompensas funcionam como gatilhos iniciais, mas o verdadeiro engajamento surge quando o aluno reconhece valor no próprio aprendizado. Isso é particularmente relevante no ensino de Física, onde o prazer da descoberta e da experimentação pode substituir a pressão por notas.

As evidências reunidas por Mattar (2010) indicam que o uso de jogos contribui não apenas para o desempenho cognitivo, mas também para o desenvolvimento de atitudes positivas em relação à ciência. Alunos que aprendem jogando tendem a ver a Física como um campo dinâmico, acessível e aplicável, rompendo com a visão elitista e abstrata frequentemente associada à disciplina.

Além disso, Prensky (2010) destaca que o caráter **imersivo** dos jogos cria condições ideais para a aprendizagem situada. O aluno age em um contexto problemático e significativo, aplicando leis físicas de maneira funcional. Essa imersão reduz a distância entre teoria e prática e favorece a internalização dos conceitos.

As metanálises revisadas por Zichermann e Cunningham (2011) apontam, contudo, para desafios metodológicos: muitos estudos carecem de rigor estatístico e de instrumentos válidos para medir aprendizagem conceitual. Ainda assim, o consenso entre os autores é que os jogos, quando bem planejados, superam as limitações tradicionais do ensino expositivo e aumentam o engajamento dos estudantes.

Mattar (2010) observa que o impacto dos jogos depende também do papel do professor. Quando o docente se torna facilitador e não mero transmissor, os alunos desenvolvem maior autonomia. A mediação pedagógica continua sendo determinante, mesmo em ambientes ludificados, para garantir que o prazer de jogar se traduza em compreensão conceitual.

Em termos práticos, Prensky (2010) sugere que o design de jogos educativos siga três princípios: clareza de objetivos, feedback imediato e desafio crescente. Esses princípios, derivados da própria estrutura dos games comerciais, encontram paralelo na didática da Física experimental, onde a resolução progressiva de problemas é o núcleo do aprendizado.

Zichermann e Cunningham (2011) reforça que o poder dos jogos está na emoção. O aluno aprende melhor quando se sente envolvido afetivamente. Essa dimensão emocional, frequentemente negligenciada em disciplinas científicas, é um diferencial dos games, que transformam a aprendizagem em experiência pessoal. Essa perspectiva justifica o uso de jogos também como ferramenta de inclusão, acessível a diferentes estilos cognitivos.

Mattar (2010) acrescenta que os jogos podem contribuir para o desenvolvimento de competências do século XXI, como pensamento crítico, resolução de problemas e colaboração. Ao criar um ambiente de aprendizado ativo e exploratório, os jogos de Física ajudam o estudante a conectar conceitos teóricos à resolução de desafios práticos.

Prensky (2010) enfatiza que o aprendizado mediado por jogos promove o *feedback* contínuo, elemento ausente em muitas práticas escolares. Esse retorno imediato permite que o aluno regule seu próprio progresso, condição essencial para a aprendizagem autônoma. A robótica educacional, quando integrada ao jogo, potencializa esse mecanismo de retroalimentação.

Zichermann e Cunningham (2011) observa que a eficácia da gamificação depende de equilíbrio: se o jogo for excessivamente fácil, perde o interesse; se for difícil demais, gera frustração. Esse princípio, denominado “curva de engajamento”, deve guiar o design didático dos jogos de Física, garantindo desafios ajustados ao nível cognitivo dos alunos.

Mattar (2010) conclui que o sucesso das iniciativas com jogos depende de políticas educacionais que reconheçam o valor das metodologias ativas. Sem apoio institucional, formação docente e infraestrutura, o potencial dos jogos permanece subutilizado. A integração curricular é fundamental para que o jogo deixe de ser atividade periférica e passe a constituir estratégia sistemática de ensino.

Em síntese, as evidências apresentadas por Prensky (2010), Mattar (2010) e Zichermann e Cunningham (2011) convergem ao afirmar que os jogos — digitais ou analógicos — representam uma das ferramentas mais promissoras para o ensino de Física. Eles promovem engajamento, aprendizagem significativa e senso de pertencimento científico. No entanto, seu uso eficaz requer planejamento, mediação e avaliação criteriosa. Assim, a presente dissertação dialoga com essa literatura ao propor um jogo de tabuleiro gamificado e integrador de robótica educacional, capaz de unir ludicidade e rigor conceitual no ensino de ondulatória.

Estudos Anteriores e Meta-análises: Robótica Aplicada à Ondulatória

O uso da robótica educacional no ensino de Física representa uma das fronteiras mais promissoras da integração entre tecnologia e aprendizagem ativa. A possibilidade de programar, construir e testar dispositivos que reproduzem fenômenos físicos concretos cria um ambiente fértil para o desenvolvimento da autonomia e do raciocínio científico. Blikstein (2013) destaca que a robótica promove uma ponte entre teoria e prática, permitindo que o estudante “pense com as mãos” e transforme abstrações em experiências observáveis. Essa abordagem é particularmente relevante no estudo da ondulatória, campo tradicionalmente marcado pela abstração matemática.

Resnick (2017) argumenta que a robótica, quando mediada por princípios construcionistas, favorece a compreensão de sistemas dinâmicos e fenômenos oscilatórios. A manipulação de sensores, motores e microcontroladores possibilita visualizar em tempo real variáveis como frequência, amplitude e período, aproximando o ensino das condições de laboratório experimental. Essa integração tecnológica potencializa o aprendizado significativo ao associar códigos, circuitos e conceitos físicos em um mesmo processo de criação.

Bers (2021) observa que a robótica educacional tem se expandido como ferramenta transversal nas disciplinas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), mas sua aplicação à Física requer intencionalidade didática. Não basta construir robôs: é preciso que o projeto dialogue com os conteúdos conceituais. No caso da ondulatória, isso significa relacionar medições ultrassônicas, propagação de ondas e reflexão com as leis fundamentais da acústica e da óptica. “A robótica educacional só se torna efetiva quando o aluno compreende que cada componente, sensor e linha de código tem correspondência com um princípio científico. Programar é, nesse sentido, uma forma de modelar o mundo físico” (Bers, 2021, p. 92).

Estudos recentes reunidos por Blikstein (2013) demonstram que projetos de robótica baseados em investigação e experimentação elevam o nível de engajamento e compreensão conceitual dos estudantes. Ao projetar protótipos para resolver problemas autênticos, os alunos desenvolvem simultaneamente competências técnicas e cognitivas. Essa metodologia de aprendizagem pela criação reflete o paradigma construcionista de Papert (1993), que inspira também as iniciativas de ensino de ondulatória mediadas por sensores ultrassônicos e microcontroladores Arduino.

Resnick (2017) introduziu o conceito de “aprendizagem criativa” para descrever o ciclo *Imagine – Create – Play – Share – Reflect*, em que o conhecimento é continuamente reconstruído por meio da experimentação. Aplicada à robótica e à Física, essa dinâmica permite que o estudante

imagine um fenômeno (por exemplo, a reflexão de uma onda), crie um modelo físico-digital, brinque com suas variações, compartilhe resultados e reflita sobre as diferenças entre teoria e prática.

Pesquisas meta-analíticas citadas por Bers (2021) apontam que o aprendizado de conceitos abstratos — como interferência e ressonância — se torna mais acessível quando o aluno manipula dispositivos que reproduzem comportamentos ondulatórios. A combinação de experimentação física e visualização digital transforma a sala de aula em um laboratório interativo, favorecendo a descoberta guiada e a metacognição.

Quando as crianças e jovens constroem robôs que se movem, emitem sons ou respondem a estímulos, estão não apenas aprendendo tecnologia, mas desenvolvendo uma compreensão corporal e sensorial de conceitos científicos. A aprendizagem passa a ser encarnada, tangível (Blikstein, 2013, p. 118).

No Brasil, pesquisas conduzidas em programas do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) reforçam essas evidências. Projetos que utilizam sensores ultrassônicos para medir distância e tempo, vinculados a placas Arduino, têm mostrado impacto positivo na aprendizagem de ondulatória, especialmente no entendimento do som como fenômeno de propagação mecânica. Tais resultados validam a proposta do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”, que integra robótica e gamificação em um mesmo produto pedagógico.

Blikstein (2013) enfatiza que a robótica educacional rompe a lógica da passividade e devolve ao aluno o controle sobre o processo de investigação científica. Ao construir um artefato, o estudante torna-se autor de hipóteses e analista de resultados. Essa autonomia dialoga diretamente com o princípio da experimentação crítica defendido por Freire (1996), segundo o qual o conhecimento nasce da curiosidade ativa e da problematização.

Bers (2021) propõe o conceito de “robótica positiva”, que combina o fazer técnico com valores éticos e colaborativos. Em sala de aula, isso se traduz em práticas de cooperação, empatia e responsabilidade coletiva sobre os projetos. Tais dimensões humanas ampliam o alcance pedagógico da robótica, aproximando-a de um ideal formativo integral.

