

# Objeto Tangível para Estudo de Trigonometria do Triângulo Retângulo

Gabriel Leitão<sup>1</sup>, Edwin Monteiro<sup>2</sup>, Raimundo Barreto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Amazonas (IFAM)  
Manacapuru – AM – Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Manaus – AM – Brasil

gabriel.leitao@ifam.edu.br, {edwin, rbarreto}@icomp.ufam.edu.br

**Abstract.** This article presents a technology-supported educational platform that integrates tangible manipulatives and learning assessment metrics. The platform consists of four parts: (i) Composer, responsible for generating didactic material and inserting tangible learning objects; (ii) Tangible Player, a web-based interface for lesson execution; (iii) Server, which manages the virtual classroom and device communication; and (iv) Analytics, which calculates learning metrics based on student interaction. A case study was conducted to analyze the impact of the tangible object on learning, students' perception, and the feasibility of its use for assessment. The results showed that the tangible object is promising, with acceptance rates above 96% for perceived usefulness, 88% for perceived satisfaction, and 90% for intention to use.

**Resumo.** Este artigo apresenta uma plataforma de educação apoiada por tecnologia que integra manipulativos tangíveis e métricas de avaliação da aprendizagem. A plataforma é composta por quatro partes: (i) Compositor, responsável pela geração de material didático e inserção de objetos tangíveis; (ii) Player Tangível, interface web para execução de aulas; (iii) Servidor, que gerencia a sala de aula virtual e a comunicação entre dispositivos; e (iv) Analíticos, que calcula métricas de aprendizagem com base na interação dos estudantes. Um estudo de caso foi realizado para analisar o impacto do objeto tangível na aprendizagem, a percepção dos estudantes e a viabilidade de sua utilização para avaliação. Os resultados mostraram que o objeto tangível é promissor, com aceitação superior a 96% em utilidade percebida, 88% em satisfação percebida e 90% em intenção de uso.

## 1. Introdução

Com a tecnologia cada vez mais integrada à vida das pessoas, para ser eficaz em seu papel social, a educação não poderia se alienar da revolução impulsionada pela emergente Indústria 4.0, com a adição de Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Sistemas Ciber-físicos [Almeida 2018]. Entretanto, somente adicionar novas tecnologias não é suficiente para reduzir o fracasso escolar, sendo necessário atualizar metodologias e práticas pedagógicas de modo a tornar o ensino-aprendizagem mais atraente, além de considerar os diversos conhecimentos que os estudantes já trazem consigo (Pierre Bourdieu apud [Nogueira e Nogueira 2013]).

O problema considerado neste trabalho pode ser expresso através da seguinte questão: “é possível a construção de um ambiente de educação suportado por tecnologia que utilize recursos computacionais tangíveis como parte integrante do processo de ensino-aprendizagem e que, adicionalmente, proveja elementos que auxiliem na avaliação e acompanhamento dos estudantes?”.

O objetivo principal deste trabalho é propor uma plataforma educacional baseada em tecnologia que integre manipulativos tangíveis e métricas de avaliação da aprendizagem, além de analisar como os manipulativos criados pelo modelo proposto podem auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. Ademais, foram estabelecidos três objetivos específicos: (i) definir métricas de avaliação da aprendizagem que utilizem dados de interação com o ambiente tangível; (ii) avaliar experimentalmente se os objetos tangíveis contribuem para o aprendizado, o grau de aceitação dos estudantes e a utilidade desses objetos no acompanhamento e avaliação da aprendizagem; e (iii) comparar um objeto tangível com o modelo tradicional de ensino.

As próximas seções deste artigo abordam a Fundamentação Teórica (Seção 2), os Trabalhos Relacionados (Seção 3), a Metodologia utilizada para execução do trabalho (Seção 4) e os Resultados Experimentais a partir de um estudo de caso (Seção 5).

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Fundamentação Pedagógica e Epistemológica

A inserção dos recursos computacionais no processo de ensino-aprendizagem pode colaborar com a urgente demanda de atualizar as metodologias educacionais [Almeida 2000]. Há diversos métodos que visam a construção do conhecimento a partir da experiência, dentre os quais podemos citar: método por descoberta, educação emancipadora, conhecimento como construção progressiva e zona de desenvolvimento proximal.

- **Método por Descoberta.** John Dewey [Dewey 1971] propôs uma educação baseada no método científico, destacando a aquisição do conhecimento como um processo contínuo de reconstrução a partir da reflexão sobre experiências anteriores. Sua abordagem considera que toda experiência humana resulta de interações, e cabe ao professor entender o processo de aprendizagem dos alunos, conhecendo seus interesses, necessidades, capacidades e experiências prévias, para propor ações que possibilitem novas interações e experiências significativas. Portanto, tanto professores quanto alunos devem estar engajados como parceiros, adotando uma postura de aprendizado.
- **Educação Emancipadora.** Paulo Freire [Freire e Papert 1996] critica a educação voltada apenas para a transmissão de conhecimento, que ele chama de educação bancária. Em vez disso, ele propõe uma pedagogia progressista e libertadora, onde os alunos constroem seu próprio conhecimento por meio de experiências diretas, aprendendo a ler a palavra a partir do mundo. Freire defende que a escola precisa ser completamente modificada e atualizada, mantendo-se como um espaço de aprendizado do conhecimento já existente para que novos conhecimentos possam ser produzidos.
- **Zona de Desenvolvimento Proximal.** Vygotsky [Vygotsky 1998] propôs a teoria histórico-social, onde o conhecimento é construído a partir dos contextos sociais

