

# Arquitetura e Implementação de um Jogo Educacional para Ensino de Geometria com o Uso de um Controle Inercial

Alauan Travain Darwich da  
Rocha  
alauantdr@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Artur Frederico Heiber  
arturfedericoheiber@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Douglas Lopes Maltezo Saiter  
douglaslmsaiter@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Gabriela Guse Machado  
gabriela\_guse@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Lucas Gabriel Barcaro  
lucasbarcaro@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Pedro Santos Pozza  
pedrospozza@gmail.com  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Anelize Zomkowsky Salvi  
anelize.salvi@ufsc.br  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

Benjamin Grando Moreira  
benjamin.grando@ufsc.br  
Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC  
Joinville, Santa Catarina, Brasil

## ABSTRACT

This paper describes the design and implementation of an interactive system that integrates a motion-sensitive embedded controller with a 2D game engine. The solution is based on an ESP32 microcontroller and an MPU6050 inertial sensor, using a real-time, task-oriented firmware architecture and Bluetooth communication. Orientation data are mapped to screen coordinates through linear transformations and processed by geometric algorithms for collision detection and shape manipulation in a Python/Pygame application. System-level tests indicate adequate responsiveness, stability, and precision, supporting the feasibility of the proposed low-cost architecture for gesture-based human-computer interaction experiments.

## KEYWORDS

Educational game, Embodied learning, Geometry teaching.

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de matemática no Brasil ainda enfrenta grandes desafios. Uma parcela significativa dos estudantes apresenta dificuldades ao longo de sua trajetória escolar, especialmente no aprendizado da matemática, o que contribui para altos índices de reprovação, abandono e evasão [1, 2]. No cenário atual, destaca-se a urgência por metodologias pedagógicas mais atraentes, dinâmicas e tecnológicas, que consigam estimular o engajamento dos alunos e facilitar a construção do conhecimento de forma significativa [3].

Entre as diversas áreas da matemática, a geometria se destaca por sua contribuição no desenvolvimento do raciocínio espacial, da abstração matemática e da manipulação de imagens mentais [4]. Frente a esses desafios, surgem como solução os jogos digitais educativos, que têm se mostrado ferramentas eficazes para facilitar o ensino de conteúdos complexos. Projetos como o Geo+ e o GeoVAR,

que utilizam realidade aumentada, demonstram que a visualização concreta de formas geométricas aumenta a retenção do conteúdo e o interesse dos alunos [5, 6].

Este trabalho apresenta um jogo digital que integra narrativa lúdica, interação física via sensores de movimento e conteúdo pedagógico para o ensino de geometria no ensino fundamental. Tal abordagem explora o envolvimento corporal no processo de aprendizagem como estratégia para promover maior engajamento, compreensão conceitual e memorização de longo prazo [7–10]. O jogo, denominado *Shaolin Shapes*, é voltado para crianças de 8 a 12 anos e apresenta os conceitos de geometria por meio de fases progressivas, cada uma contendo uma situação-problema contextualizada, uma explicação do conteúdo matemático e desafios interativos que testam a compreensão do jogador. O foco está na classificação de figuras geométricas planas com base em suas propriedades.

Um diferencial da proposta é a criação de um controle físico próprio, construído com um ESP32 e um sensor MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio. O controle capta os movimentos do jogador e se comunica com o jogo via Bluetooth. Essa integração entre hardware e software busca tornar a experiência mais envolvente.

O objetivo deste artigo está em apresentar a proposta do jogo educacional desenvolvido, mas principalmente os aspectos de seu desenvolvimento. Este artigo está estruturado de forma a permitir uma compreensão progressiva da proposta desenvolvida. A Seção 2 apresenta e técnicas empregadas na solução proposta. A Seção 3 discute os trabalhos relacionados ao uso de jogos digitais no ensino de geometria, oferecendo uma análise crítica das soluções existentes, destacando semelhanças, diferenças, vantagens, limitações e possíveis lacunas no estado da arte. A Seção 4 descreve a proposta do *Shaolin Shapes*, detalhando a solução desenvolvida em termos de arquitetura, lógica educacional e técnicas adotadas para promover a aprendizagem de maneira engajante. A Seção 5 trata da avaliação experimental da proposta, descrevendo os recursos empregados, o

planejamento metodológico, o perfil dos participantes e o procedimento seguido, de forma que o estudo possa ser reproduzido. A Seção 6 apresenta os resultados obtidos, analisando os dados coletados, apontando padrões de desempenho, limitações observadas e implicações pedagógicas. Por fim, a Seção 7 traz as conclusões, oferecendo um panorama das principais contribuições do projeto, discutindo sua aplicabilidade no ensino da geometria e apontando caminhos para investigações futuras.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino de matemática no Brasil ainda representa um dos principais desafios do contexto educacional contemporâneo. De acordo com [8], o processo de ensino-aprendizagem nessa área sofre com a carência de metodologias atrativas que despertem o interesse dos estudantes e favoreçam a construção significativa do conhecimento. A *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC) enfatiza a importância da adoção de estratégias inovadoras que promovam a aprendizagem ativa e contextualizada, especialmente no ensino fundamental, fase crucial para a introdução dos conceitos básicos da geometria [3].

### 2.1 Jogos Digitais e Aprendizagem Significativa

Nos últimos anos, os *jogos digitais educacionais* têm se consolidado como ferramentas eficazes para o ensino de conteúdos complexos, ao combinarem ludicidade, interatividade e feedback imediato. Conforme destacado por [9], a aprendizagem baseada em jogos (*Game-Based Learning*) estimula o desenvolvimento cognitivo e emocional dos estudantes, proporcionando uma relação positiva com o erro e o desafio.

