



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO TOCANTINS/CAMETÁ  
FACULDADE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**ARTUR DIAS CARDOSO**

**O USO DA REALIDADE AUMENTADA E VISÃO  
COMPUTACIONAL NO ENSINO DE GEOMETRIA: O CASO DO  
JOGO TANGRAM**

**Cametá  
2026**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO TOCANTINS/CAMETÁ  
FACULDADE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**ARTUR DIAS CARDOSO**

**O USO DA REALIDADE AUMENTADA E VISÃO  
COMPUTACIONAL NO ENSINO DE GEOMETRIA: O CASO DO  
JOGO TANGRAM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Sistemas de Informação, Campus Universitário do Tocantins/Cametá, Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Elton Sarmanho Siqueira

**Cametá  
2026**

---

Dias Cardoso, Artur

O USO DA REALIDADE AUMENTADA E VISÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE GEOMETRIA: o caso do jogo Tangram/ ARTUR DIAS CARDOSO. – Cametá, 2026.

3 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Elton Sarmanho Siqueira

Monografia – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO TOCANTINS/CAMETÁ

, 2026.

1. Realidade Aumentada. 2. Tangram. 3. Visão Computacional. 4. Ensino de Geometria. 6. TAM. 7. MediaPipe. 8. OpenCV I. Título.

---

**ARTUR DIAS CARDOSO**

**O USO DA REALIDADE AUMENTADA E VISÃO  
COMPUTACIONAL NO ENSINO DE GEOMETRIA: o  
CASO DO JOGO TANGRAM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de graduação em Sistemas de Informa-  
ção, Campus Universitário do Tocantins/Cametá,  
Universidade Federal do Pará, como requisito  
parcial para obtenção do grau de Bacharel em  
Sistemas de Informação.

Data da Defesa: 13 de Julho de 2026

**Banca Examinadora**

---

**Prof. Dr. Elton Sarmanho Siqueira**  
Faculdade de Sistemas de Informação - UFPA  
Orientador

---

**Profa. Dra. Ivete Furtado Ribeiro Caldas**  
Campus XVIII - Universidade do Estado do  
Pará (UEPA)  
Membro da Banca

---

**Prof. Dr. Ulisses Weyl da Cunha Costa**  
Faculdade de Sistemas de Informação - UFPA  
Membro da Banca

Cametá  
2026

# O USO DA REALIDADE AUMENTADA E VISÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DE GEOMETRIA: O CASO DO JOGO TANGRAM

ARTUR DIAS CARDOSO

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Campus Universitário do Tocantins/Cametá  
Faculdade de Sistemas de Informação

artur.cardoso@ufpa.br

**Resumo.** *O presente trabalho investiga a viabilidade técnica e a aceitação do uso da Realidade Aumentada (RA), aliada à visão computacional, como ferramenta de suporte ao ensino de geometria por meio do jogo Tangram. O problema central reside na dependência histórica de hardware especializado, como óculos, luvas e sensores, que limita a adoção da RA em ambientes educacionais com recursos reduzidos. Como alternativa, propõe-se um sistema desenvolvido em Python, com as bibliotecas OpenCV e MediaPipe, que utiliza a câmera convencional do computador para rastrear os movimentos das mãos do usuário. O objetivo principal é avaliar a solução sob as perspectivas de utilidade percebida, facilidade de uso e intenção de uso, com base no modelo TAM (Technology Acceptance Model). A metodologia empregou um questionário estruturado em escala Likert, aplicado a cinco participantes adultos. Os resultados indicaram médias de 4,65 em Utilidade Percebida, 3,70 em Facilidade de Uso e 5,00 em Intenção de Uso, com média geral de 4,34. Conclui-se que a integração entre RA e visão computacional se mostrou tecnicamente viável e obteve avaliação positiva na amostra investigada, embora a manipulação gestual ainda demande aperfeiçoamentos.*

**Palavras-chave:** *Realidade Aumentada, Tangram, Visão Computacional, Ensino de Geometria, TAM, MediaPipe, OpenCV.*

**Abstract.** *This work investigates the technical feasibility and acceptance of Augmented Reality (AR), combined with computer vision, as a support tool for geometry teaching through the Tangram game. The central problem lies in the historical dependence on specialised hardware, such as glasses, gloves, and sensors, which limits AR adoption in educational environments with limited resources. As an alternative, a system developed in Python using the OpenCV and MediaPipe libraries is proposed; it tracks hand movements via a conventional webcam. The main objective is to evaluate the solution in terms of perceived usefulness, perceived ease of use, and intention to use, based on the Technology Acceptance Model (TAM). A structured five-point Likert-scale questionnaire was administered to five adult participants. The results indicated mean scores of 4.65 for Perceived Usefulness, 3.70 for Perceived Ease of Use, and 5.00 for Intention to*