da aprendizagem. A cultura é crucial nesse processo, pois determina as habilidades e saberes necessários para a participação social. A teoria diferencia o nível de desenvolvimento atual, relacionado ao conhecimento já adquirido, e o nível potencial, referente às possibilidades de conhecimento a serem desenvolvidas. A distância entre esses níveis é chamada de Zona de Desenvolvimento Proximal.

## **2.2. Ensino de Matemática usando manipulativos**

Os objetos tangíveis, ou manipulativos, são amplamente usados no ensino de matemática para facilitar a compreensão de conceitos abstratos. Alinhados com várias teorias pedagógicas, esses objetos trazem inúmeros benefícios ao ensino e aprendizagem da matemática. Primeiro, eles ajudam na visualização de conceitos abstratos, como usar blocos de construção para ensinar volume e área. Segundo, promovem a aprendizagem ativa, incentivando uma abordagem participativa onde os alunos descobrem conceitos por si mesmos. Terceiro, melhoram as habilidades motoras finas e a coordenação mão-olho. Quarto, aumentam o engajamento e a motivação, tornando a aprendizagem mais divertida. Segundo Piaget, as crianças aprendem melhor através da interação direta com o ambiente (construtivismo). Manipulativos tangíveis permitem que os alunos explorem e construam seu entendimento dos conceitos matemáticos, conectando novos conceitos a experiências concretas já existentes, facilitando a aprendizagem significativa.

## **2.3. Interfaces Tangíveis**

Interfaces Tangíveis de Usuário (TUIs), conforme introduzido por [Ishii e Ullmer 1997], são um tipo de Interface Humano-Computador que permite a interação com sistemas computacionais através de objetos e ambientes físicos do cotidiano, substituindo periféricos tradicionais como mouse e teclado. Essas interfaces dão forma física à informação digital, combinando representações físicas e digitais para criar sistemas interativos mediados por computação. Segundo [Zuckerman et al. 2005], objetos tangíveis são úteis para ensinar conceitos abstratos, oferecendo vantagens como engajamento sensorial, acessibilidade e aprendizagem em grupo. As TUIs podem melhorar o aprendizado ao conectar percepção e cognição, aumentando o engajamento e a reflexão dos estudantes, e sendo adequadas para a aprendizagem colaborativa. Diversas aplicações de TUIs no ensino-aprendizagem têm sido desenvolvidas recentemente, incluindo mesas tangíveis, blocos de programação, realidade virtual e aumentada, e ferramentas para disciplinas STEM e estudantes com dificuldades de comunicação. Neste artigo, TUIs são definidos como objetos de aprendizagem que combinam representações físicas e digitais, seguindo as características descritas por [Ullmer e Ishii 2000], e funcionam como objetos inteligentes, integrando entidades físicas e digitais, além de dispositivos, recursos e serviços.

## **3. Trabalhos Relacionados**

Considerando que a proposta deste trabalho abrange as fases de planejamento, execução e avaliação do ensino-aprendizagem, incluindo a criação e utilização de objetos de aprendizagem tangíveis, os trabalhos correlatos foram divididos em três eixos: (i) sistemas ciber-físicos na educação, (ii) ferramentas de autoria de objetos de aprendizagem, e (iii) métricas para avaliação da aprendizagem.

No primeiro eixo, a maioria dos trabalhos propõe objetos físicos ou virtuais juntamente com um ambiente de utilização especializado [Zacharia e Olympiou 2011,

Salehi et al. 2014, Ha e Fang 2018], mas poucos fazem avaliação da aprendizagem e, nenhum propõe avaliação da aprendizagem que leve em consideração dados de interação dos alunos com objetos. Além disso, os trabalhos de [Imamura e Baranauskas 2018, Lima et al. 2016, Gluz et al. 2018], que abordam diretamente o contexto de objetos tangíveis e de ambientes físico-digitais, não apresentam abordagens formais para descrição e padronização de objetos tangíveis de modo que possam ser integrados a um ambiente de aprendizagem que possibilite o registro e a análise de dados de interação e, assim, a avaliação do aprendizado, de modo a propor ações pedagógicas voltadas a melhoria dessa experiência.

Com relação ao segundo eixo, a maioria dos trabalhos foca somente na autoria de objetos tradicionais [Passos et al. 2010, Guterres e Moraes 2014] e não leva em consideração a criação de objetos tangíveis. Por fim, no terceiro eixo, dos trabalhos e ferramentas que abordam a avaliação em ambientes virtuais de aprendizagem [Lucena et al. 2015, Nunes et al. 2016, Biswas e Ghosh 2007, Sales et al. 2012, Sales et al. 2019], apenas [Biswas e Ghosh 2007] e [Sales et al. 2012] apresentam novas métricas ou modelos para verificação do desempenho dos estudantes nesses ambientes. Além disso, nenhum dos trabalhos considera o uso de objetos tangíveis de aprendizagem.