Resnick (2017) observa que o impacto da robótica no ensino de Física vai além dos resultados quantitativos: ela modifica a postura epistemológica do aluno, que passa a enxergar as leis naturais como construções explicativas, e não como verdades imutáveis. Essa mudança de mentalidade representa uma transição do ensino transmissivo para o ensino investigativo. “O maior valor da robótica na educação científica não é ensinar programação, mas cultivar a mentalidade de

engenheiro e de cientista: a disposição para experimentar, errar, depurar e tentar novamente” (Resnick, 2017, p. 64).

As meta-análises comparativas realizadas por Blikstein (2013) mostram que estudantes envolvidos em projetos de robótica apresentam até 40 % mais retenção de conceitos em avaliações pós-teste quando comparados a grupos expostos a aulas tradicionais. Esse ganho é atribuído à integração entre cognição e ação, que caracteriza as metodologias STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*). A ondulatória, ao articular ciência e arte — som, vibração e harmonia —, se beneficia especialmente dessa abordagem.

A robótica aplicada à ondulatória também favorece a interdisciplinaridade. Ao construir dispositivos que medem frequência e comprimento de onda, o aluno mobiliza conhecimentos de Matemática (proporcionalidade), de Tecnologia (circuitos) e de Física (Acústica). Bers (2021) aponta que essa integração curricular é essencial para formar sujeitos capazes de pensar de modo sistêmico, característica da cultura digital contemporânea.

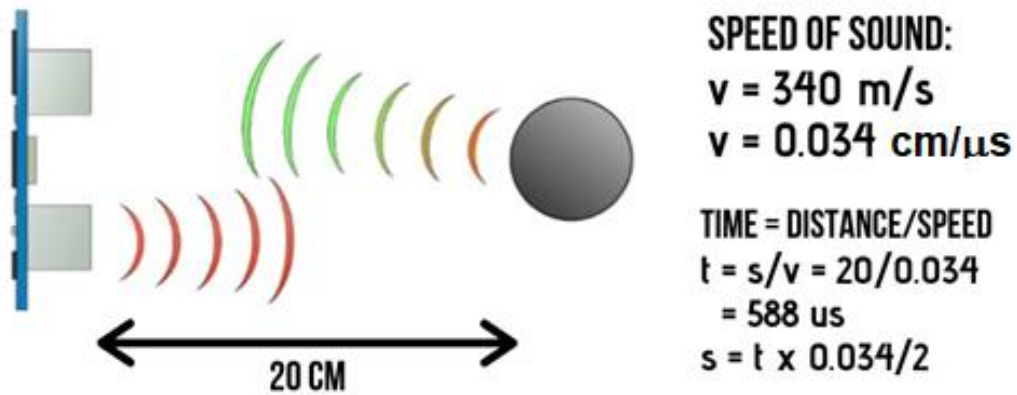
Tabela 1 – Relação entre o Sketch da Trena Ultrassônica e Fenômenos Ondulatórios

Parte do Sketch / Algoritmo	O que o código faz	Fenômeno Físico	Relação $v = \lambda \cdot f$
Pulso TRIG	Dispara pulso de $10\mu\text{s}$	Emissão de onda 40kHz	Define f
Espera eco	Espera retorno no ECHO	Propagação longitudinal no ar	v depende do meio
<code>pulseIn()</code>	Mede tempo ida/volta	Tempo físico mensurável	tempo base para v
$v = 340$	Ajusta velocidade (340m/s em temperatura de 25°C)	Velocidade varia com meio	$\lambda = v/f$
$d = v \cdot t/2$	Converte tempo em distância	Reflexão (eco)	Distância depende de $v = \lambda f$

Fonte: do autor (2025)

Conforme tabela 1, é possível relacionar as grandezas físicas da relação fundamental da onda com o “sketchs” (código) da trena ultrassônica. Como recurso didático ainda é possível explorar a distorção de medida de comprimento aferida pela trena e conferida com a fita métrica quando se acende um fósforo próximo ao sensor aumentando a temperatura e, portanto, aumentando a velocidade do som do ar, assim como também a velocidade diminui caso se aproxime uma forma de gelo, diminuindo, portanto, a velocidade.

Figura 1 – Diagrama de Cálculo da Onda



Fonte: adaptado Savadatti (2020)

Conforme ilustra a Figura 1, suponha-se que um objeto esteja posicionado a 20 cm do sensor. Considerando que a velocidade do som é de aproximadamente 340 m/s, ou 0,034 cm/ μ s, a onda sonora levará cerca de 588 microssegundos para percorrer essa distância total. No entanto, o sinal recebido pelo pino ECO corresponde ao tempo de ida e volta da onda, duplicando esse intervalo. Assim, para determinar a distância real em centímetros, o tempo medido deve ser multiplicado por 0,034 e dividido por 2. Esse processamento é automaticamente realizado pelo microcontrolador do Arduino Uno, utilizado neste experimento. Os cálculos ilustrados no diagrama claramente demonstram a ligação da tecnologia/robótica com os fenômenos e grandezas físicas na relação fundamental da onda ($v=\lambda.f$), garantindo o foco principal desta atividade *maker* que é o ensino de Física.

Resnick (2017) destaca que o uso de plataformas abertas como Arduino ou Microbit democratiza o acesso à robótica educacional. Por serem de baixo custo e altamente configuráveis, permitem que escolas públicas desenvolvam projetos de alta complexidade sem necessidade de grandes investimentos. Essa acessibilidade reforça o potencial inclusivo da robótica no ensino de ciências.

Uma tecnologia que facilmente pode ser utilizada no contexto escolar é o Arduino que consiste em “uma plataforma de *hardware open source*, projetada sobre o microcontrolador Atmel AVR, que pode ser programado através de uma linguagem de programação similar a C/C++” (Oliveira e Zanetti, 2016, p. 17). Essa plataforma por ser *open source* não tem direitos autorais ou

de patente reservados e permite a elaboração de projetos com um conhecimento mínimo ou mesmo nenhum de eletrônica.

Blikstein (2013) alerta, contudo, que a adoção da robótica exige mais do que infraestrutura: requer formação docente específica e mudança de mentalidade pedagógica. Professores acostumados a práticas transmissivas tendem a ver a robótica como um adendo tecnológico, e não como estratégia epistemológica. Essa resistência cultural é um dos principais obstáculos à consolidação da robótica como metodologia ativa.

As evidências reunidas por Bers (2021) indicam que a robótica educacional contribui para o desenvolvimento de competências socioemocionais, como persistência, cooperação e autoconfiança. Esses atributos, muitas vezes invisíveis nos currículos formais, são essenciais para a aprendizagem científica, que exige tolerância ao erro e pensamento crítico.

No ensino de ondulatória, a robótica permite visualizar fenômenos invisíveis. Experimentos com sensores ultrassônicos possibilitam mensurar tempos de voo, refletâncias e interferências, traduzindo equações abstratas em dados experimentais.

Resnick (2017) argumenta que ambientes de aprendizagem baseados em projetos robóticos estimulam a “curiosidade epistêmica” — a motivação intrínseca de compreender como e por que algo funciona. Essa curiosidade é motor da ciência e deve ser cultivada desde o ensino médio. O jogo proposto nesta dissertação incorpora esse princípio ao convidar o estudante a descobrir, por meio de experimentos, como ondas se propagam e refletem.

Blikstein (2013) também observa que a robótica redefine o papel da avaliação. O desempenho deixa de ser medido apenas pelo acerto conceitual e passa a incluir criatividade, processo e colaboração. Essa visão avaliativa, mais formativa e holística, é coerente com a proposta da gamificação, que valoriza o progresso contínuo e o feedback imediato.

Bers (2021) reforça que a robótica educacional deve estar a serviço de objetivos pedagógicos claros. O simples uso de kits tecnológicos não garante aprendizado. É necessário que o projeto esteja ancorado em uma intencionalidade formativa e que o professor atue como mediador reflexivo. A robótica, portanto, não substitui a didática — ela a potencializa. “A tecnologia não é neutra. Ela reflete as intenções de quem a usa e os valores que orientam o projeto educativo. A robótica pode ser libertadora ou alienante, dependendo de como é inserida no currículo e de como os alunos são convidados a pensar sobre ela” (Bers, 2021, p. 104).

A literatura analisada converge ao afirmar que a robótica aplicada à ondulatória favorece a aprendizagem ativa, significativa e colaborativa. Ao construir instrumentos que captam e analisam

ondas sonoras, os estudantes internalizam conceitos físicos de forma intuitiva e experiencial. Além disso, o trabalho em grupo estimula a comunicação científica e o pensamento crítico.

Resnick (2017) conclui que o verdadeiro potencial da robótica está em conectar mente, mão e coração — pensar, fazer e sentir. Essa tríade traduz a essência da aprendizagem criativa e fundamenta a proposta desta dissertação, que utiliza a robótica como meio de materializar a Física das ondas em experiências concretas e significativas.