De acordo com [7], o uso de jogos em ambientes escolares contribui para o desenvolvimento de habilidades como resolução de problemas, raciocínio lógico e coordenação motora. Complementarmente, [11] ressalta que o design de jogos educacionais deve integrar elementos narrativos e mecânicos capazes de manter o jogador em estado de fluxo, assegurando que o aprendizado ocorra de maneira natural durante a interação.

### 2.2 Geometria e Representações Espaciais

A geometria desempenha um papel central na formação do pensamento lógico e na compreensão de fenômenos espaciais e tecnológicos. Segundo [4], a aprendizagem de geometria está diretamente relacionada ao desenvolvimento da capacidade de abstração e da visualização mental de formas. Entretanto, estudos apontam que alunos enfrentam dificuldades para representar e manipular objetos tridimensionais, o que resulta em baixo desempenho escolar [1].

Nesse contexto, a adoção de recursos digitais e imersivos, como *realidade aumentada (AR)* e *jogos interativos*, tem mostrado resultados promissores. Experimentos conduzidos por [6] e [5] evidenciam que o uso dessas tecnologias potencializa a compreensão conceitual e aumenta o engajamento dos alunos ao permitir a exploração concreta das formas geométricas.

### 2.3 Interfaces Físicas e Aprendizagem Corporificada

O uso de *interfaces físicas* e sensores de movimento no contexto educacional amplia as possibilidades da interação humano-computador e reforça o conceito de *aprendizagem corporificada*. De

acordo com [12], a incorporação do corpo como instrumento de aprendizagem — conhecida como *embodied learning* — potencializa a memorização e o engajamento dos alunos, associando experiências motoras a conceitos abstratos.

Tecnologias como o microcontrolador ESP32 e o sensor inercial MPU6050 permitem o desenvolvimento de dispositivos sensíveis a gestos, criando experiências imersivas e significativas para o ensino. [13] e [14] destacam que a modularidade e a responsividade são princípios essenciais para sistemas embarcados aplicados à educação, garantindo confiabilidade e precisão durante o uso.

A proposta do jogo *Shaolin Shapes* demonstra como a integração entre hardware e software pode transformar a aprendizagem de geometria em uma experiência ativa e corporalmente envolvente, reforçando a importância da ação e da experimentação no processo educativo.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

No ensino de geometria, jogos educativos têm-se mostrado ferramentas eficazes para facilitar a compreensão de conceitos abstratos, sendo comum a abordagem com realidade aumentada ou jogos digitais. Um exemplo é o Geo+, um jogo desenvolvido para crianças do ensino fundamental com o objetivo de ensinar geometria espacial por meio da realidade aumentada. Em um estudo com 96 participantes, o uso do Geo+ resultou em um reforço significativo do conteúdo, além de aumentar o interesse dos alunos, ao permitir a visualização concreta dos sólidos geométricos [5].

Outro exemplo é o trabalho de [6], que propõe um jogo educacional utilizando realidade aumentada virtual (VAR) voltado ao ensino de geometria no ensino superior. O jogo foi desenvolvido com base no modelo ADDIE e incorporou questionários durante a experiência de jogo. A validação feita por especialistas indicou que tanto o conteúdo quanto a interface do jogo são adequados ao contexto educacional, sugerindo seu potencial para o mercado educacional.

Em [15], é proposto um jogo de plataforma estruturado em fases, no qual os conceitos geométricos de um determinado tópico são apresentados e reforçados por meio de questionários durante a jogabilidade. A avaliação do impacto educacional foi realizada por meio de testes aplicados antes e depois da interação com o jogo. Os resultados apontaram um aumento na média de desempenho dos estudantes, evidenciando a contribuição positiva da proposta para o processo de aprendizagem.

## 4 PROPOSTA

A proposta deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma solução interativa voltada para o ensino de conceitos de geometria plana, utilizando um sistema composto por dois elementos principais: um controle físico sensível ao movimento, baseado em sensores inerciais, e um jogo digital estruturado em fases progressivas que introduzem e reforçam conteúdos matemáticos. A interação do jogador com o jogo ocorre por meio de gestos, que são captados, processados e convertidos em comandos no jogo.

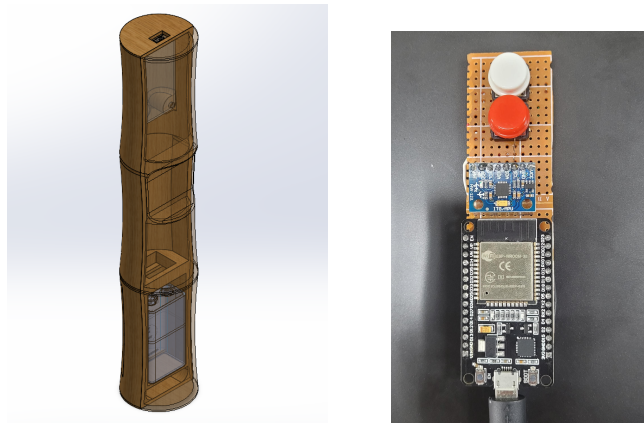
A arquitetura do sistema é composta por dois subsistemas interdependentes:

- **Software de alto nível**, responsável pela lógica do jogo, estrutura das fases e interação visual com o jogador;

- **Software de baixo nível e hardware**, encarregado da captação dos movimentos do jogador, controle de entradas físicas e comunicação com o jogo<sup>1</sup>.

#### 4.1 Controle Físico e Captação de Movimento

O design físico do controle foi elaborado considerando a temática do jogo, sendo o protagonista um mestre de Kung Fu. Para isso, o controle foi concebido com o formato de um bastão de bambu, conforme mostrado na Figura 1a. A modelagem interna do controle foi feita com o objetivo de comportar todos os componentes eletrônicos (Figura 1b) de forma segura e funcional. O espaço interno foi organizado para facilitar a alocação da placa de circuito impresso e da bateria.