#### 4. Abordagem Proposta

A abordagem proposta neste trabalho consiste em uma arquitetura para criação e uso de objetos tangíveis de aprendizagem composta por quatro módulos (Figura 1): (1) *Compositor*, (2) *Servidor*, (3) *Player Tangível* e (4) *Analíticos*.

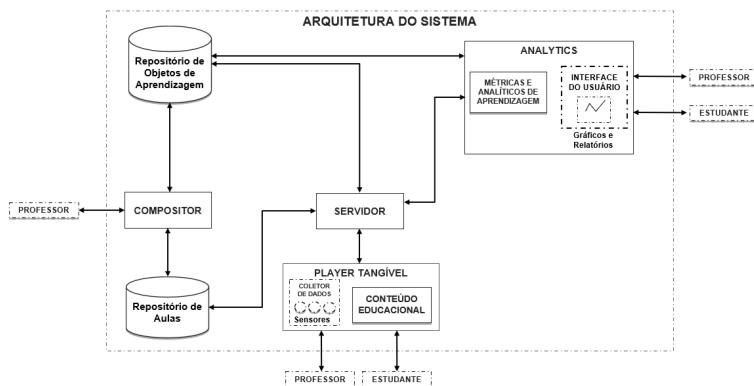
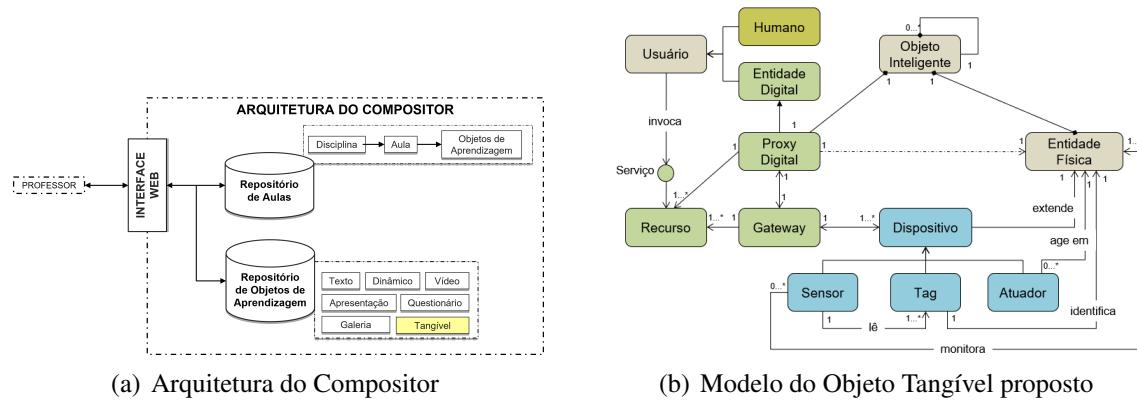


Figura 1. Arquitetura da Plataforma proposta

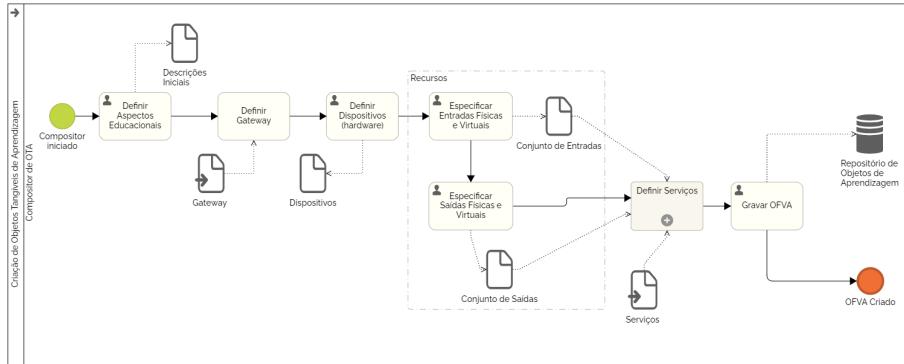
##### 4.1. Compositor

O compositor atua como ferramenta de autoria e como repositório de aulas sendo possível criar objetos de aprendizagem dos tipos questionário e tangível ou agregar objetos criados em formatos de imagens, vídeos e *slides*. Assim, a Figura 2(a) apresenta a arquitetura do Compositor, dividida em dois repositórios: (i) ‘Aulas’ e (ii) ‘Objetos de Aprendizagem’, com destaque em amarelo para a integração de objetos tangíveis com a plataforma. Além disso, o banco de dados foi modelado para descrever os objetos de aprendizagem usando o perfil “PM-OBAA-FULL” do padrão brasileiro OBAA, derivado do IEEE-LOM, que oferece suporte a diferentes plataformas (TV Digital, Web e Móveis), possui descritores educacionais com uma base epistemológica interacionista e descritores de acessibilidade [Vicari et al. 2009].