*Use, with an overall mean of 4.34. It is concluded that the integration of AR and computer vision proved technically feasible and received a positive assessment within the investigated sample, although gesture-based manipulation still requires improvement.*

**Keywords:** *Augmented Reality, Tangram, Computer Vision, Geometry Teaching, TAM, MediaPipe, OpenCV.*

## 1. Introdução

O ensino de geometria envolve conceitos como formas, ângulos, áreas, perímetros e relações espaciais, cuja compreensão pode ser favorecida por recursos que ampliem as possibilidades de visualização e manipulação. Nesse contexto, ferramentas tecnológicas interativas podem complementar as representações bidimensionais presentes nos materiais didáticos.

O Tangram, quebra-cabeça de origem chinesa composto por sete peças geométricas, pode ser empregado como recurso didático para explorar composição e decomposição de figuras, áreas, perímetros e raciocínio espacial (Sodré et al. 2025). Sua transposição para o ambiente digital, enriquecida pela Realidade Aumentada (RA), amplia as possibilidades de visualização e interação com as peças.

A Realidade Aumentada é caracterizada pela integração de elementos virtuais ao ambiente real, situando-se no contínuo entre realidade e virtualidade (Milgram e Kishino 1994). No campo educacional, aplicações de RA têm sido utilizadas principalmente em atividades de exploração e simulação, com potencial para apoiar a visualização de conteúdos em áreas STEM (Ibáñez e Delgado-Kloos 2018). Contudo, determinadas configurações podem depender de dispositivos adicionais, elevando o custo e dificultando sua adoção em contextos com recursos limitados (Zorzal et al. 2008).

Como alternativa, o presente trabalho propõe e avalia um sistema de Tangram em RA desenvolvido em Python com as bibliotecas OpenCV e MediaPipe, utilizando a câmera convencional do computador para realizar o rastreamento gestual das mãos do usuário. Essa abordagem elimina a necessidade de sensores especializados e permite que a aplicação funcione em computadores dotados de uma *webcam* integrada.

A questão norteadora desta pesquisa é: **É possível implementar o Tangram em Realidade Aumentada de forma adequada, garantindo usabilidade e aceitação técnica sem a necessidade de dispositivos físicos complexos?** Para respondê-la, adota-se o Modelo de Aceitação Tecnológica (TAM), proposto por Davis (1989), que avalia a adoção de tecnologias a partir de dois constructos centrais: a Utilidade Percebida e a Facilidade de Uso Percebida.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico; a Seção 3 descreve os procedimentos metodológicos e o desenvolvimento do sistema; a Seção 4 analisa os resultados; e a Seção 5 apresenta as conclusões e as perspectivas de trabalhos futuros.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1. O Tangram: Origem, Composição e Potencial Pedagógico**

O Tangram é um quebra-cabeça geométrico de origem chinesa formado pela decomposição de um quadrado em sete peças. Sua configuração permite construir diferentes figuras utilizando sempre o mesmo conjunto de elementos, o que favorece atividades de composição, decomposição e comparação de formas (Sodré et al. 2025).

Do ponto de vista estrutural, o Tangram é composto por cinco triângulos retângulos isósceles de três tamanhos, um quadrado e um paralelogramo. A regra fundamental consiste em utilizar as sete peças simultaneamente para formar figuras, sem sobreposição entre elas.

No ensino de geometria, o Tangram pode apoiar a identificação e a classificação de figuras, a comparação de áreas e perímetros, o estudo de ângulos e o desenvolvimento da visualização espacial. A manipulação das peças também permite explorar relações entre parte e todo e diferentes estratégias de resolução de problemas (Sodré et al. 2025). Neste trabalho, essas possibilidades fundamentam sua escolha como conteúdo da aplicação interativa.

### **2.2. Realidade Aumentada: Fundamentos e Aplicações Educacionais**

A Realidade Aumentada integra elementos virtuais a representações do ambiente real, formando uma experiência na qual componentes físicos e digitais coexistem. No contínuo realidade–virtualidade apresentado por Milgram e Kishino (1994), a RA permanece próxima do ambiente real, mas incorpora objetos produzidos computacionalmente.