(a) Projeto CAD do controle com corte para visão interna

(b) Circuito do controle (ESP32, MPU6050 e botões)

Figura 1: Detalhes do controle físico desenvolvido

O controle físico foi projetado de forma ergonômica, permitindo o uso com uma única mão. A captura dos movimentos ocorre por meio de um sensor inercial (IMU), capaz de fornecer os ângulos de orientação do dispositivo: arfagem (pitch), guinada (yaw) e rolamento (roll). A Figura 2 ilustra a direção do vetor longitudinal, base para o cálculo desses ângulos, enquanto a Figura 3 exibe uma visualização de arfagem e guinada.

A calibração dos ângulos para coordenadas de tela é feita inicialmente por meio de dois pontos de referência. O usuário aponta o controle para dois círculos nas extremidades da tela e pressiona um botão, capturando os ângulos correspondentes. A partir desses valores, define-se a interpolação linear mostrada na Equação (1):

$$f(\theta, \psi) = (x, y) = (a_x \psi + b_x, a_y \theta + b_y) \quad (1)$$

com os coeficientes calculados pelas Equações 2 e 3 (mostradas apenas mais adiante - seção 5.3), permitindo converter movimentos físicos em coordenadas de tela.

#### 4.2 Estrutura e Algoritmos

O software de baixo nível foi estruturado em três módulos principais, denominados: inicialização; tratamento de botões; e leitura do sensor inercial. Os módulos organizam o comportamento em tarefas

<sup>1</sup>O controle desenvolvido é similar ao Wii Remote - controle do Console Nintendo Wii.

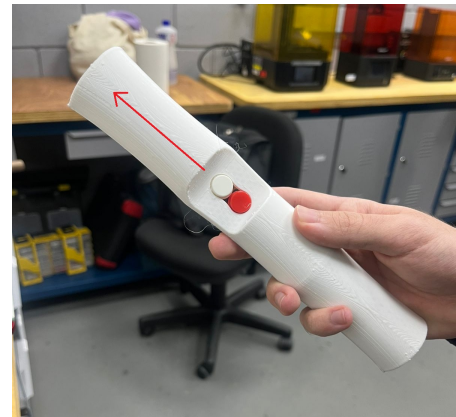


Figura 2: Direção do vetor longitudinal

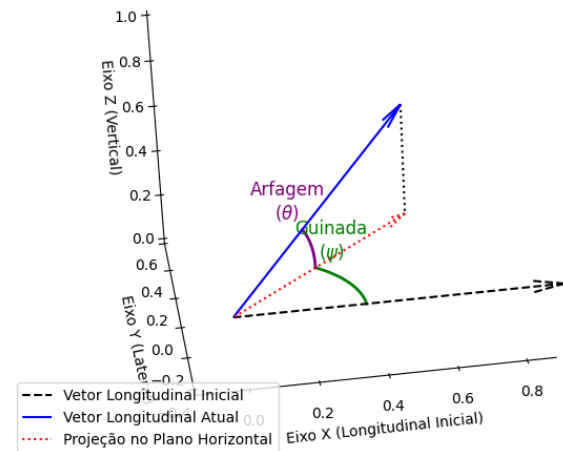


Figura 3: Visualização da arfagem e guinada

independentes, executadas sob um sistema de escalonamento em tempo real. Essa divisão visa garantir resposta rápida aos eventos e facilitar a manutenção do código. Segundo [14], tal prática promove a coesão e divisão de responsabilidades, características intrínsecas em desenvolvimentos direcionados e sistemas embarcados.

O **processo de inicialização** é descrito no Algoritmo 1, que mostra como os periféricos são configurados, as tarefas criadas e a comunicação com o jogo estabelecida. Uma das tarefas principais é `bt_listener`, que monitora a conexão Bluetooth e ativa o motor de vibração conforme o comando recebido, além de reiniciar o processo em caso de inatividade. Além disso, ela vigia o estado da comunicação com uma política de timeout, prevenindo travamentos em caso de perda de comunicação. Esse tipo de controle temporal é essencial em sistemas embarcados, conforme abordado por [13], onde o tempo não é apenas uma variável, mas uma dimensão funcional do sistema.

A **Leitura de Botões com Debounce** (Algoritmo 2) implementa lógica de tratamento de botões físicos com foco em resposta determinística e tratamento de ruído. Utiliza-se interrupções para

**Algoritmo 1:** Inicialização e Gerenciamento de Tarefas

```

1 Função setup():
2   Configurar GPIOs;
3   Iniciar comunicação Bluetooth (SerialBT);
4   add_button();
5   add_mpu();
6   Criar tarefa bt_listener();
7   Criar tarefa wait_for_question_mark();

8 Função loop():
9   Alternar LED no GPIO 2;
10  delay(tempo_curto);

11 Tarefa bt_listener():
12  while true do
13    if receber dado via Bluetooth then
14      if dado == 2 then
15        Atualizar timestamp da última comunicação;
16        Ativar motor de vibração;
17      else
18        Processar outro comando recebido;
19    if tempo desde último byte 2 > 2 segundos then
20      Reiniciar processo de conexão;
21      Voltar a aguardar caractere "?";

22 Função mpu_callback(yaw, pitch, roll):
23  Enviar dados via SerialBT;

24 Tarefa wait_for_question_mark():
25  while caractere recebido ≠ "?" do
26    Aguardar;
27  Iniciar comunicação definitiva;

```

capturar eventos com latência mínima (bt\_isr\_handler) e uma tarefa separada para aplicar debounce via software (bt\_dbounce). A estrutura de callback implementada permite que o comportamento associado a eventos de pressionamento e soltura seja configurado dinamicamente, promovendo reutilização e flexibilidade.