**Figura 2. Arquiteturas do Compositor e do Objeto Tangível**

Para definição do modelo de **Objeto Tangível de Aprendizagem - OTA** (Figura 2(b)) foi utilizado o conceito de objeto inteligente definido por [Serbanati et al. 2011], que contém entidades digital e física associadas através de um *proxy* digital. Neste trabalho, este *proxy* atua como uma representação da entidade física no mundo digital e contém quatro componentes: dispositivos (*hardware*), *gateway* (garante acesso aos dispositivos, sendo executado em um microcontrolador), recursos (componentes digitais que referenciam as propriedades físicas e virtuais do objeto) e serviços (entradas e saídas físicas e virtuais esperadas). Além disso, cada OTA criado no Compositor precisa ter componentes de ambas as partes devidamente instanciados e suas relações descritas.



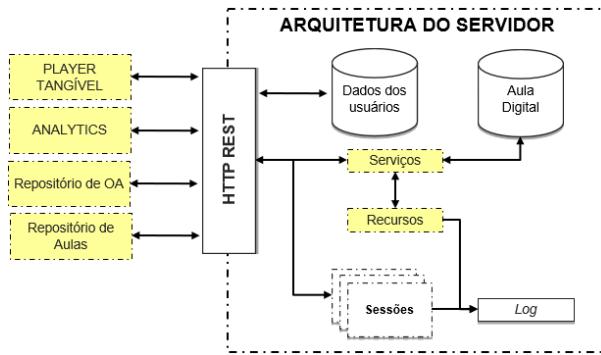
**Figura 3. Modelo BPMN para Criação de Objetos Tangíveis de Aprendizagem**

Além disso, o componente Serviços suporta o uso de situações-problema (casos de teste) associadas à regras de avaliação da aprendizagem que permitem fornecer um *feedback* para auxiliar o estudante no caminho de construção do conhecimento, ajudando-o a refletir e corrigir suas respostas até chegar à correta. A Figura 3 apresenta o diagrama de processos BPMN (*Business Process Model and Notation*) que orientam a composição de um OTA. Adicionalmente, o Compositor utiliza o conceito de programação em blocos (biblioteca Blockly [Developers 2022]) para definição das Entradas e Saídas e das regras dos Casos de Teste e, por fim, os blocos são traduzidos automaticamente para JavaScript.

#### 4.2. Servidor

Este módulo gerencia as trocas de mensagens entre os dispositivos dos estudantes e do professor através de uma sala virtual, além de tratar e consolidar os dados de interação

provenientes das interfaces física e digital para análise pelas métricas de aprendizagem. É importante ressaltar que como provedor do ambiente de aprendizagem, o servidor tem tripla finalidade: (i) gerenciar as conexões dos alunos coletando dados e armazenando os *logs* de interação com o material didático; (ii) prover acesso às recomendações pedagógicas; e, (iii) prover acesso aos recursos dos objetos de aprendizagem.

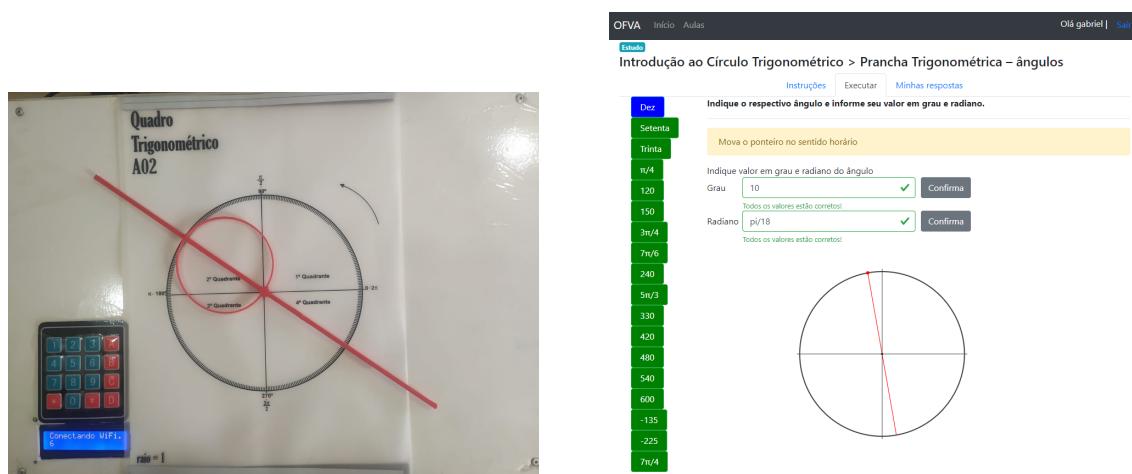


**Figura 4. Arquitetura do Servidor**

Por fim, na Figura 4, os acréscimos para o suporte de objetos tangíveis estão em destaque, onde observa-se o componente “Recursos”, que é responsável por referenciar as entradas e saídas físicas e digitais do objeto com o objetivo de armazenar essas interações no *log* e, o componente de “Serviços” disponibilizados pelo Player que estão armazenados no banco de dados e correspondem ao conteúdo dos objetos (ie: páginas web, códigos em javascript que proveem o *feedback* contínuo para que o aluno alcance as respostas corretas).