Em síntese, as meta-análises de Blikstein (2013), Bers (2021) e Resnick (2017) demonstram que a robótica educacional representa uma metodologia poderosa para o ensino de ondulatória, integrando conceitos, emoções e prática científica. Seu sucesso, contudo, depende da mediação docente e da articulação entre ludicidade e rigor conceitual — princípios que orientam o desenvolvimento do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”.

Síntese de Resultados de Pesquisas Semelhantes

As investigações realizadas nas últimas décadas sobre o uso de jogos, gamificação e robótica educacional convergem para a constatação de que essas metodologias são eficazes na promoção de aprendizagens mais significativas, ativas e engajadoras no ensino de Física. Estudos empíricos e metanálises apontam que a aprendizagem mediada por experiências lúdicas e tecnológicas não apenas favorece a compreensão conceitual, mas também altera atitudes em relação à ciência e amplia o interesse pela disciplina (Mattar, 2010; Prénsky, 2010). Essa tendência evidencia uma mudança paradigmática no ensino das ciências exatas, que passa a integrar práticas de resolução de problemas e criação tecnológica ao currículo tradicional.

Pesquisas conduzidas em diferentes contextos educacionais indicam que a utilização de jogos analógicos ou digitais para o ensino de ondulatória produz ganhos mensuráveis no desempenho conceitual e na motivação dos alunos. De acordo com Prensky (2010), a combinação entre desafio cognitivo e prazer lúdico gera um ambiente de engajamento profundo, no qual o aluno se mantém concentrado, autônomo e emocionalmente envolvido com o conteúdo. Essa condição, descrita por Csikszentmihalyi como *flow*, é essencial para a internalização duradoura dos conceitos científicos.

Mattar (2010) reforça que a ludicidade constitui um elemento pedagógico de grande potencial, pois desloca o aluno da posição passiva para a ativa. Ao jogar, o estudante toma decisões, elabora estratégias e lida com consequências — ações que espelham o método científico e desenvolvem pensamento crítico. Essa aproximação metodológica entre jogar e investigar explica

o crescente uso de *serious games* e jogos de tabuleiro no ensino de Física, especialmente em áreas de difícil abstração, como a ondulatória e a óptica.

Os games oferecem ambientes de aprendizagem nos quais o erro é parte do processo e não motivo de punição. Nesses espaços, os alunos exploram hipóteses, testam ideias e constroem significado de maneira natural, participando de um ciclo contínuo de descoberta e reflexão (Prensky, 2010, p. 49).

Outra linha de evidência robusta vem da robótica educacional aplicada às ciências exatas. Blikstein (2013) demonstra, em suas pesquisas no *Transformative Learning Technologies Lab* da Universidade de Stanford, que a robótica potencializa o aprendizado conceitual ao integrar o pensar e o fazer. Projetos envolvendo sensores e programação favorecem a visualização de fenômenos invisíveis, como ondas e vibrações, transformando equações abstratas em resultados observáveis. Essa “aprendizagem tangível” é fundamental para consolidar o entendimento de leis físicas.

Resnick (2017) complementa que o engajamento em projetos robóticos desperta a motivação intrínseca e promove a *curiosidade epistêmica*, um tipo de curiosidade voltada à compreensão dos mecanismos do mundo natural. Em experimentos conduzidos no *MIT Media Lab*, alunos que construíram protótipos para estudar som e movimento demonstraram ganhos significativos de compreensão conceitual em comparação a grupos controle. Tais resultados sustentam a relevância de metodologias construcionistas no ensino da Física moderna.

Bers (2021) acrescenta que a robótica educacional, quando orientada por princípios humanistas, amplia o desenvolvimento cognitivo e emocional dos estudantes. O trabalho colaborativo, o cuidado com o erro e a coautoria dos projetos reforçam valores como persistência e empatia. Esses elementos são indispensáveis para o aprendizado científico, que requer não apenas domínio técnico, mas também postura investigativa e ética frente à tecnologia.

O que distingue a robótica educacional de outras práticas tecnológicas é seu caráter reflexivo. O ato de construir não é apenas mecânico, mas simbólico; é a externalização de um pensamento. Ao projetar um robô, o aluno projeta também uma ideia, uma hipótese sobre como o mundo funciona (Blikstein, 2013, p. 121).

Os estudos de meta-análise mais recentes (Resnick, 2017; Bers, 2021) indicam que as experiências baseadas em robótica e gamificação produzem ganhos de até 40% na retenção conceitual de conteúdos de Física quando comparadas às aulas tradicionais. Essa melhoria decorre da integração entre ação, visualização e feedback — fatores que transformam a aprendizagem em um processo ativo e dinâmico. O aprendizado de ondulatória, em particular, tem se beneficiado dessas metodologias por permitir a experimentação concreta de fenômenos acústicos e luminosos.

Diversas dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) corroboram essas conclusões. Projetos realizados em escolas públicas brasileiras mostram que a construção de dispositivos com sensores ultrassônicos, medidores de frequência e aplicativos móveis promove significativa melhoria na compreensão das leis de propagação de ondas. Esses resultados reforçam a hipótese de que a robótica, quando articulada à gamificação, constitui um caminho promissor para o ensino da Física contemporânea.

A literatura também indica que os jogos e a robótica compartilham fundamentos teóricos comuns. Ambos se apoiam em paradigmas construtivistas e construcionistas, que valorizam a aprendizagem pela experiência e a reflexão sobre a prática. A diferença está na mediação: enquanto o jogo enfatiza o desafio e a regra, a robótica privilegia o projeto e a autoria. No entanto, ambos convergem na promoção de autonomia e engajamento.

Pesquisas conduzidas por Mattar (2010) e Prensky (2010) revelam que a motivação gerada pelos jogos pode ser potencializada quando associada à robótica, pois o aluno deixa de apenas competir e passa a criar. Essa fusão entre ludicidade e construção materializa-se em metodologia híbrida — como a presente dissertação —, nas quais o aprendizado se dá por meio da resolução de desafios concretos com base em princípios científicos.

Blikstein (2013) observa que a robótica aplicada à Física permite trabalhar simultaneamente dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais. O estudante compreende fenômenos, desenvolve habilidades técnicas e internaliza valores científicos, como a busca por evidências e a persistência na investigação. Essa visão integrada é coerente com os princípios das metodologias ativas e das competências da BNCC para o Ensino Médio.

Bers (2021) e Resnick (2017) ressaltam que a aprendizagem mediada pela tecnologia também favorece a inclusão, ao permitir múltiplas formas de expressão. Alunos com diferentes estilos cognitivos podem aprender por meio da ação, do som, da imagem ou do movimento. Essa diversidade expressiva é essencial no ensino de ondulatória, uma vez que o conteúdo envolve percepção sensorial, análise de padrões e modelagem.

Os resultados de pesquisas semelhantes também apontam desafios. Blikstein (2013) identifica a carência de formação docente específica como o principal obstáculo à consolidação da robótica e dos jogos no currículo escolar. Muitos professores ainda reproduzem o ensino expositivo, mesmo utilizando recursos tecnológicos avançados. A inovação metodológica exige, portanto, mudança de mentalidade e suporte institucional.

Mattar (2010) acrescenta que o excesso de gamificação, quando mal planejado, pode gerar dispersão e superficialidade. O foco deve permanecer na aprendizagem, não na competição. Da

mesma forma, Bers (2021) alerta que a robótica sem propósito educativo claro corre o risco de se tornar mero entretenimento tecnológico. O equilíbrio entre ludicidade e rigor conceitual é condição indispensável para o sucesso das experiências.

Prensky (2010) propõe que o futuro da educação científica reside na integração equilibrada entre motivação extrínseca e intrínseca. As recompensas externas, como pontuação ou níveis, devem servir apenas como gatilhos iniciais para despertar o interesse, mas o verdadeiro engajamento surge quando o aluno reconhece valor no ato de compreender. Essa síntese é a base filosófica do jogo “*Bat e Volta – Curta Essa Onda!*”, que combina elementos de recompensa com desafios cognitivos reais.

Blikstein (2013) destaca que o impacto dessas metodologias não se limita ao desempenho escolar. Elas influenciam também a autoestima e a autopercepção dos estudantes como produtores de conhecimento. Ao perceber-se capaz de construir, medir e explicar, o aluno rompe com a visão tradicional da ciência como algo inacessível. Essa dimensão simbólica da aprendizagem tem implicações profundas na formação científica e cidadã.

As evidências reunidas apontam, portanto, para um consenso: jogos e robótica constituem ferramentas complementares, capazes de transformar o ensino de Física em um espaço de investigação e criatividade. As experiências analisadas em diferentes contextos demonstram ganhos cognitivos, afetivos e sociais, mas também revelam a necessidade de planejamento, mediação e reflexão crítica sobre o uso da tecnologia.