Para a **Leitura do Sensor Inercial** (Algoritmo 3), é realizada a aquisição de dados do sensor MPU6050. O sensor MPU6050 é inicializado e seus dados são tratados através da biblioteca MPU6050\_6Axis\_MotionApps612, que utiliza o DMP (Digital Motion Processor) interno para realizar o pré-processamento dos dados de movimento. A tarefa mpuTask é responsável pela leitura dos dados e cálculo dos valores de roll, pitch e yaw, enviando-os ao sistema via callback. A calibração do dispositivo é realizada manualmente a fim de evitar variações nos dados entre as inicializações

Para o desenvolvimento, as seguintes tecnologias foram utilizadas:

- **Linguagens de Programação:**
  - Python 3.x: Para o desenvolvimento do software de alto nível (jogo).
  - C++: Utilizado no desenvolvimento do firmware para o ESP32, sobre o framework Arduino.
- **Plataforma Embarcada e Hardware:**

**Algoritmo 2:** Configuração e Tratamento de Botões

```

1 Função add_button(pino, rise_callback, fall_callback):
2   Configurar pino como entrada com interrupção;
3   Associar bt_isr_handler ao pino;

4 Função bt_isr_handler():
5   Desabilitar interrupção no pino;
6   Criar tarefa bt_dbounce(pino, rise_callback,
   fall_callback);

7 Tarefa bt_dbounce(pino, rise_callback, fall_callback):
8   Aguardar tempo de debounce;
9   estado ← Ler estado do botão;
10  if estado == pressionado then
11    fall_callback();
12  else
13    rise_callback();
14  Reabilitar interrupção no pino;

```

**Algoritmo 3:** Processamento de Dados do Sensor MPU6050

```

1 Função add_mpu(data_ready_callback):
2   Inicializar sensor MPU6050 com biblioteca DMP;
3   Configurar offsets do giroscópio;
4   Criar tarefa mpuTask(data_ready_callback);

5 Tarefa mpuTask(callback):
6   while true do
7     if novos dados disponíveis no FIFO do MPU6050 then
8       Ler dados brutos;
9       Calcular yaw, pitch e roll;
10      callback(yaw, pitch, roll);
11      delay(tempo_de_amostragem);

```

- Microcontrolador ESP32.
- Sensor de Movimento MPU6050 (IMU de 6 eixos).
- Botões de pressão (push-buttons).

• **Bibliotecas e Frameworks:**

- *Python*: Pygame (interface gráfica e lógica do jogo), Pyserial (comunicação Bluetooth).
- *C++/ESP32*: Arduino framework, BluetoothSerial.h (Bluetooth Clássico), Wire.h (comunicação I2C), biblioteca MPU6050 (MPU6050\_6Axis\_MotionApps612.h), FreeRTOS (para gerenciamento de tarefas no ESP32).

### 4.3 Lógica do Jogo e Progressão Pedagógica

O jogo digital é estruturado em fases que introduzem conceitos específicos da geometria plana. A narrativa continua, promove o engajamento e reforça os conceitos matemáticos explorados. As formas geométricas lançadas no cenário descrevem trajetórias curvas, simulando lançamentos oblíquos.

O progresso do jogador é representado em um menu com estrutura visual sequencial, que permite acompanhar a evolução de forma clara. A jogabilidade é ajustada para não penalizar erros por omissão, promovendo a aprendizagem sem foco nas penalidades,

por esse motivo também depois que um número de formas erradas são cortadas ao invés de penalizar o jogador ele apenas é redirecionado para o tutorial para lembrar os conceitos matemáticos necessários para a fase.

À medida que o jogador avança, novos conteúdos, com complexidade crescente, são introduzidos. No total, o jogo é composto por cinco fases e um tutorial, com foco nos seguintes tópicos: (1) Tutorial: apresentar o mundo ao jogador, e a mecânica de jogo; (2) Classificação de triângulos: equiláteros, isósceles, escalenos e retângulos; (3) Identificação dos tipos de ângulos internos: agudo, reto e obtuso; (4) Análise do número de arestas de uma figura geométrica com base na quantidade de lados; (5) Reconhecimento de simetria ou assimetria nas formas geométricas; (6) Diferenciação entre formas geométricas côncavas e convexas.

## 5 ASPECTOS TÉCNICOS DO DESENVOLVIMENTO

Para realização do projeto, alguns conhecimentos e técnicas se destacam, como a comunicação Bluetooth, processamento assíncrono de processos e também o conhecimento em Álgebra Linear.

### 5.1 Comunicação I<sup>2</sup>C e Bluetooth®

A aquisição de dados do giroscópio é feita através da comunicação I<sup>2</sup>C: um protocolo de comunicação serial síncrona utilizado geralmente para a comunicação de curta distância entre componentes. O I<sup>2</sup>C utiliza apenas duas linhas em um modelo mestre-escravo:

- SDA (Serial Data Line): Linha de dados, por onde os dados são transmitidos e recebidos.
- SCL (Serial Clock Line): Linha de clock, que sincroniza a transmissão de dados entre os dispositivos.

As principais vantagens são a simplicidade, a ampla utilização e a presença de bibliotecas de código aberto para facilitar a implementação.

Outro padrão utilizado é o Bluetooth® Clássico, que cria uma comunicação serial sem fio entre o controle e o computador para o envio dos eventos (clique de botões e dados do giroscópio). Apesar de possuir um consumo de bateria mais expressivo que o Bluetooth® LE (Low Energy), a implementação se provou mais simples.

### 5.2 Processamento Assíncrono

Tanto o controle quanto o jogo em si exigiram técnicas de processamento assíncrono visando a performance da comunicação.

**5.2.1 Baixo Nível.** No software de baixo nível, o processamento assíncrono está na forma de tarefas no *freeRTOS*, que é um sistema operacional de tempo real de código aberto. As principais tarefas utilizadas foram:

- *mpuTask* (periódica): *polling* de dados do giroscópio.
- *bt\_listener* (periódica): ouvir comunicação Bluetooth para ligar motor e para detectar se a conexão foi perdida.
- *bt\_dbounce* (aperiódica): eliminação de ruídos mecânicos na leitura, ativada uma vez quando o botão é pressionado.