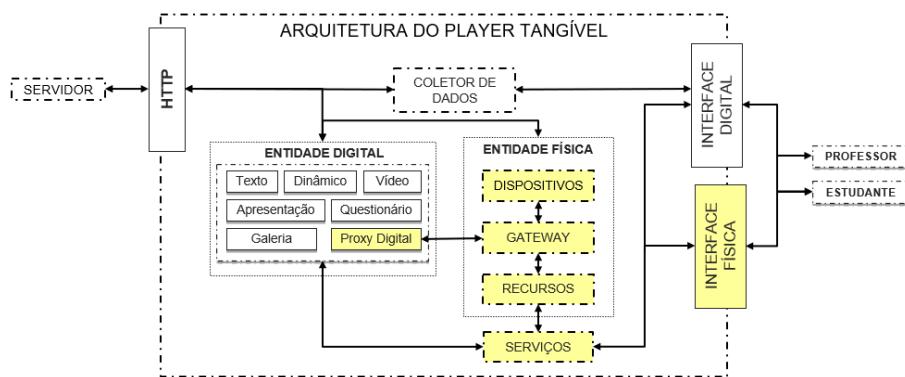
#### 4.3. Player Tangível

Expandindo o conceito apresentado por [Leitão 2017], onde o Player é um conjunto de páginas web contendo o material didático de uma aula e acessadas por um navegador *web*, o Player Tangível conta também com uma interface física (Figura 5(a)) cuja interação do aluno reflete na sua respectiva interface digital (Figura 5(b)).



**Figura 5. Interfaces do Player Tangível**

Foi implementado um Objeto Tangível de Aprendizagem (OTA) de um quadro trigonométrico. Um quadro trigonométrico é uma ferramenta visual que apresenta as relações entre os ângulos e os valores das funções trigonométricas (seno, cosseno, tangente, cotangente, secante e cossecante). Esses quadros geralmente incluem valores para ângulos comuns, como  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $90^\circ$ , e suas respectivas funções trigonométricas. Assim, a Figura 6 destaca a ‘entidade física’ integrada à sua respectiva contraparte digital através do *Gateway*, de modo que o *proxy digital* corresponde ao que o estudante enxerga na interface digital do objeto tangível. Ademais, na entidade física, nota-se os componentes ‘Dispositivos’, ‘Gateway’ e ‘Recursos’ do modelo proposto na Figura 2(b). Além disso, o componente ‘Serviços’ serve de ponte para as interfaces física e digital de modo que as entradas correspondentes e o conteúdo educacional sejam acessados.



**Figura 6. Arquitetura do Player Tangível**

#### 4.4. Analíticos

O módulo *Analíticos* utiliza os dados de interação dos estudantes com o ambiente de aprendizagem para calcular métricas tanto para avaliar e acompanhar a aprendizagem quanto para gerar análises de dificuldades e necessidades dos estudantes. Desse modo, este trabalho propõe a adoção de oito métricas para medir a interação do estudante com o material didático e o seu desempenho em atividades educacionais. Ademais, algumas das métricas utilizadas foram baseadas no trabalho de [Biswas e Ghosh 2007], enquanto outras seguem o método tradicional de cálculo, considerando apenas acertos e erros.

**Tabela 1. Métricas Independentes**

Métrica	Equação	Legenda
<b>Nota Tradicional (NT)</b>	$NT = 10 \cdot \frac{rc}{n}$	rc: respostas corretas n: total de questões
<b>Nota Ponderada (NP)</b>	$NP = 10 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{ppm}$	$p_i$ : peso da questão ppm: pontuação máxima ponderada
<b>Dúvida da Questão (DQ)</b>	$DQ = \sum_{i=1}^{m-1} 1, m \geq 0$	m: total de marcações na resposta
<b>Assertividade (A)</b>	$A = \frac{rc}{\sum_{i=1}^n m_i}$	-
<b>Tempo de Resposta (TR)</b>	Tempo gasto em segundos para resolver uma questão	-

Estas métricas podem ser divididas em duas partes: (i) cinco métricas independentes (Tabela 1); e (ii) três métricas baseadas na composição de outras métricas (Tabela 2), de modo que mais detalhes podem ser conferidos no trabalho original de [Leitão 2023]. Além disso, foram gerados diagramas BPMN para conduzir a definição dos diversos parâmetros das métricas, associando-as aos casos de teste dos objetos tangíveis. Para isso, também foi implementada uma interface baseada em *Blockly* que converte os parâmetros para a linguagem *Python* para que sejam executados por Analíticos.

**Tabela 2. Métricas Compostas.**

Métrica	Equação	Legenda
Prioridade (P)	$P = (10 - NT) \cdot \frac{NP}{10}$	-
Nível de Compreensão da Questão (NCQ)	$NCQ = \begin{cases} \frac{NEC}{Max}, & TR \leq t/4 \\ \frac{NEC}{Max}, & t/4 < TR \leq t \\ \frac{NEC}{Max + (\frac{TR-t}{t})}, & TR > t \end{cases}$	NEC: Nível Efetivo de Compreensão Max: Nível Máximo de Compreensão
Nível de Compreensão do Questionário (NC)	$NC = \frac{\sum_{i=1}^n NCQ_i}{n + (1-A)}$	-

## 5. Experimentos e Resultados

O estudo experimental contou com a participação de 21 estudantes do 1º ano do Curso Técnico Integrado em Programação de Jogos Digitais, divididos em dois grupos de forma aleatória, onde 12 sujeitos estavam no Grupo Tradicional e 9 no Grupo OTA. É importante ressaltar que ambos os grupos não tiveram contato prévio com o conteúdo específico do objeto do experimento uma vez que é um conteúdo ministrado somente em anos posteriores.