Diante do exposto, as pesquisas semelhantes analisadas neste capítulo sustentam a viabilidade e a relevância da proposta apresentada nesta dissertação. A literatura evidencia que metodologia híbrida — que combinam ludicidade, experimentação e colaboração — elevam significativamente o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes. Como afirmam Blikstein (2013) e Bers (2021), a robótica e os jogos não são apenas recursos didáticos, mas linguagens contemporâneas para pensar, sentir e transformar a ciência.

Implicações de design didático para o Bat e Volta – Curta essa onda!

a) Alinhamento teórico-metodológico.

A metodologia pedagógica deve ser ancorada na articulação entre Construtivismo e Construcionismo, complementada pelo conceito de protagonismo. O design da aprendizagem deve ser estruturado de modo que o estudante construa, meça, modele e explique os fenômenos (Papert,

1980), garantindo o protagonismo discente no processo (Bacich e Moran, 2018). Essa abordagem exige que o professor forneça uma estrutura (*scaffolding*) adequada à etapa de desenvolvimento cognitivo do aluno (Piaget, 1976), permitindo que o artefato físico ou digital (protótipo) funcione como o objeto-âncora da aprendizagem. Neste modelo, o estudante não apenas internaliza, mas materializa o conhecimento.

b) Sequência sugerida (exemplo).

Organizador prévio: mapa conceitual e breve desafio diagnóstico gamificado sobre frequência, período, λ e v .

Missões iniciais (gamificadas): quizzes e micro experimentos virtuais com feedback imediato (Sailer e Homner, 2020).

Fase *maker*-robótica: montagem do sensor ultrassônico HC-SR04/Arduino, coleta de séries temporais para movimentos oscilatórios e ondas; análise de gráficos $x(t)$ e $v(t)$ em tempo real (Matos Pereira e Souza Da Silva, 2021).

Desafio de integração: medir a velocidade do som no ar por tempo de voo e comparar com valor teórico, discutindo fatores ambientais (um clássico em ondulatória/mecânica) — com recompensas vinculadas a qualidade de medidas/análises e explanação conceitual (Cavalcante *et al.*, 2011).

Missão avançada: visualização de sinais de ultrassom e discussões sobre atenuação/resolução, inspiradas em atividades de imagem por ultrassom.

c) Mecânicas de jogo e avaliação.

Pontuação/Badges → alinhadas a critérios explícitos (correção conceitual; qualidade de projeto/medidas; colaboração).

Níveis → correspondem a progressões conceituais (onda senoidal simples → superposição/interferência → reflexão/refração).

Feedback → imediato e formativo (mensagens orientadas por erros comuns).

Avaliação: (i) prévios/pós-testes curtos (cognitivo); (ii) rubricas de projeto (*maker*); (iii) mapas conceituais comparativos; (iv) engajamento (log do jogo) – triangulando com achados de metanálises (Sailer e Homner, 2020; Wang *et al.*, 2023; Ouyang e Xu, 2024).

Embora a gamificação mostre efeitos positivos, parte das evidências em motivação/comportamento depende de como os elementos de jogo são implementados; efeitos extrínsecos podem desaparecer sem significado cognitivo (SAILER E HOMNER, 2020). Logo, recomenda-se vincular recompensas à compreensão conceitual e misturar competição com colaboração, combinação que a metanálise indica como promissora (SAILER E HOMNER, 2020). Na robótica/*maker*, os melhores resultados ocorrem quando há: (i) suporte docente explícito, (ii) integração curricular e (iii) tempo suficiente para iteração de projetos (OUYANG; XU, 2024). Aspectos de segurança elétrica, logística de materiais e acessibilidade devem ser planejados.

Delineamento e validade interna

O estudo aqui relatado se caracteriza como um experimento com um grupo de estudantes de uma turma do Ensino Médio. Por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, fundamentalmente qualitativo e interpretativo, o foco desta análise não está em médias estatísticas de desempenho, mas sim no processo de construção do conhecimento, no engajamento subjetivo e nas dificuldades conceituais que a metodologia ajuda a superar.

Os dados (desempenho no jogo, observações e a Prova Diagnóstica) são analisados por meio de uma discussão dialógica com o referencial teórico (Construtivismo, Construcionismo, e autores da área de Ensino de Física), verificando se a intervenção funciona conforme proposto pela teoria. Portanto, não cabe a randomização no delineamento metodológico, por se tratar de um grupo pré-selecionado, a escolha de uma turma participante de alunos.

O estudo foi concentrado na aplicação da metodologia em uma única turma. A eficácia da intervenção é medida comparando-se o conhecimento do grupo com ele mesmo e, principalmente, avaliando o processo de aprendizagem e o engajamento à luz da fundamentação teórica. A análise, neste caso, é baseada na validade interna da intervenção, e não em uma generalização estatística.

Segundo Campbell e Stanley (1963):

Os delineamentos quase-experimentais surgem como alternativa necessária em contextos nos quais a randomização não é viável, mas ainda assim é preciso construir inferências causais. O desafio consiste em controlar, por meio de planejamento e análise, as ameaças à validade interna. (CAMPBELL E STANLEY (1963, P. 5)

A escolha desse delineamento se justifica, pois em ambientes escolares reais à randomização estrita é praticamente inviável. Assim, no contexto quase-experimental adotado, a interpretação dos resultados requer uma análise integrada entre indicadores quantitativos e leitura

qualitativa dos efeitos da intervenção pedagógica, considerando o que a literatura específica apresenta e experiências relatadas em outras pesquisas publicadas.

Como reforçam Shadish, Cook e Campbell (2002, p. 14), “a presença de medidas prévias aos tratamentos é essencial em contextos naturais de ensino, pois elas permitem verificar o nível inicial dos indivíduos e calcular mudanças relativas, aumentando a credibilidade das conclusões sobre eficácia”.

Os dados desta pesquisa foram tratados por meio do cálculo do ganho normalizado ($\langle g \rangle$), conforme Hake (1998), além do cálculo de tamanho de efeito (Hedges' g), permitindo caracterizar a magnitude da aprendizagem obtida pela turma após a intervenção. Hake (1998, p. 65), em um estudo com mais de seis mil estudantes de Física, evidenciou que metodologias ativas de engajamento tendem a produzir maiores ganhos normalizados em comparação a métodos estritamente tradicionais.

Os resultados obtidos aqui convergem com o que a literatura internacional apresenta: a metodologia ativa de gamificação e robótica aplicada nesta turma favoreceu ganhos expressivos de aprendizagem em Ondulatória, indicando impacto positivo e significativo da intervenção pedagógica dentro da lógica quase-experimental adotada.

Descrição detalhada do Jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!"

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 " π ", 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.

Materiais e Recursos Utilizados

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

- a) Tabuleiro impresso com a trajetória em formato de gráfico senoide;
- b) Dados de 6 faces;
- c) Peças para movimentação (peões de cores distintas);
- d) Cartas com perguntas sobre ondulatória e cartas bônus;
- e) Cédulas π para marcar a pontuação;
- f) Catálogo de itens para montar a trena ultrassônica;
- g) Manual de instruções do jogo.

Para a montagem da trena ultrassônica, foram necessários os seguintes materiais e recursos didáticos:

- 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.

Recursos Humanos e Tecnológicos

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.

Público-Alvo

O jogo "BATE 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.

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.

Procedimentos de Aplicação do Jogo

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

a) Apresentação do Jogo e das Regras:

O professor explica as regras do jogo, destacando a importância da colaboração entre os membros da equipe e uma competição saudável.

b) Distribuição das Peças:

Cada equipe recebe um peão que será utilizado pra avançar as casas.

c) Desenvolvimento da Partida:

As equipes jogam o dado para avançar no tabuleiro. Depois de avançar o número de casas indicadas no dado, o professor tira uma carta da coleção "Chega de Onda e Responda", ele lê a pergunta e as alternativas. Para permanecer na casa onde caíram, os jogadores devem responder

corretamente à pergunta. A equipe tem 30 segundos para responder à pergunta corretamente. Se errar, precisam voltar o peão para a casa anterior a rodada. Em determinadas casas (Bônus), os alunos podem ganhar créditos extras lendo cartas com curiosidades sobre ondulatória (cartas Bônus). No final do trajeto a equipe ganha “ 2π ” de crédito e volta ao início várias vezes até acumular os créditos necessários para comprar os itens do catálogo que serão usados para a montagem da trena digital ultrassônica.

Caso o professor queira acelerar o jogo pode usar dois dados ao invés de um, mas isso diminui as chances de respostas as cartas, diminuindo também a eficácia de assimilação dos conceitos por parte dos alunos.

O professor também pode decidir permitir a consulta da pergunta na internet durante os 30 segundos. Afinal, o objetivo do jogo é assimilação de conhecimento.

Construção da Trena Digital Ultrassônica

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.

Encerramento e Reflexão

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.

Métodos de Coleta e Análise de Dados

Para avaliar a eficácia do jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!", serão utilizados métodos qualitativos. 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.