**5.2.2 Alto Nível.** No alto nível, a classe *Thread* da biblioteca *threading* cria uma tarefa separada para a aquisição de dados do sistema embarcado via Bluetooth.

Tanto no baixo quanto alto níveis, são utilizados semáforos para a sincronização do acesso à memória entre as diferentes tarefas. No primeiro caso um semáforo do *freeRTOS* sincroniza a transmissão de dados sem fio para o jogo e no segundo, o objeto *Lock* da biblioteca *threading* controla o acesso à fila de eventos do controle.

### 5.3 Álgebra Linear

Conhecimentos em álgebra linear e manipulação de vetores são essenciais para a manipulação das formas em um plano bidimensional. Dentre estas manipulações, algumas se destacam.

**5.3.1 Sistemas de Coordenadas.** Pelo fato das formas se moverem e rotacionarem em relação à origem da tela (canto superior esquerdo), cada forma precisa ter seu eixo de coordenadas próprio, que rotaciona e translada além de uma maneira de converter vetores entre coordenadas globais  $\vec{v}_g$  (em relação à origem da tela) e coordenadas locais  $\vec{v}_l$  (em relação à origem da forma). A conversão global  $\rightarrow$  local é feita assim:

$$\vec{v}_l = R(\vec{v}_g) - \vec{o} \quad (2)$$

onde  $\vec{o}$  é o vetor posição da origem da forma e  $R$  é a matriz de rotação de acordo com o ângulo do sistema de coordenadas da forma. Igualmente, a conversão local  $\rightarrow$  global é:

$$\vec{v}_g = R^{-1}\vec{v}_l + \vec{o} \quad (3)$$

**5.3.2 Detecção de Colisão.** Como a taxa de quadros pode variar dependendo da performance de cada máquina, uma simples detecção se o cursor está dentro da forma se provou insuficiente, pois, entre um frame e outro, o cursor poderia passar pela forma sem estar dentro dela em nenhum dos dois frames, como visto na Figura 4.

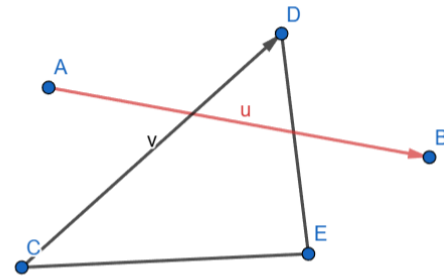


Figura 4: Diagrama de detecção de colisão

Para descobrir se o cursor passou por cima da forma após estar nos pontos  $A$  e  $B$  em frames consecutivos, basta descobrir se o segmento de reta  $\overline{AB}$  cruza qualquer um segmentos formados pelo polígono. Para isso, representamos matematicamente tanto o movimento do cursor quanto as arestas do polígono, e procuramos por uma interseção.

Seja o segmento do cursor definido por sua equação paramétrica:

$$L_{\text{cursor}}(t) = A + t(B - A), \quad \text{com } t \in [0, 1] \quad (4)$$

E seja uma aresta qualquer do polígono, definida por dois vértices consecutivos  $P_i$  e  $P_{i+1}$ :

$$L_{\text{aresta}}(s) = P_i + s(P_{i+1} - P_i), \quad \text{com } s \in [0, 1] \quad (5)$$

A interseção ocorre se, e somente se, existir uma solução para a equação vetorial  $L_{cursor}(t) = L_{aresta}(s)$ :

$$A + t(B - A) = P_i + s(P_{i+1} - P_i) \quad (6)$$

Onde ambos os parâmetros  $t$  (para o cursor) e  $s$  (para a aresta) devem pertencer ao intervalo  $[0, 1]$ . Se  $t \notin [0, 1]$ , o ponto de colisão está na reta infinita que passa por  $A$  e  $B$ , mas não no movimento real do cursor. Da mesma forma, se  $s \notin [0, 1]$ , a colisão ocorre fora da aresta do polígono.

**5.3.3 Corte de Formas.** Ao encontrar as intersecções entre a direção do cursor e os segmentos de reta da forma, podemos, após uma colisão, dividir a forma em 2 ou mais pedaços como mostrado na figura 5.

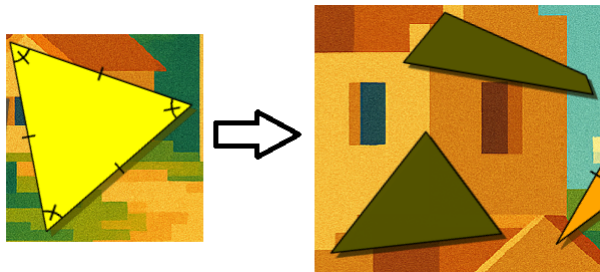


Figura 5: Corte de um triângulo

## 5.4 Justificativa das Escolhas Técnicas

As escolhas técnicas adotadas neste projeto foram fundamentadas tanto na viabilidade técnica quanto na necessidade de modularidade, escalabilidade e colaboração em equipe.

A utilização de sensores inerciais para captação dos movimentos do jogador foi motivada por sua capacidade de detectar gestos com precisão e traduzir movimentos naturais. Essa abordagem permite que o jogador interaja com o ambiente virtual por meio de ações físicas, promovendo um vínculo direto entre o raciocínio lógico e a experiência corporal, o que é benéfico para o público-alvo.

A arquitetura do sistema embarcado foi organizada em módulos funcionais bem definidos — como aquisição de sensores, leitura de botões, comunicação e controle de vibração — o que permitiu uma divisão eficiente de tarefas entre os membros do grupo. Essa estrutura modular foi uma decisão estratégica para facilitar o desenvolvimento colaborativo permitindo que diferentes partes do sistema fossem desenvolvidas e testadas de forma independente, sem comprometer a integridade do todo.