Do ponto de vista técnico, sistemas de RA podem operar por meio de um fluxo que envolve a captura de imagens do ambiente real, o processamento computacional dos quadros e a apresentação de elementos virtuais associados à imagem. As estratégias de rastreamento variam conforme a aplicação e podem empregar marcadores, reconhecimento de objetos ou pontos anatômicos de referência.

Uma revisão sistemática sobre RA na aprendizagem de áreas STEM identificou o predomínio de atividades de exploração e simulação e apontou contribuições potenciais para a compreensão conceitual, além da necessidade de oferecer suporte adequado aos estudantes durante as atividades (Ibáñez e Delgado-Kloos 2018). Assim, o uso educacional da RA deve considerar tanto as possibilidades de visualização e interação quanto a adequação da interface às tarefas propostas.

As configurações de RA variam de acordo com a aplicação e podem utilizar desde equipamentos especializados até câmeras presentes em computadores e dispositivos móveis. Neste trabalho, optou-se por uma solução baseada em *webcam*, buscando reduzir a dependência de dispositivos adicionais.

### **2.3. Jogos Educacionais com Realidade Aumentada**

A integração entre jogos educacionais e Realidade Aumentada reúne elementos lúdicos, conteúdos didáticos e formas de interação com objetos virtuais. Zorzal et al. (2008) apresentam aplicações de jogos educacionais com RA e discutem seu potencial para ampliar

a interação do usuário com o conteúdo. Tais recursos devem ser entendidos como possibilidades complementares, cuja contribuição depende do planejamento pedagógico e das condições de utilização.

Uma característica relevante dessas aplicações é a possibilidade de desenvolver soluções predominantemente baseadas em *software*. No caso deste trabalho, a utilização de uma câmera convencional busca reduzir a necessidade de sensores externos, sem pressupor que todos os custos e requisitos de infraestrutura sejam eliminados.

#### **2.4. Visão Computacional, OpenCV e MediaPipe**

A visão computacional reúne métodos destinados à aquisição e ao processamento de imagens para extração de informações úteis à interação com sistemas computacionais. Nesse contexto, a OpenCV oferece recursos de código aberto para captura de vídeo, transformação de imagens e desenho de elementos gráficos, sendo amplamente empregada no desenvolvimento de aplicações que processam quadros de câmera em tempo real (Bradski 2000).

O MediaPipe, por sua vez, disponibiliza uma arquitetura de rastreamento de mãos composta por um detector de palma e um modelo de localização de pontos de referência. A solução estima 21 pontos anatômicos de cada mão a partir de imagens RGB e foi projetada para execução em tempo real em dispositivos convencionais (Zhang et al. 2020). A combinação dessas ferramentas possibilita captar o vídeo da câmera, localizar a mão e utilizar as coordenadas estimadas como dados de entrada para interfaces gestuais, sem exigir luvas ou sensores externos.

No sistema desenvolvido neste trabalho, a OpenCV é responsável pela aquisição e pela apresentação dos quadros de vídeo, enquanto o MediaPipe fornece as coordenadas dos pontos de referência das mãos. Essas coordenadas subsidiam a interação entre os movimentos do usuário e as peças virtuais, permitindo organizar o fluxo funcional da aplicação em captura, rastreamento, atualização da interação e renderização.

#### **2.5. O Modelo de Aceitação Tecnológica (TAM)**

O *Technology Acceptance Model* (TAM), proposto por Davis (1989), constitui um dos modelos teóricos mais amplamente utilizados para investigar os fatores que determinam a adoção e o uso de tecnologias de informação. O modelo postula que a aceitação de uma nova tecnologia é determinada por dois constructos principais: a Utilidade Percebida (*Perceived Usefulness*) e a Facilidade de Uso Percebida (*Perceived Ease of Use*).

A Utilidade Percebida refere-se ao grau em que o usuário acredita que a utilização do sistema melhorará seu desempenho em determinada tarefa (Davis 1989). A Facilidade de Uso Percebida diz respeito ao grau em que o usuário espera que a utilização do sistema seja livre de esforço cognitivo ou operacional (Davis 1989). Ambos os constructos influenciam diretamente a atitude do usuário em relação ao sistema e, consequentemente, sua intenção comportamental de uso.