Além disso, o planejamento do experimento foi aprovado pelos comitês de ética das entidades participantes, de modo que o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) n. 51513221.9.0000.5020 foi aprovado sob o parecer n. 4.981.458 e o CAAE n. 51513221.9.3001.8119 foi aprovado sob o parecer n. 5.264.862.

### 5.1. Descrição do Experimento

O estudo experimental foi dividido em quatro etapas, com enfoque na introdução dos conceitos e na aplicação prática utilizando o objeto tangível de aprendizagem (OTA): **Etapa 1: Introdução à Trigonometria** - Na primeira fase, os alunos receberam uma aula de introdução teórica à trigonometria, abrangendo conceitos básicos como ângulos, radianos, seno, cosseno e tangente. A aula foi ministrada de forma expositiva, com a utilização de slides e exercícios práticos no quadro branco. Esta fase teve como objetivo garantir que todos os alunos possuíssem um entendimento básico dos conceitos antes de utilizarem o objeto tangível. **Etapa 2: Pré-teste** - Exame avaliativo inicial aplicado a todos os estudantes para medir o conhecimento prévio dos conceitos trigonométricos.

**Etapa 3: Estudo do Quadro Trigonométrico** - Nesta etapa, cada grupo executou um procedimento distinto, de modo que o **Grupo Tradicional** recebeu uma aula com atividade de fixação tradicional, praticando exercícios de identificação e cálculo de valores de seno, cosseno e tangente de diferentes ângulos utilizando papel, caneta e um

transferidor comum. Por outro lado, o **Grupo OTA** recebeu uma aula com um Objeto Tangível de Aprendizagem (OTA) e um formulário de experiência do usuário sobre o uso do OTA, de modo que utilizaram a Interface Virtual, Figura 5(b), para responder às questões solicitadas e receber *feedbacks* sobre a sua exatidão, e a Interface Física (Figura 5(a)) para manipular o ponteiro físico e observar as variações dos valores de seno e cosseno conforme o movimento do ponteiro. O objetivo era permitir uma compreensão prática e interativa dos conceitos trigonométricos.

**Etapa 4: Avaliação e Feedback** - Após a prática com o objeto tangível, os alunos realizaram uma prova (Pós-teste) para avaliar a compreensão dos conceitos. Além disso, preencheram um formulário de *feedback* sobre a experiência de aprendizado com o objeto tangível.

## 5.2. Exercícios Aplicados

Os exercícios aplicados foram fundamentais para medir a eficácia dos métodos de ensino. Foram utilizados exercícios específicos para cada função trigonométrica, conforme descrito a seguir: (1) **Exercício - Ângulo** - Atividade de fixação onde os alunos completaram tabelas indicando intervalos de variação de cada quadrante e marcaram pontos no círculo trigonométrico utilizando um transferidor; (2) **Exercício - Seno** - Os alunos manipularam o ponteiro físico para identificar valores de seno correspondentes a diferentes ângulos. Este exercício permitiu observar as variações do seno conforme o movimento do ponteiro e responder a questões baseadas nessas observações; (3) **Exercício - Cosseno** - Similar ao exercício do seno, os alunos manipularam o ponteiro físico para identificar valores de cosseno de diferentes ângulos. A atividade incluía questões sobre a relação entre o ângulo e o valor do cosseno; e (4) **Exercício - Tangente** - Os alunos calcularam valores de tangente para ângulos específicos e usaram o ponteiro físico para encontrar ângulos que satisfizessem sentenças apresentadas nos enunciados dos casos de teste.

## 5.3. Análise dos Resultados

Os resultados mostraram uma melhoria significativa na compreensão dos conceitos trigonométricos ao utilizar o objeto tangível. A média das notas e o tempo de resposta foram comparados entre os métodos tradicional e tangível, destacando a eficácia do objeto tangível. Para avaliar a eficácia do Objeto Tangível de Aprendizagem (OTA), foram aplicadas as oito métricas da Tabela 1 e Tabela 2. A análise estatística focou em comparar o desempenho dos alunos utilizando o OTA com o método tradicional de ensino. As Tabelas 3, 5, 4 e 6 resumem os resultados quantitativos das análises estatísticas: Os resultados evidenciam que o uso do OTA proporcionou uma melhoria significativa no desempenho e na compreensão dos alunos em relação aos métodos tradicionais de ensino. As métricas utilizadas forneceram uma análise detalhada do impacto do OTA no processo de ensino-aprendizagem, destacando sua eficácia em promover um aprendizado mais interativo e engajado.