No desenvolvimento do jogo, a modularização do código também teve papel fundamental. Cada fase e componente do jogo foi implementado de forma isolada e reutilizável, facilitando a implementação de novas fases, a introdução de funcionalidades adicionais e possíveis modificações no enredo ou na lógica educacional. Essa abordagem também contribuiu para uma maior organização do código e redução de erros, além de facilitar os testes individuais de cada módulo.

A estrutura modular ainda favorece a manutenção do sistema, tanto no controle quanto no jogo. Futuras alterações de design, balanceamento de dificuldade, adição de novos sensores ou mudança no estilo pedagógico podem ser implementadas com o mínimo de

retrabalho. Dessa forma, o projeto não apenas atende aos objetivos iniciais como também se mantém aberto à expansão e evolução, seja para uso em outras faixas etárias ou para o ensino de diferentes conteúdos.

## 6 EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados com o intuito de validar a capacidade do jogo em ensinar ou revisar conteúdos de geometria para indivíduos pertencentes ao público-alvo. Além disso, foram avaliadas a qualidade do controle e do próprio jogo. No caso do controle, foram observados o conforto, o tempo de resposta e a precisão. Em relação ao jogo, foram analisadas a ocorrência de problemas durante sua execução, bem como a clareza das instruções fornecidas ao jogador.

Os experimentos caracterizam-se como uma Avaliação Formativa, integrada a Testes de Usabilidade e Playtesting, conduzidos com 14 participantes. Esse tipo de avaliação é amplamente reconhecido em pesquisas de Interação Humano-Computador e jogos educacionais [11, 12, 16].

Os testes consideraram o perfil dos jogadores, incluindo faixa etária, experiência prévia com jogos e se utilizaram ou não o controle desenvolvido. Também foram aplicadas perguntas relacionadas ao desempenho gráfico do jogo, como a ocorrência de travamentos, e ao conteúdo pedagógico, verificando-se se o participante compreendeu os conceitos apresentados por meio de um teste. Além disso, avaliou-se o potencial do jogo para fins educacionais e a clareza das instruções fornecidas, visto que o jogador deve ser capaz de compreender o funcionamento do jogo sem auxílio direto dos desenvolvedores. Por fim, foram feitas perguntas sobre o desempenho do controle, investigando conforto e responsividade.

Durante a fase de testes, 14 indivíduos participaram da avaliação. O grupo foi composto por professores universitários da área de exatas e estudantes de engenharia, com idades entre 20 e 47 anos. Conforme ilustrado na Figura ??, observa-se que 45% dos participantes possuem o hábito de jogar videogames, enquanto 20% afirmaram não ter esse costume.

Os testes ocorreram em um ambiente com conversas ao fundo, simulando uma situação cotidiana, conforme ilustrado na Figura ?. Cada participante recebeu um controle previamente calibrado por um desenvolvedor, que explicou apenas as funções básicas dos botões para acessar o tutorial, sem fornecer auxílio durante a execução do jogo.

### 6.1 Execução do Experimento

Após jogar, cada participante respondeu a um formulário dividido em quatro seções: (i) perfil do jogador; (ii) experiência com o jogo; (iii) opiniões e sugestões; e (iv) avaliação do aprendizado.

Na primeira seção, foram coletadas informações básicas como idade, familiaridade com jogos digitais e tipo de controle utilizado. A segunda seção avaliou a experiência com o jogo por meio de escalas de 1 a 5 e perguntas objetivas, abordando aspectos como diversão, clareza das regras, usabilidade e conforto do controle.

Na terceira seção, os participantes registraram impressões gerais, dificuldades enfrentadas e sugestões de melhoria, além de opinar sobre o potencial educativo do jogo. Por fim, a quarta seção buscou verificar a retenção do conteúdo de geometria, por meio de três

perguntas objetivas sobre triângulos, avaliando o impacto do jogo no aprendizado.

## 6.2 Análise dos Resultados

Durante os testes de software, foram identificados e corrigidos problemas relacionados à geração aleatória de formas e à dinâmica de queda dos objetos cortados. Também foi ajustada a quantidade e a velocidade dos elementos na tela para melhorar a jogabilidade com o controle.

Nos testes finais, o jogo apresentou bom desempenho, com mais de 75% dos participantes relatando ausência de travamentos e boa fluidez. Além disso, 85% avaliaram o jogo como divertido, destacando a mecânica e a responsividade. Apenas uma minoria (menos de 10%) considerou os textos longos.

No hardware, foram realizadas três etapas de testes: protótipo em protoboard, montagem em fenolite e testes com usuários. Problemas de calibração e lentidão nas bordas foram identificados, assim como a necessidade de recalibrar o controle após uso prolongado. A baixa duração da bateria também foi notada, sugerindo o uso de uma versão recarregável. Ainda assim, todos os participantes consideraram o controle confortável e funcional.

Quanto à dificuldade, mais de 60% classificaram o jogo como médio ou difícil, e 15% relataram dificuldade em entender as regras iniciais, especialmente devido à ausência de um tutorial automático. No aspecto pedagógico, mais de 90% acertaram a classificação de triângulos, embora metade afirme que já sabia as respostas. Mesmo assim, 75% consideraram o jogo uma ferramenta útil para o aprendizado de geometria.

## 7 RESULTADOS

A análise dos dados obtidos a partir dos experimentos permite extrair observações importantes quanto à funcionalidade técnica do sistema, à experiência do usuário e ao potencial educativo da solução. A seguir, são discutidos os achados, considerando os padrões de desempenho, limitações encontradas e implicações dos métodos utilizados.