No contexto educacional, estudos baseados no TAM indicam que a utilidade percebida e a facilidade de uso se relacionam com a intenção de adoção de tecnologias digitais (Scherer, Siddiq e Tondeur 2019). Por isso, essas dimensões foram empregadas na avaliação exploratória do protótipo.

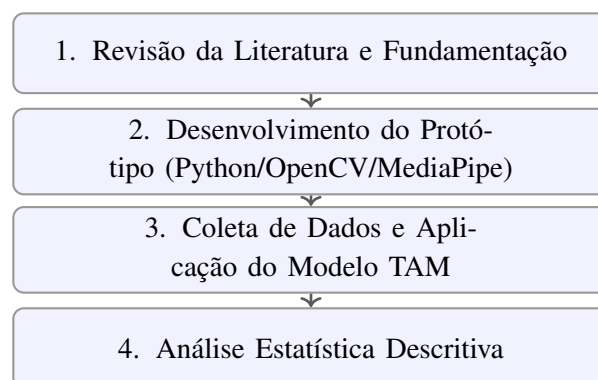


### 3. Metodologia

#### 3.1. Caracterização da Pesquisa

Esta pesquisa classifica-se como aplicada, de natureza quantitativa, com delineamento exploratório-descritivo. O objetivo central consiste no desenvolvimento e na avaliação de um sistema de Tangram em Realidade Aumentada fundamentado em visão computacional como mecanismo de interação, cuja aceitação tecnológica foi analisada por meio do modelo TAM (Davis 1989).

As etapas que nortearam a execução deste estudo estão sintetizadas no fluxograma macro apresentado na Figura 1.



**Figura 1. Fluxograma das etapas macro da pesquisa.**

#### 3.2. Desenvolvimento do Sistema

O sistema foi desenvolvido em Python 3.10 ou versão posterior, a partir do requisito de permitir a manipulação virtual das peças do Tangram por meio de uma câmera convencional, sem a necessidade de luvas, sensores de profundidade ou outros dispositivos especializados. A implementação foi organizada em etapas integradas de captura do vídeo, rastreamento da mão, interpretação dos gestos, processamento geométrico das peças e renderização da interface.

##### 3.2.1. Arquitetura e bibliotecas utilizadas

A arquitetura do protótipo fundamenta-se na integração de quatro bibliotecas. A OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) realiza a comunicação com a *webcam*, a captura e o tratamento dos quadros, a verificação da seleção dos polígonos e a renderização dos elementos gráficos (Bradski 2000). O MediaPipe Hands executa a detecção e o rastreamento da mão, fornecendo 21 pontos de referência tridimensionais (*landmarks*) a partir de imagens RGB (Zhang et al. 2020).

A NumPy é empregada na representação matricial das coordenadas dos vértices e nas operações vetoriais necessárias às transformações geométricas (Harris et al. 2020). A Shapely, por sua vez, fornece as estruturas e as operações de geometria computacional utilizadas na representação de pontos, linhas e polígonos, bem como no cálculo de distâncias, interseções e uniões geométricas (Gillies 2025).

Durante a execução, essas bibliotecas operam de maneira encadeada. A OpenCV captura o quadro da câmera, o MediaPipe localiza os pontos de referência da mão, as coordenadas obtidas são interpretadas como comandos gestuais, a NumPy atualiza os vértices das peças e a Shapely verifica as relações espaciais entre os polígonos. Ao final de cada iteração, a OpenCV apresenta o quadro atualizado com as peças e os demais componentes da interface. Esse ciclo é executado continuamente, com taxa aproximada de 20 quadros por segundo.

### 3.2.2. Captura de vídeo e rastreamento gestual

A câmera é inicializada por meio de `cv2.VideoCapture(0)` e configurada para capturar quadros com resolução de  $1280 \times 720$  pixels. Cada quadro obtido pela função `cap.read()` passa por um espelhamento horizontal mediante `cv2.flip(frame, 1)`, produzindo uma resposta visual compatível com os movimentos realizados pelo usuário diante da câmera.

Como a OpenCV representa as imagens originalmente no espaço de cores BGR, os quadros são convertidos para RGB por meio de `cv2.cvtColor`. Essa conversão permite que a imagem seja processada pelo módulo `mp.solutions.hands`, configurado com confiança mínima de detecção de 0,9 e confiança mínima de rastreamento de 0,7.

Entre os 21 pontos estimados pelo MediaPipe, a aplicação utiliza principalmente a extremidade do polegar, correspondente ao *landmark* 4, e a extremidade do dedo indicador, correspondente ao *landmark* 8. As coordenadas normalizadas desses pontos são convertidas para o espaço de pixels do quadro.