## 5.4. Feedback dos Alunos

Os estudantes do Grupo Tradicional preencheram um formulário de experiência do usuário sobre o uso do OTA. As respostas indicaram percepções positivas quanto à interação com o objeto tangível, destacando a facilidade de entendimento e a interatividade proporcionada pelo OTA. O formulário foi baseado no Modelo de Aceitação de

Métrica	Grupo OTA (Média ± DP)	Grupo Tradicional (Média ± DP)
Nota Tradicional (NT)	0.674 ± 0.196	0.583 ± 0.298
Nota Ponderada (NP)	0.774 ± 0.149	0.711 ± 0.223
Grau de Assertividade (GA)	0.603 ± 0.206	0.454 ± 0.269
Tempo de Resposta (TR)	1321.778 ± 393.884 segundos	1402.167 ± 732.677 segundos
Nível de Compreensão da Questão (NCQ)	0.644 ± 0.132	0.620 ± 0.183

**Tabela 3. Resultados Quantitativos das Métricas Utilizadas**

Tecnologia (TAM3) [Venkatesh e Bala 2008], que avalia três aspectos principais: Utilidade Percebida (UP), Satisfação Percebida (SP) e Intenção de Uso (IU).

**Utilidade Percebida** - Os itens avaliados no aspecto de Utilidade Percebida, e suas respectivas médias e percentuais de aceitação estão detalhados na Tabela 4. Observou-se que a média da opinião dos participantes em todos os itens foi acima de 6.78, com o item UP4 atingindo 100% de aceitação, indicando que os alunos consideraram o OTA extremamente útil para o processo de ensino-aprendizagem.

Utilidade Percebida	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
UP1	6.89	98.41%
UP2	6.89	98.41%
UP3	6.78	96.83%
UP4	7.00	100.00%

**Tabela 4. Utilidade Percebida**

**Satisfação Percebida** - A Satisfação Percebida, veja a Tabela 5, foi medida por três itens, com os itens SP1 e SP2 recebendo a mesma média (6.67) e percentual de aceitação (95.24%). Isso mostra que os alunos acharam o uso do OTA agradável e prazeroso. O item SP3, que mede o quanto divertido foi estudar com o OTA, obteve uma média de 6.22, correspondendo a 88.89% de aceitação.

Satisfação Percebida	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
SP1	6.67	95.24%
SP2	6.67	95.24%
SP3	6.22	88.89%

**Tabela 5. Satisfação Percebida**

**Intenção de Uso** - A Intenção de Uso, veja a Tabela 6, futura do OTA foi avaliada por três itens. As afirmações IU1 e IU2, que verificam a intenção de uso do OTA caso os alunos tivessem acesso a ele, obtiveram médias de 6.67 e 6.78, respectivamente. O item IU3, que indaga sobre a intenção de uso no próximo mês, teve uma média de 6.33, indicando um alto percentual de aceitação, apesar da incerteza sobre o acesso ao OTA. Os participantes também responderam a perguntas abertas sobre suas percepções e experiências com o OTA. Alguns dos principais comentários incluem:

- Conforto e Facilidade de Uso:** (i) “Sim, achei uma experiência muito confortável e muito útil”; (ii) “Sim porque ele é bem fácil de ser usado”; e (iii) “Sim, pois é muito mais divertido estudar com OTA”.
- Auxílio na Aprendizagem:** (i) “Sim, porque ajudou bastante na minha aprendizagem”; (ii) “Eu me senti à vontade porque o OTA melhorou muito meu entendimento”.

*mento do assunto”; e. (iii) “Senti, pois usar OTA ajuda muito com os ângulos e mantém entretido por horas e horas”.*

Intenção de Uso	Média da opinião dos participantes	Percentual de aceitação
IU1	6.67	95.24%
IU2	6.78	96.83%
IU3	6.33	90.48%

**Tabela 6. Intenção de Uso**

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou e discutiu um modelo de educação apoiada por tecnologia com foco na criação e utilização de objetos tangíveis de aprendizagem, além de novas métricas de avaliação da aprendizagem. Assim, foi apresentado um método para integração de objetos tangíveis, ambientes digitais de aprendizagem e métricas de acompanhamento e avaliação da aprendizagem de forma a possibilitar que uma plataforma digital de aprendizagem contenha, simultaneamente, objetos de aprendizagem tradicionais e tangíveis.

É importante salientar que, a inserção de tecnologia tal como aqui é proposta pretende auxiliar no caminho rumo a uma educação que utilize os recursos computacionais como meio para construção do conhecimento, onde a tecnologia não é uma simples ferramenta de reprodução/transmissão de conteúdos, mas, um meio de interpelar o estudante e instigá-lo na busca pelo conhecimento. Desse modo, acredita-se que as principais contribuições deste trabalho foram o estabelecimento de: (1) *um modelo referencial para objetos tangíveis*, (2) *um modelo de processos para criação e integração de objetos tangíveis a plataformas educacionais*, (3) *modelo de comunicação entre as entidades física e digital*, (4) *métricas para acompanhamento da aprendizagem através de objetos tangíveis e*, (5) *modelo de processos para aplicação das métricas propostas*.