Análise dos Dados

Os resultados da aula avaliativa final serão analisados qualitativamente, considerando as observações do professor-pesquisador durante o processo e as verbalizações espontâneas dos estudantes ao discutirem os conceitos de ondas e o funcionamento da trena ultrassônica construída. Os relatos e argumentações apresentadas pelos alunos serão organizados em categorias temáticas emergentes, buscando identificar evidências de compreensão conceitual, motivação, envolvimento, superação de obstáculos cognitivos e conexões estabelecidas pelos próprios discentes entre teoria e prática.

A triangulação desses dados qualitativos (observação do pesquisador + registros das falas dos estudantes + análise das interações durante o uso do jogo e da trena) permitirá verificar se a sequência didática (*storytelling* + simulações + jogo Bat e Volta + oficina *maker*) contribuiu para fortalecer a compreensão física dos fenômenos ondulatórios e para desenvolver competências investigativas ligadas a robótica educacional.

A metodologia adotada nesta pesquisa foi estruturada para promover integração entre teoria e prática, utilizando gamificação e robótica como estratégias pedagógicas inovadoras, ativas e engajadoras. O jogo BAT E VOLTA – CURTE ESSA ONDA! se apresenta como um recurso interdisciplinar e motivador, aproximando a Física do cotidiano tecnológico dos estudantes. A análise qualitativa resultante dessa etapa fornecerá indicadores concretos sobre o impacto formativo do produto pedagógico, permitindo ajustes futuros e demonstrando potencial de replicação e expansão para outros contextos de ensino.

3- DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO PRODUTO

Descrição do 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.

Detalhamento da Criação do Jogo

O jogo "BATE 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 (Bônus), onde os jogadores podem ganhar créditos lendo curiosidade sobre ondulatória da coleção de cartas "Bônus"; as equipes avançam lançando dados de seis lados, e para permanecer em determinada casa, precisam responder corretamente a perguntas sobre ondulatória da coleção de cartas "Chega de Onda e Responda!". Cada resposta correta concede permanência na casa que está. Ao final do percurso, a equipe ganha " 2π " de crédito e volta ao início começando novamente o caminho. Este looping é repetido até o acúmulo de créditos suficientes que serão 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, coleção "*Chega de Onda e Responda!*" com perguntas de múltipla escolha que abordam os mais variados conceitos fundamentais da Ondulatória, como frequência, amplitude, comprimento de onda e reflexão e; coleção de cartas "*Bônus*" que apresentam curiosidades sobre ondulatória que apenas serão lidas em voz alta e créditos são atribuídos à equipe.

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.

Etapas de Implementação em Sala de Aula

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

Apresentação da Atividade

O professor introduz os conceitos básicos da Ondulatória, utilizando exemplos visuais. 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.

Formação das Equipes e Início do Jogo

O professor divide a turma em duas ou mais equipes dependendo do tamanho da turma.

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

Resolução de Perguntas e Acúmulo de Pontos

Cada equipe deve responder corretamente às perguntas para permanecer na casa onde caiu. Caso erre, deve voltar para a casa anterior ao lançamento do dado. À medida que avançam no jogo, os alunos acumulam pontos " π " e no final do percurso ganham " 2π " que serão usados na fase seguinte. Chegando ao final do percurso, a equipe volta ao início novamente e recomeça. Isso é repetido tantas vezes forem necessárias para acumular a quantidade total de créditos para adquirir os itens do catálogo.

Construção da Trena Digital Ultrassônica

A equipe que alcançar os créditos primeiro, utiliza-os 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.

Avaliação e Reflexão Final

O professor conduz uma discussão aberta, como avaliação formativa descontraída, perguntando aos alunos como o jogo ajudou na compreensão da Ondulatória e da robótica. Os alunos compartilham suas impressões sobre a atividade, destacando dificuldades e aprendizados. Além disso, o professor inclui perguntas conceituais e aplicabilidades para testar por meio de feedback o grau de assimilação dos conceitos.

Desafios Encontrados e Soluções Adotadas

Durante o desenvolvimento e aplicação do jogo, alguns desafios foram identificados. Para cada um deles, soluções foram propostas e implementadas, garantindo a eficácia da metodologia. **Dificuldade Inicial dos Alunos com Conceitos de Ondulatória** Desafio: Alguns alunos apresentaram dificuldades em compreender conceitos como frequência, amplitude e velocidade de propagação das ondas.

Solução: Antes do jogo, foram utilizadas aulas expositivas com vídeos, demonstrações práticas com cordas, molas e aplicativos de simulação para facilitar a visualização dos conceitos.

Pouca Experiência dos Alunos com Programação e Arduino Desafio: Muitos alunos nunca haviam tido contato com Arduino ou programação.

Solução: O código da trena digital foi dividido em módulos simples, permitindo que os alunos montassem e testassem o programa em partes menores, compreendendo a função de cada trecho de código.

Gestão do Tempo Durante a Atividade

Desafio: O jogo e a montagem da trena digital demandavam bastante tempo, podendo comprometer o planejamento das aulas. **Solução:** A atividade foi dividida em dois dias letivos, sendo um para o jogo de tabuleiro e acúmulo de pontos, e outro para a montagem e programação da trena digital.

Manutenção do Interesse e Engajamento dos Alunos

Desafio: Garantir que os alunos permanecessem motivados ao longo de todas as etapas.
Solução: Foram introduzidos desafios extras e um sistema de bônus surpresa, permitindo que os alunos ganhassem "power-ups", como pular perguntas difíceis ou dobrar a pontuação em momentos estratégicos do jogo.

Considerações Finais

O jogo "BAT E VOLTA - CURTA ESSA ONDA!" e a subsequente montagem da trena ultrassônica não representam um mero passatempo, mas sim uma intervenção pedagógica fundamentada no Construtivismo e no Construcionismo. A proposta aqui apresentada deve guiar o colega docente na maximização dos resultados dessa metodologia ativa. Nesse papel de "Instrutor a Mediador do Conflito". Sua função na aplicação do "Bate e Volta" transcende a de fiscalizar regras. O sucesso da atividade reside na sua atuação como mediador do desequilíbrio cognitivo. Não entregue respostas. Quando os alunos errarem a resposta das cartas ou quando o protótipo da trena falhar, resista à tentação de fornecer a solução imediata. Pergunte: "Em qual conceito da Ondulatória essa falha se manifesta?" ou "Qual lei física rege o retorno do sinal?". Isso força o aluno a revisitar o conceito (acomodação piagetiana). Valorize o Erro. O erro no jogo ou na programação é o ponto de partida para a aprendizagem. O sistema de recompensa (Créditos) e a progressão da Cultura *Maker* garantem que o aluno veja o erro não como punição, mas como um feedback necessário para a construção do conhecimento.

A sinergia entre as fases é a chave para o aprendizado significativo. Integração entre o lúdico e prático. Utilize o sistema de pontuação e a competição entre as equipes para manter o engajamento autêntico. Lembre-se: o objetivo dos pontos "créditos" é impulsionar a aquisição dos itens, e não apenas definir o vencedor do tabuleiro. Quanto à Cultura *Maker*, esta fase é a materialização da Ondulatória. Guia os alunos para que percebam que cada componente eletrônico e cada linha de código (mesmo que modular) está ligada diretamente a um princípio físico (a velocidade do som no ar, a reflexão do ultrassom, etc.). A trena ultrassônica é a prova de que a Física funciona.

A conexão é real. Reforce constantemente a alusão ao morcego, ao sonar e ao ultrassom médico. Essa conexão serve como organizador prévio, ancorando o conteúdo abstrato em subsunçores práticos já conhecidos pelos alunos. Manter o foco na Avaliação Formativa e na

Reflexão é fundamental. Utilize as etapas do jogo para uma avaliação formativa contínua. Durante a resolução das cartas e a montagem da trena, observe as discussões internas das equipes. Elas estão cooperando? Elas conseguem verbalizar o conceito físico por trás da pergunta? Use essas observações para ajustar sua próxima aula.

Reflexão Final

A etapa de Avaliação e Reflexão Final é tão crucial quanto o jogo em si. Promova uma discussão aberta perguntando "Como o fato de construirmos a trena te ajudou a entender o conceito de frequência, de velocidade da onda?". Isso fará com que o aluno se conscientize sobre o próprio processo de aprendizagem e feche o ciclo construtivista. Ao encarar o "BAT E VOLTA" com o rigor teórico e o entusiasmo lúdico que ele exige, o professor garante que os alunos não apenas decorem as fórmulas da Ondulatória, mas que construam e apliquem um conhecimento que será duradouro e significativo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. C. Gamificação na educação: estratégias para engajamento e aprendizagem. São Paulo: Penso, 2018.
- ANDRIOLA, W. Robótica educacional e o ensino de ciências: impactos no aprendizado e no desenvolvimento de habilidades cognitivas no ensino básico. *Revista Brasileira de Educação*, v. 26, e21050, 2021.
- BACICH, L.; MORAN, J. (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.
- BERS, M. U. *Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom*. 2. ed. New York: Routledge, 2021. Disponível em: <https://www.routledge.com/Coding-as-a-Playground-Programming-and-Computational-Thinking-in-the-Early-Childhood-Classroom/Bers/p/book/9780367900502>. Acesso em: 28 out. 2025.
- 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, 2013. p. 203–222.
- BRUNER, J. S. *O processo da educação*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1976.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston: Houghton Mifflin, 1963.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503-1–4503-9, 2011. DOI: 10.1590/S1806-11172011000400018.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998.