Para reduzir oscilações produzidas por pequenas variações no rastreamento, a função `smooth_finger_position()` aplica uma média móvel sobre as três posições mais recentes. Esse procedimento suaviza o deslocamento do cursor gestual sem modificar o funcionamento do modelo de detecção.

A identificação do gesto de pinça baseia-se na distância euclidiana entre o polegar, representado pelo ponto  $(x_4, y_4)$ , e o indicador, representado pelo ponto  $(x_8, y_8)$ :

$$D = \sqrt{(x_8 - x_4)^2 + (y_8 - y_4)^2}. \quad (1)$$

Quando  $D$  é inferior ao limiar de 45 pixels, o estado `pinch_is_active` é ativado. Esse estado funciona como comando de seleção e permite que a aproximação entre os dedos seja interpretada pela aplicação de maneira semelhante ao clique de um dispositivo apontador.

### 3.2.3. Representação e manipulação das peças

As sete peças do Tangram são representadas por conjuntos de vértices armazenados na matriz `BASE_COORDS`. Esses valores são ajustados pela variável `tangram_scale`, permitindo dimensionar os polígonos de acordo com a resolução da interface.

A seleção é realizada pela função `cv2.pointPolygonTest()`, que verifica

se a posição associada ao gesto se encontra no interior de uma peça. Quando o gesto de pinça está ativo sobre um polígono, a peça é selecionada e passa a acompanhar o deslocamento da mão. A translação é efetuada pela adição da variação das coordenadas do gesto aos vértices que compõem a peça.

A rotação ocorre em incrementos de  $45^\circ$ , acionados pelo comando de duplo toque. Considerando um vértice  $\mathbf{p}$ , o centro geométrico da peça  $\mathbf{c}$  e o ângulo  $\theta$ , a transformação pode ser expressa por:

$$\mathbf{p}' = \mathbf{R}_\theta(\mathbf{p} - \mathbf{c}) + \mathbf{c}, \quad (2)$$

em que:

$$\mathbf{R}_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (3)$$

A subtração do centro  $\mathbf{c}$  desloca temporariamente o polígono para a origem, permitindo a aplicação da matriz de rotação. Em seguida, a adição do centro reposiciona a peça na interface, preservando sua forma e suas dimensões.

### 3.2.4. Colisão, encaixe e travamento

A função `pieces_collide()` verifica a existência de interseção entre as peças. Para evitar que o simples contato entre as bordas seja interpretado como sobreposição, os polígonos utilizados nessa verificação recebem um recuo interno de 3 pixels por meio da operação `poly.buffer(-3.0)` da Shapely. Dessa forma, a colisão é registrada quando existe interseção efetiva entre as áreas internas das peças.

Após a movimentação, a função `attempt_edge_snap()` verifica se a peça está suficientemente próxima de uma posição de encaixe. Quando a distância identificada é inferior à tolerância de 8 pixels, o sistema aplica uma translação automática, aproximando as bordas correspondentes.

A função `check_piece_edge_proximity()` complementa essa verificação ao avaliar a quantidade de vértices próximos das arestas esperadas. Para as peças pequenas e médias, exige-se o contato de pelo menos dois vértices; para as peças maiores, identificadas como L1 e L2, são exigidos pelo menos três.

O travamento definitivo é controlado pela função `can_piece_lock()`. Nessa etapa, máscaras binárias representam a peça posicionada e a região correspondente do gabarito. A operação `cv2.bitwise_and()` determina a área comum entre as duas máscaras, permitindo calcular a proporção de sobreposição. O travamento ocorre quando a peça alcança pelo menos 95% da área esperada, sendo exigido o percentual de 98% para as peças L1 e L2.

Além das verificações geométricas, o sistema estabelece um intervalo de 0,5 segundo para o reconhecimento do duplo toque responsável pela rotação. A ação de desfazer uma jogada implica a subtração de 25 pontos, associando a pontuação às decisões tomadas durante a resolução da atividade.

### 3.2.5. Parâmetros operacionais

A Tabela 1 sintetiza os principais parâmetros utilizados no processamento gestual e geométrico do protótipo.