### 7.1 Observações Gerais dos Testes

A avaliação realizada com 14 participantes evidenciou que a solução proposta apresenta robustez em termos técnicos e um bom nível de aceitação em sua proposta lúdica e pedagógica. Mais de 75% dos usuários relataram fluidez e ausência de travamentos no jogo, o que reforça a estabilidade da aplicação.

A taxa de 85% de aprovação quanto ao fator “diversão” também reforça o potencial de engajamento do jogo, um aspecto fundamental quando se busca utilizar jogos digitais como ferramentas educativas. O controle foi igualmente bem avaliado, sendo considerado confortável e responsivo por todos os testadores.

### 7.2 Padrões de Acertos e Dificuldades

A análise das respostas relacionadas ao conteúdo de geometria mostra que mais de 90% dos participantes foram capazes de identificar corretamente os tipos de triângulo. No entanto, cerca de 50% afirmaram que já conheciam esse conteúdo previamente. Isso sugere que o jogo atua mais como ferramenta de reforço e revisão do que de introdução de novos conteúdos, mas visto que os testes

foram feitos com professores e alunos de uma faculdade de engenharia esses resultados podem ser enviesados. Ainda assim, 75% dos respondentes reconheceram o valor educativo do jogo, o que aponta sua eficácia em consolidar conhecimentos.

Do ponto de vista da jogabilidade, a ausência de um tutorial inicial se destacou como um obstáculo. Aproximadamente 15% dos participantes relataram dificuldades para compreender a mecânica de jogo nas primeiras interações. Essa barreira foi particularmente notada por usuários que utilizaram o controle físico, uma vez que seu funcionamento não é intuitivo para todos os perfis de jogador. Esse dado indica a necessidade de introduzir tutoriais obrigatórios ou instruções mais visuais e acessíveis mesmo antes da fase tutorial.

Além disso, mais de 60% dos jogadores classificaram a dificuldade do jogo como média ou difícil. Para o público-alvo principal, crianças de 8 a 12 anos, isso pode representar uma dificuldade muito elevada. Foi identificado que a combinação entre número de objetos na tela e sua velocidade contribui diretamente para a percepção de dificuldade. Ajustes realizados, redução da quantidade e velocidade dos alvos, demonstraram ser eficazes para melhorar a acessibilidade da experiência.

### 7.3 Desempenho e Limitações do Controle Físico

Embora tenha sido considerado confortável, o controle apresentou limitações técnicas importantes. A necessidade de recalibração após aproximadamente 30 minutos de uso, devido à perda de referência nos sensores, compromete a continuidade da experiência. Além disso, o movimento do cursor apresentou lentidão nas bordas da tela, efeito possivelmente relacionado à interpolação linear na conversão dos dados do giroscópio. Esses problemas apontam para a necessidade de aprimoramentos no processamento do sinal do sensor e na aplicação de filtros de correção.

Outro ponto crítico identificado foi a curta duração da bateria. Para uso em ambiente escolar, onde várias crianças utilizam o mesmo dispositivo em sequência, a autonomia energética precisa ser significativamente maior. A adoção de baterias recarregáveis com maior capacidade foi a solução escolhida.

### 7.4 Discussão dos Métodos Utilizados

A abordagem metodológica adotada, especialmente o uso de formulários estruturados, foi eficaz para capturar dados objetivos e subjetivos sobre a experiência dos usuários. A divisão em seções permitiu avaliar o sistema em diferentes dimensões (jogabilidade, conforto, aprendizado), gerando dados coerentes com os objetivos do projeto.

Entretanto, a amostra utilizada nos testes, composta por estudantes universitários e professores da área de exatas, não representa fielmente o público-alvo principal do jogo. Crianças entre 8 e 12 anos possuem padrões cognitivos, motores e atencionais significativamente distintos dos adultos, o que pode alterar profundamente a forma como interagem com a mecânica do jogo e compreendem seus conteúdos. Além disso, um dos objetivos centrais da proposta é promover uma relação mais positiva com a matemática, buscando mitigar a aversão que muitas crianças desenvolvem em seus primeiros anos escolares. Nesse sentido, testar o jogo com indivíduos que já possuem afinidade com a disciplina, como é comum em cursos

superiores de engenharia e áreas correlatas, limita a capacidade de avaliar esse aspecto motivacional. Portanto, embora os resultados obtidos com esse público tenham sido relevantes para validar a funcionalidade e a estabilidade da solução, são necessários testes futuros com crianças do ensino fundamental para verificar o impacto real do jogo sobre o engajamento e a mudança de atitude em relação à matemática. Assim, a ausência de testes com o público-alvo limita a generalização dos resultados pedagógicos.

Além disso, o fato de os participantes terem sido instruídos previamente sobre o uso dos botões, e o controle ter sido calibrado manualmente por um desenvolvedor, diminui o grau de autonomia observado. Em uma aplicação real, espera-se que o próprio jogador seja capaz de iniciar o jogo e ajustar o controle sem auxílio externo, o que ainda não é plenamente viável no estado atual do projeto.

## 7.5 Síntese das Limitações e Possibilidades

Em síntese, os principais pontos de limitação observados foram:

- Ausência de tutorial interativo automático;
- Necessidade de calibração recorrente do controle;
- Autonomia limitada da bateria;
- Testes não realizados com o público-alvo principal;
- Dificuldade inicial de compreensão das regras do jogo.

Apesar dessas limitações, os testes confirmaram a viabilidade técnica da solução e indicaram que, com ajustes pontuais, o sistema tem potencial para ser uma ferramenta eficiente e atrativa para o ensino de geometria. Os métodos aplicados foram adequados para avaliar a proposta em estágio de protótipo, mas novas rodadas de testes serão fundamentais para validar sua eficácia em contexto pedagógico real.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do Shaolin Shapes representa um avanço significativo na integração entre tecnologia educacional, ludicidade e ensino de geometria. A proposta alia a experiência corporal à aprendizagem digital, explorando os princípios da aprendizagem baseada em jogos (Game-Based Learning) e da aprendizagem corporificada (Embodied Learning) como vetores para promover engajamento, compreensão conceitual e motivação estudantil.