Por fim, a inserção de recursos computacionais nos processos de educação é apenas o ponto de partida para uma revolução nas metodologias de ensino e, principalmente, do acompanhamento da aprendizagem dos estudantes. Assim, uma série de trabalhos futuros podem explorar não somente a construção e integração de novos objetos tangíveis e o modo de registrar as interações dos estudantes, mas, também a automatização das análises, diagnósticos e recomendações cujos dados são provenientes desses objetos.

## 7. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES-PROEX) - Código de Financiamento 001. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM – por meio do projeto POSGRAD 2024/2025.

## Referências

- Almeida, M. E. B. (2000). *ProInfo: Informática e formação de professores*. Ministério da Educação, Secretaria de Educação a Distância.
- Almeida, T. (2018). *Como a Educação 4.0 mudará nossas escolas?* Inoveduc.

- Biswas, P. e Ghosh, S. (2007). A novel approach to define performance metrics for students' and teachers' evaluation. *Electronic Journal of e-Learning*, 5(2):87–102.
- Developers, G. (2022). Introduction to Blockly. <https://developers.google.com/blockly/guides/overview>. Acesso 08 de Maio de 2024.
- Dewey, J. (1971). Experiência e educação.(1938). Trad. Antônio Teixeira. São Paulo: Cia Editora Nacional.
- Freire, P. e Papert, S. (1996). Diálogos impertinentes: o futuro da escola. São Paulo: TV PUC.
- Gluz, J., Passerino, L., Preuss, E., Baierle, I. L. F., e Cimadevila, M. (2018). Ambiente virtual tangível para integração sensorial no ensino de ciências numa perspectiva inclusiva. In *Simp. Bras. de Informática na Educação-SBIE*, volume 29, page 545.
- Guterres, J. P. D. e Moraes, S. M. W. (2014). Fábrica de objetos: Uma plataforma para construção de objetos de aprendizagem focada na usabilidade. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*, volume 25, page 516.
- Ha, O. e Fang, N. (2018). Interactive virtual and physical manipulatives for improving students' spatial skills. *Journal of Educational Computing Research*, 55(8):1088–1110.
- Imamura, R. E. e Baranauskas, M. C. (2018). Criando uma experiência de leitura colaborativa de histórias fictícias físico-virtuais com realidade aumentada. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*, volume 29, page 31.
- Ishii, H. e Ullmer, B. (1997). Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *ACM Conf. on Human factors in computing systems*, pages 234–241.
- Leitão, G. (2017). *Uma plataforma de suporte ao docente no contexto da Educação Digital*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas.
- Leitão, G. (2023). *Um método baseado em objetos tangíveis para verificação da aprendizagem*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas.
- Lima, I., Castro, T., Dantas, A., e Siqueira, M. (2016). Processo de design colaborativo de artefatos tangíveis para crianças. In *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 1408–1422. SBC.
- Lucena, K., Silva, J., e Oliveira, E. (2015). Webmonitor: uma ferramenta para monitoramento e acompanhamento de cursos em um ava. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, volume 26, page 249.
- Nogueira, C. M. M. e Nogueira, M. A. (2013). *Bourdieu & a educação*. Autêntica.
- Nunes, I., Silva, W. M., Laisa, J., Ugulino, F., e Lucena, M. (2016). Learning analytics como ferramenta para a análise do desempenho dos alunos em cursos semipresenciais. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, volume 27, page 280.
- Passos, O., Souza, M., Silva, M., e Santos, R. (2010). Transformando um Editor de Apresentação em uma Ferramenta de Autoria: Uma Experiência com os Professores de Escolas Públicas do Município de Itacoatiara (AM). In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 61–64.

- Salehi, S., Schneider, B., e Blikstein, P. (2014). The effects of physical and virtual manipulatives on learning basic concepts in electronics. In *Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '14, pages 2263–2268. ACM.
- Sales, G., de Albuquerque, M. C., Paz, R. P., e Leite, E. A. (2019). Modelo learning vectors na avaliação formativa no ava moodle: de emoticons a gifs animados. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, pages 64–76.
- Sales, G. L., Barroso, G. C., e Soares, J. M. (2012). Learning vectors (lv): Um modelo de avaliação processual com mensuração não-linear da aprendizagem em ead online. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 20(1):60.
- Serbanati, A., Medaglia, C. M., e Ceipidor, U. B. (2011). Building blocks of the internet of things: State of the art and beyond. In *Deploying RFID-Challenges, Solutions, and Open Issues*. IntechOpen.
- Ullmer, B. e Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM systems journal*, 39(3.4):915–931.
- Venkatesh, V. e Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, 39(2):273–315.
- Vicari, R. M., Gluz, J. C., Santos, E. R., Primo, T. T., Rossi, L., Bordignon, A., Behar, P., Passerino, L., Filho, R., e Roesler, V. (2009). Proposta de Padrão para Metadados de Objetos de Aprendizagem Multiplataforma. Projeto OBAA. Technical report, UFRGS.
- Vygotsky, L. S. (1998). *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- Zacharia, Z. C. e Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3):317 – 331.
- Zuckerman, O., Arida, S., e Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 859–868.