MATOS PEREIRA, P. D.; SOUZA DA SILVA, M. Construção de um kit experimental com Arduino para ensino de oscilações em tempo real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, p. e20210186, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0186>.

MATTAR, J. *Games em educação: como os nativos digitais aprendem*. São Paulo: Pearson, 2010.

OLIVEIRA, C. L. V.; ZANETTI, H. A. P. **Arduino descomplicado**. 1ª. Edição. São Paulo, SP: Editora Saraiva, 2015.

OUYANG, F.; XU, G. Effects of educational robotics on STEM learning: a meta-analysis. *Computers e Education*, v. 205, 104856, 2024.

PAPERT, S. *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books, 1980.

PAPERT, S. *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*. New York: Basic Books, 1993.

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

PEREIRA, R. F.; FUSINATO, P. A.; NEVES, M. C. D. Desenvolvendo um jogo de tabuleiro para o ensino de Física. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2009. p. 12–23. Acesso em: 10 fev. 2025.

PRENSKY, M. *Teaching digital natives: partnering for real learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin, 2010.

RESNICK, M. *Lifelong kindergarten: cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. Cambridge, MA: MIT Press, 2017.

SAILER, M.; HOMNER, L. The gamification of learning: a meta-analysis. *Educational Psychology Review*, v. 32, n. 1, p. 77–112, 2020.

SAVADATTI, Manikant. *How to measure distance using Ultrasonic sensor | How to Find Distance using soundwaves? (Full tutorial)*. Manitesla Projects, 10 nov. 2020. Disponível em: <https://manikantsavadatti.blogspot.com/2020/11/ultrasonicsensor.html>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SHADISH, W. R.; COOK, T. D.; CAMPBELL, D. T. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Boston: Houghton Mifflin, 2002.

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, 4637, 2023.

ZICHERMANN, G.; CUNNINGHAM, C. *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2011.

ANEXOS

1. Manual do Usuário
2. Programa (Sketch)
3. Peças do Jogo
4. Catálogo de peças
5. Kit do jogo
6. Trena Montada

MANUAL DO USUÁRIO

JOGO DIDÁTICO BAT E VOLTA – CURTA ESSA ONDA!

SUMÁRIO

- 1- OBJETIVO DO JOGO
- 2- COMPETÊNCIAS DESENVOLVIDAS
- 3- METODOLOGIA
- 4- ITENS DO JOGO
- 5- FORMAÇÃO DAS EQUIPES
- 6- PAPEL DO PROFESSOR
- 7- REGRAS DO JOGO
- 8- MONTAGEM DA TRENA
- 9- ANEXO
 - INSTRUÇÕES DE COMO MONTAR A TRENA
 - IMPLANTAÇÃO DO SKETCH (CÓDIGO) NO ARDUINO

1. OBJETIVO DO JOGO

Promover a aprendizagem ativa dos conceitos de ondulatória integrados à robótica educacional. Vence a equipe que montar corretamente uma **trena digital ultrassônica com Arduino**, conquistando componentes e códigos ao longo de um percurso em forma de onda senoide.

2. COMPETÊNCIAS DESENVOLVIDAS

- Compreensão dos fenômenos ondulatórios
- Interpretação de gráficos e parâmetros de ondas
- Lógica de programação com Arduino
- Trabalho em equipe e resolução de problemas

3. METODOLOGIA

Baseada na **gamificação** e nos **ciclos de aprendizagem de John Heron**: imaginação, discriminação, emoção e ação. Os alunos passam por momentos de desafio, estratégia, aplicação prática e cooperação.

4. ITENS DO JOGO

Materiais didáticos:

- Tabuleiro com 24 casas em forma de onda senoidal;
- 100 Cartas das casas gerais com perguntas de múltipla escolha;
- 50 Cartas bônus com curiosidades;
- 4 Pinos marcadores de equipe;
- 2 Dados comuns de 6 faces;
- 100 Cédulas de crédito $\pi\%$;
- Catálogo de itens para montagem da trena;
- Manual de instruções.

Kit de Robótica:

- 1 Arduino Uno;
- 1 Sensor ultrassônico HC-SR04;
- 1 Display LCD IC2;
- 1 Protoboard;
- 10 Jumpers cores variadas;
- 1 Porta-bateria 9V;
- 1 Bateria 9V;
- 12 Fichas com linhas de programação;

- 1 Fita métrica.

5. FORMAÇÃO DAS EQUIPES

Dependendo do número de alunos da turma o professor pode dividi-los em duas ou mais equipes. Cada equipe receberá um peão colorido que usará no tabuleiro para o jogo.

6. PAPEL DO PROFESSOR

- Apresentação das regras;
- Esclarecimento adicional dos conceitos;
- Correção dos desafios;
- Liberação de componentes;
- Supervisão da montagem final;
- Mediação de conflitos.

7. REGRAS DO JOGO

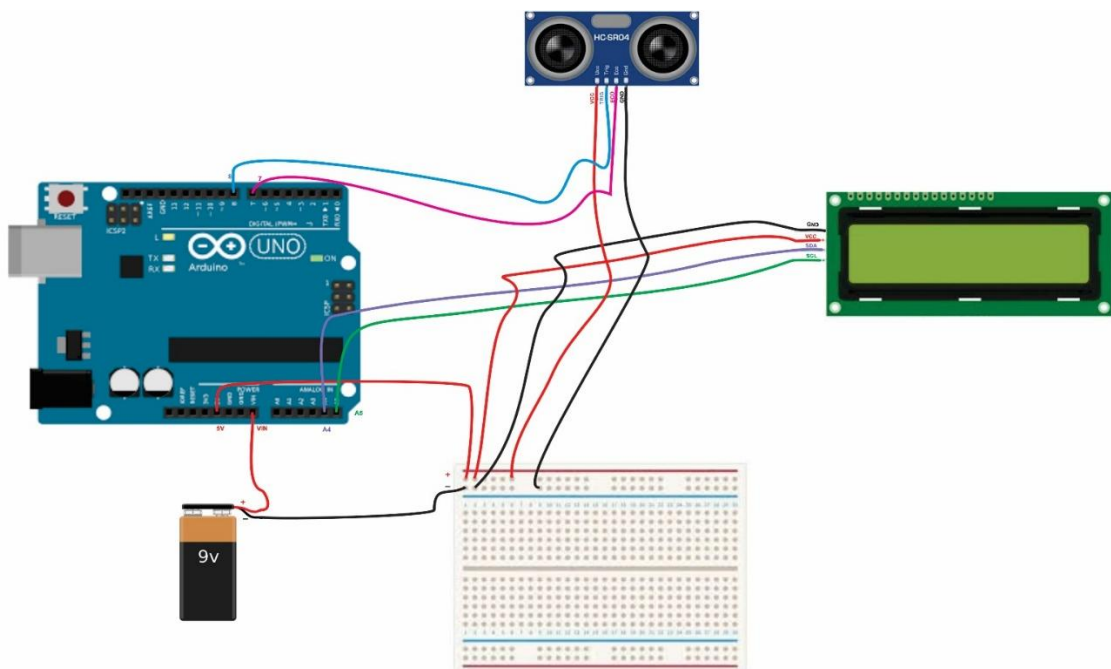
1. Cada equipe lança o dado e avança casas no tabuleiro. Para permanecer na casa onde chegou a equipe precisa, se:
 - **Casa comum:** responder uma pergunta de uma carta da coleção “Chega de Onda e Responda”.
 - **Casa bônus:** Ler em voz alta a curiosidade escrita em uma carta da coleção “Bônus”. Além de permanecer nesta casa, a equipe ainda acumula o crédito que carta oferece.
2. Quando a equipe chega no fim do caminho no percurso do tabuleiro, ela acumula 2π de crédito e retorna ao início para começar de novo o percurso. Esse looping é indeterminado, dependendo de acumular créditos suficientes para comprar todos os itens necessários para montar a trena digital ultrassônica.
3. A moeda do jogo é o $\pi\$$, esses créditos são acumulados para comprar itens do catálogo – peças ou linhas de programação, para montar a trena.

8. MONTAGEM DA TRENA

- Só pode começar depois que adquirir a quantidade de crédito suficiente para comprar o kit inteiro.
- Termina o jogo quando uma equipe atinge o acúmulo de créditos suficientes para montar a trena. Contudo, se a trena não funcionar a(s) outra(s) equipe(s) podem continuar a acumular créditos para fazer a tentativa.
- Depois de pronta, o professor testa a trena utilizando a fita métrica: a medida deve estar correta (erro $< 2\%$).