O protótipo desenvolvido demonstra a viabilidade técnica e conceitual de um sistema híbrido, composto por um controle físico sensível ao movimento e um ambiente digital interativo, ambos projetados para tornar o processo de ensino mais dinâmico e participativo. A arquitetura modular do sistema, baseada em um microcontrolador ESP32 e em um sensor MPU6050, viabiliza futuras expansões e adaptações, permitindo que o projeto evolua conforme as demandas pedagógicas e tecnológicas.

Embora os testes realizados tenham envolvido predominantemente usuários adultos — professores e estudantes de engenharia —, os resultados obtidos apontam forte potencial educativo e motivacional. A alta taxa de aprovação em aspectos de usabilidade, diversão e clareza da proposta reforça que o sistema cumpre seus objetivos principais: tornar o aprendizado mais atrativo e aproximar os estudantes da matemática por meio da experimentação e do movimento.

A ausência de testes com o público-alvo direto (crianças de 8 a 12 anos) não invalida a relevância do projeto em sua etapa atual.

Pelo contrário, evidencia o caráter exploratório e fundacional da pesquisa. Nesta fase, o foco concentrou-se na validação técnica, na estabilidade da arquitetura e na coerência pedagógica do jogo. Esses resultados constituem uma base sólida para etapas posteriores de pesquisa, nas quais serão conduzidas avaliações pedagógicas com turmas escolares e mediadas por professores de matemática.

Como trabalhos futuros, propõe-se a realização de testes com crianças do ensino fundamental, a avaliação longitudinal do impacto pedagógico e a ampliação dos conteúdos matemáticos abordados, consolidando a proposta como uma ferramenta de apoio efetiva e inovadora ao ensino de matemática.

Código fonte e esquemático do hardware projetado estão disponíveis em <https://github.com/Geometrianinja>. Um vídeo demonstrativo do jogo está disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=7SvwrauQ8QU>.

## REFERÊNCIAS

- [1] Enézio Cortez and Fábio Alves. Trajetórias escolares e o direito à educação: uma análise para municípios brasileiros. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 37: 1–24, 2020. doi: 10.20947/S0102-3098a0115. URL <https://www.scielo.br/j/rbepop/a/9ZRM8LBTqQMhMDQNJdWjQZQ/?lang=pt>.
- [2] Jane Smith. Math anxiety in early childhood education: understanding the emotional roots. Dissertação de mestrado, University of Northern Colorado, Greeley, 2018. URL <https://digscholarship.unco.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1275&context=theses>. Acesso em: 05 jul. 2025.
- [3] Brasil, Ministério da Educação. Base nacional comum curricular. [https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_-versaofinal\\_site.pdf](https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf), 2018. Acesso em: 1 maio 2025.
- [4] Odalea Aparecida Viana. *O componente espacial da habilidade matemática de alunos do ensino médio e as relações com o desempenho escolar e as atitudes em relação à matemática e à geometria*. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP, 2005. URL <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1601193>. 279p. Acesso em: 1 mai. 2025.
- [5] Veronica Rossano, Rosa Lanzilotti, Antonio Cazzolla, and Teresa Roselli. Augmented reality to support geometry learning. *IEEE Access*, 8:107772–107780, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000990.
- [6] Sunandar, Noviana Dini Rahmawati, and Arif Wibisono. Design of game education basic var in geometry learning. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Education and Social Science Research (ICESRE 2019)*, pages 217–221. Atlantis Press, 2020. ISBN 978-94-6252-934-2. doi: 10.2991/assehr.k.200318.042. URL <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200318.042>.
- [7] PEPsIC. Jogos e brincadeiras na escola: contribuições para o desenvolvimento infantil. *Psicologia Escolar e Educacional*, 23(1), 2019. URL [https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-69542019000100005](https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-69542019000100005). Acesso em: 23 abr. 2025.
- [8] Márcia Graminho Fonseca Braz e Barros, Jean Carlos Miranda, and Rosa Cristina Costa. Uso de jogos didáticos no processo ensino-aprendizagem. *Revista Educação Pública*, 19(23), October 2019. URL <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/23/uso-de-jogos-didaticos-no-processo-ensino-aprendizagem>. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/23/uso-de-jogos-didaticos-no-processo-ensino-aprendizagem>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- [9] Manga High. Os benefícios da aprendizagem baseada em jogos, 2022. URL <https://www.mangahigh.com/en-us/blog/2022-03-25-os-benef%C3%AAdcios-da-aprendizagem-baseada-em-jogos>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- [10] Árvore. Jogos na educação: veja como utilizar o recurso em sala de aula, 2022. URL <https://www.arvore.com.br/blog/jogos-na-educacao>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- [11] Tracy Fullerton. *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games*. CRC Press, 2019.
- [12] Yvonne Rogers, Helen Sharp, and Jenny Preece. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. Wiley, 2011.
- [13] Rômulo Silva de Oliveira. *Fundamentos de Sistemas de Tempo Real*. LTC, Rio de Janeiro, 2 edition, 2013.
- [14] José Henrique Kleinschmidt. *Sistemas Embarcados: Fundamentos e Aplicações*. LTC, Rio de Janeiro, 1 edition, 2016.
- [15] Annisa Puspitaningrum and Ariyadi Wijaya. Android-based educational game: The design to improve students' understanding in learning geometry. *Instructional Media for Mathematics (IM Math)*, 1(1), 2023. URL <https://journal.aws-edu.id/index.php/IM-MATH/article/view/5>.
- [16] Jakob Nielsen. *Usability Engineering*. Academic Press, 1993.