A equipe que montar corretamente vence!

Esquema de Montagem da Trena Ultrassônica



Fonte: do autor (2025)

INSTRUÇÕES DE COMO MONTAR A TRENA

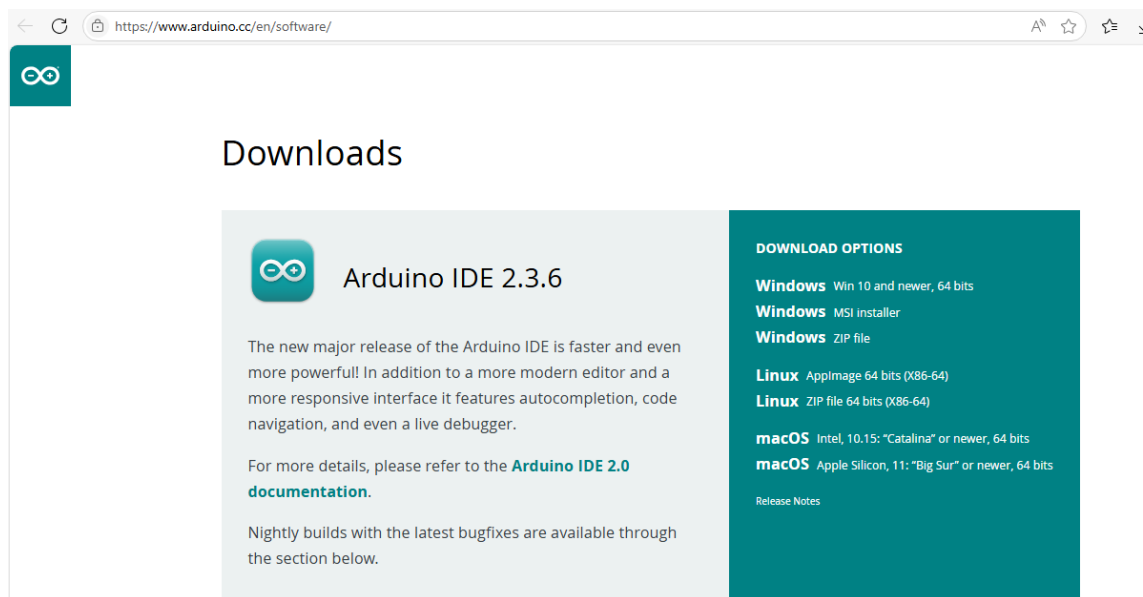
Utilize os jumpers do kit para fazer as conexões abaixo:

- a) Pino GND do LCD ligado à linha de alimentação negativa da protoboard.
- b) Pino VCC do LCD ligado à linha de alimentação positiva (5V) da protoboard.
- c) Pino SDA do LCD ligado ao pino A4 do Arduino.
- d) Pino SCL do LCD ligado ao pino A5 do Arduino.
- e) Pino GND do HC-SR04 ligado à linha de alimentação negativa da protoboard.
- f) Pino VCC do HC-SR04 ligado à linha de alimentação positiva da protoboard.
- g) Pino TRIG do HC-SR04 ligado ao pino 8 do Arduino.
- h) Pino ECHO do HC-SR04 ligado ao pino 7 do Arduino.
- i) Pino de alimentação positiva (5V) do Arduino à linha de alimentação positiva da protoboard.
- j) Pino de alimentação negativa (GND) do Arduino à linha de alimentação negativa da protoboard.
- k) Cabinho preto (negativo) do porta bateria à alimentação negativa da protoboard.
- l) Cabinho vermelho (positivo) do porta bateria ao pino VIN do Arduino.
- m) Coloque a bateria 9V no porta bateria.
- n) Ligue o interruptor do porta bateria (on/off).
- o) Regule o contraste do Display girando o potenciômetro (parafuso philips).

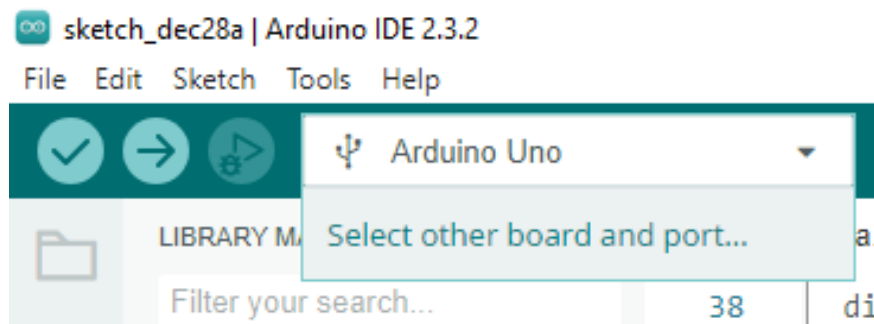
IMPLANTAÇÃO DO SKETCH (CÓDIGO) DA TRENA

Passo 1. Utilizando o cabo USB, ligue o Arduino a um computador.

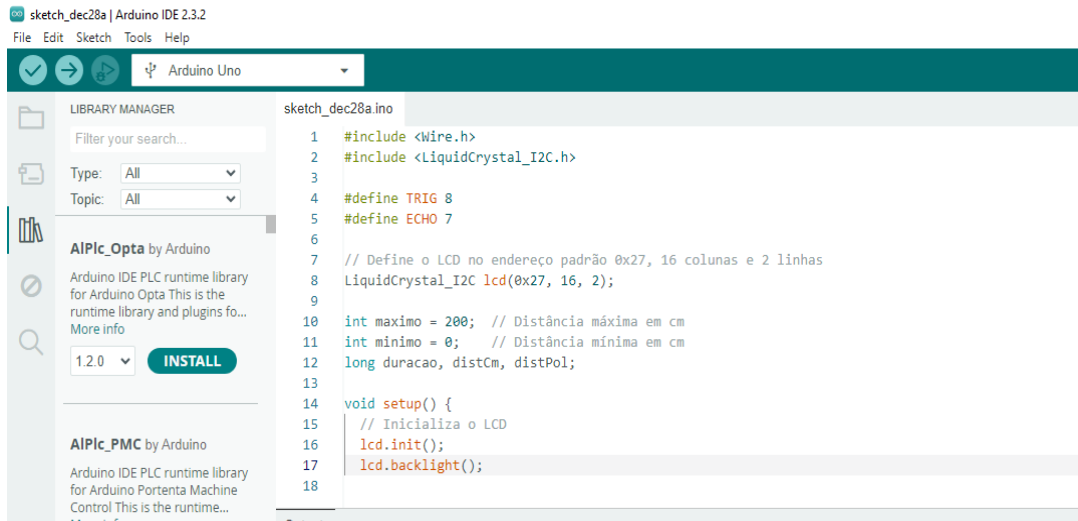
Passo 2. Instale no computador o software (IDE) de programação e comunicação com o Arduino para upload do código. O instalador pode ser baixado no endereço: <https://www.arduino.cc/en/software/>



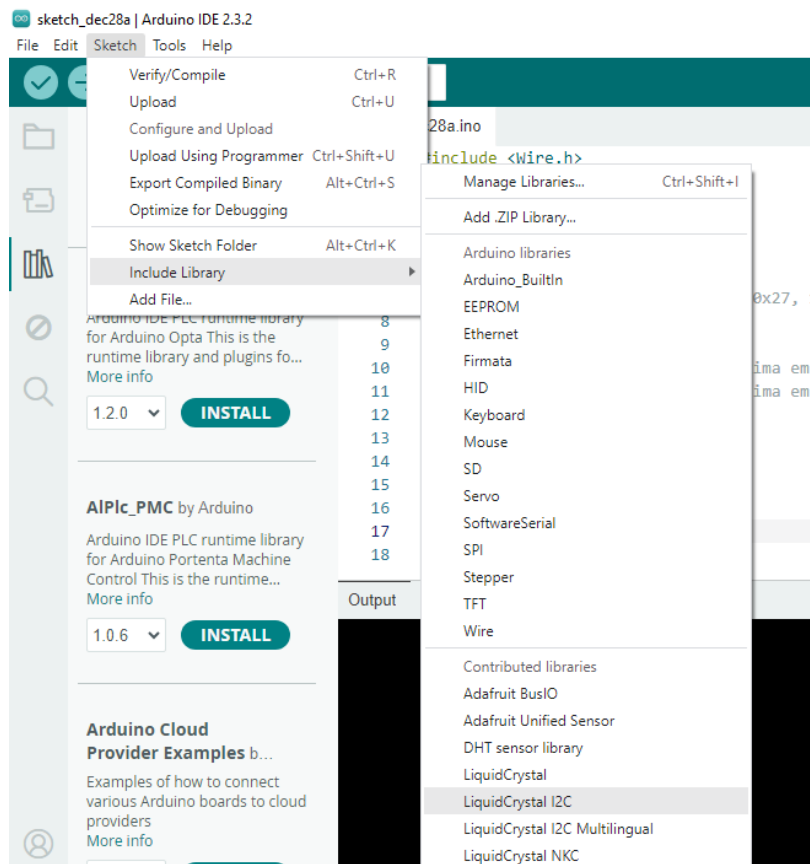
Passo 3. Selecione a placa conectada a porta USB:



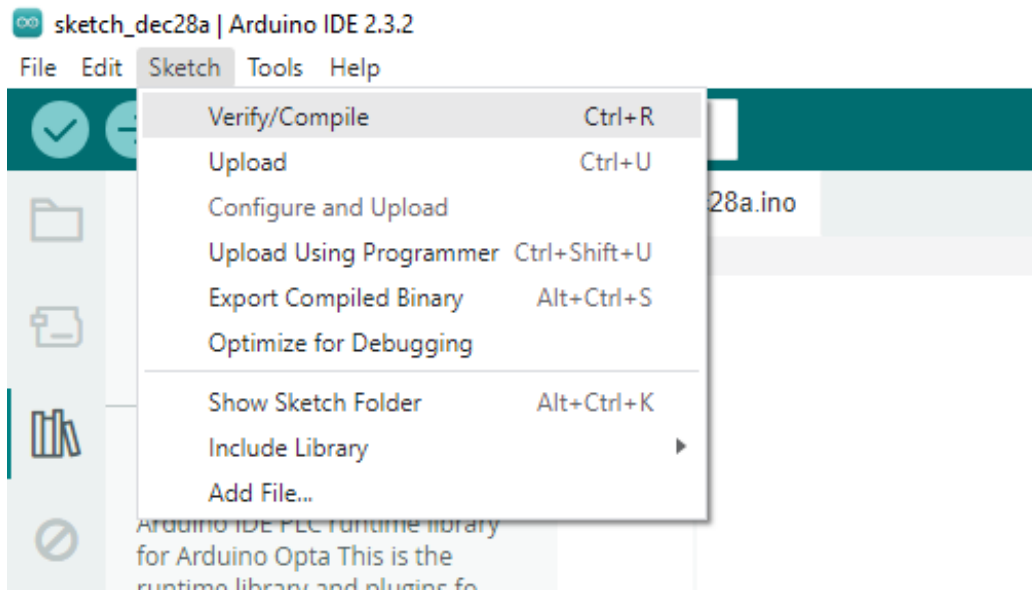
Passo 4. Digite o código da treina obtido nas fichas de programação na sequência de fichas de 1 a 12:



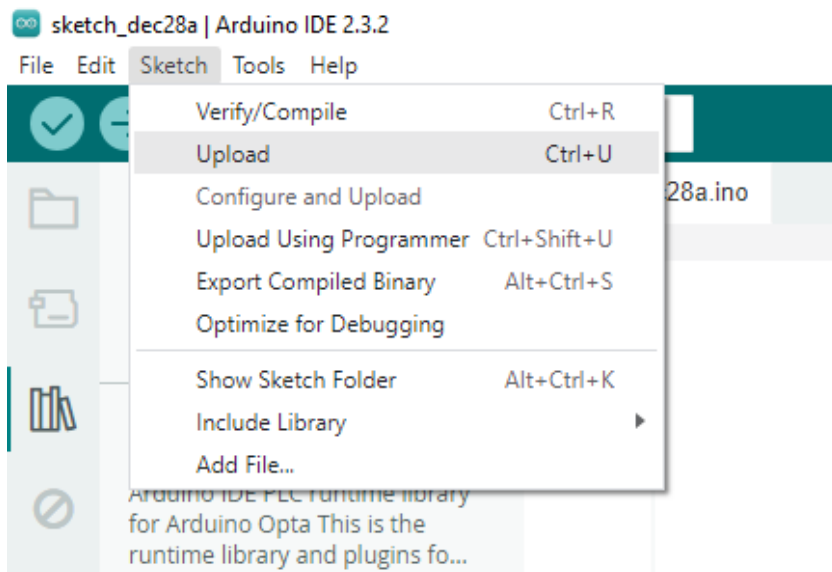
Passo 5. No menu Sketch / Include Library clique em LiquidCrystal I2C para instalar a biblioteca LiquidCrystal I2C para funcionamento do Display LCD.



Passo 6. No menu Sketch e clique em Verify/Compile.



Passo 7. Se não houver nenhum erro, no menu Sketch clique em Upload.



No Arduino um LED vermelho vai piscar indicando que o upload do código foi realizado com sucesso.

Passo 8. Programa (Sketch):

Após realizar a montagem do projeto, implementar o sketch a seguir através da plataforma de conexão do Arduino UNO com o PC.

```
#include <LiquidCrystal.h>

#define TEMPO_ATUALIZACAO 1000
#define ECHO 7
#define TRIG 8
int maximo = 200; // Distância máxima: 200 cm
int minimo = 0; // Distância mínima: 0 cm
long duracao, distCm, distPol;

// LCD
LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup () {
  pinMode (12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  lcd.begin (16, 2);

  pinMode(TRIG, OUTPUT);
  pinMode(ECHO, INPUT);
}

void loop () {
  // Enviar um pulso
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG, LOW);

  // Obter o tempo que o pulso levou para retornar
```

```
Duração = pulseIn(ECHO, HIGH);

// Calcular a distância em centímetros
distCM = duração / 58;

// Calcular a distância em polegadas
distPol = duração / 37;
lcd.clear();
if (distCm >= máximo || distCm <= mínimo) {
    lcd.print("Fora de faixa!");
}
Else {
    lcd.print("Distância: ");
    lcd.setCursor(0, 1); // Coluna, Linha
    lcd.print(distCm);
    lcd.print(" cm / ");
    lcd.print(distPol);
    lcd.print(" pol");
}
delay(TEMPO_ATUALIZACAO);
}
```


Catálogo de peças e códigos

Trena Digital Ultrassônica

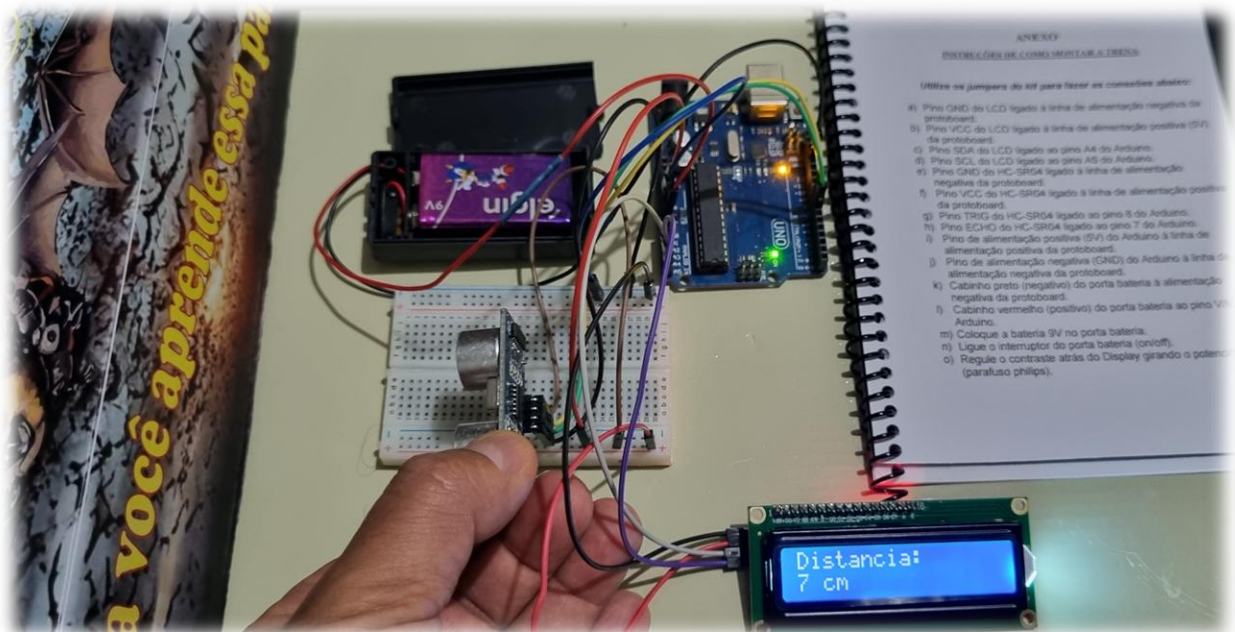
<i>Itens</i>		<i>Preço (π\$)</i>
<i>Arduino Uno</i>		12π
<i>Cabo de comunicação USB</i>		4π
<i>Display LCD IC2</i>		6π
<i>Sensor Ultrassônico HC-SR04</i>		5π
<i>Protoboard</i>		4π
<i>Kit de Jumpers</i>		3π
<i>Porta Bateria 9V</i>		3π
<i>Bateria 9V</i>		3π
<i>Fichas de linhas de programação</i>	<i>Cada ficha</i>	1π

Kit do Jogo



Fonte: do autor (2025)

Trena Montada



Fonte: do autor (2025)