**Tabela 1. Parâmetros operacionais do protótipo**

| Parâmetro                        | Variável                     | Valor         |
|----------------------------------|------------------------------|---------------|
| Resolução dos quadros            | W, H                         | 1280 × 720 px |
| Confiança mínima de detecção     | min_detection<br>_confidence | 0,9           |
| Confiança mínima de rastreamento | min_tracking<br>_confidence  | 0,7           |
| Limiar do gesto de pinça         | PINCH_DIST                   | 45 px         |
| Histórico da média móvel         | HISTORY_SIZE                 | 3 quadros     |
| Tolerância de encaixe            | EDGE_SNAP                    | 8 px          |
| Recuo para detecção de colisão   | COLLISION_BUF                | 3 px          |
| Sobreposição mínima              | req_overlap                  | 95% a 98%     |
| Intervalo do duplo toque         | COOLDOWN                     | 0,5 s         |
| Penalidade por desfazer          | UNDO_PENALTY                 | 25 pontos     |

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos parâmetros da aplicação (2026).

A Figura 2 apresenta a interface em funcionamento durante o rastreamento dos pontos de referência da mão e a interação com as peças virtuais.

### 3.3. Instrumentos de Coleta de Dados

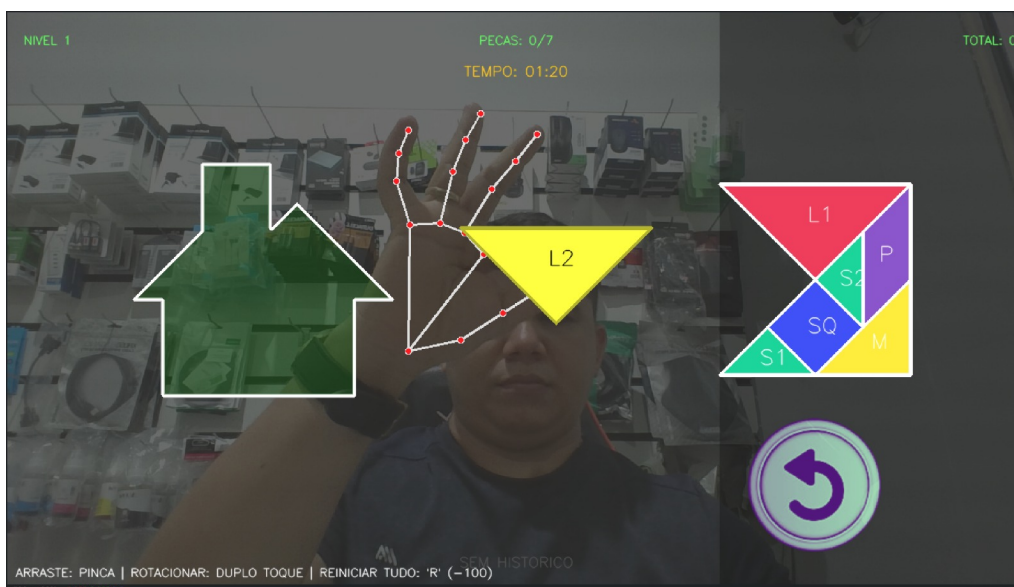
Para aferir a aceitação tecnológica da ferramenta, elaborou-se um questionário estruturado com base nas premissas do modelo TAM (Davis 1989), adaptado às propriedades do jogo Tangram em RA desenvolvido. O instrumento adota uma escala Likert de cinco pontos, distribuída entre 1 (Discordo Totalmente) e 5 (Concordo Totalmente), subdividindo-se em três dimensões:

**Dimensão 1 – Utilidade Percebida:** investiga a percepção sobre a atratividade do *software* no aprendizado, a contribuição da visão computacional para a visualização espacial, o suporte ao raciocínio lógico e a preferência pelo sistema digital em relação ao Tangram físico.

**Dimensão 2 – Facilidade de Uso Percebida:** avalia o manuseio das peças virtuais por meio do rastreamento gestual do MediaPipe, a clareza da interação, o esforço mental exigido e a percepção global de facilidade operacional.

**Dimensão 3 – Intenção de Uso:** mensura o interesse em utilizar o sistema em ocasiões futuras e a propensão a recomendá-lo a outras pessoas.

Além dos indicadores do modelo TAM, aplicou-se um bloco de questões de identificação para traçar características socioeconômicas básicas da amostra, cujo roteiro se encontra no Apêndice A.



**Figura 2.** Interface do sistema realizando o rastreamento dos *landmarks* da mão do usuário via MediaPipe.

### 3.4. Participantes e Procedimento de Coleta

O corpus do experimento foi constituído pelas sessões de utilização do protótipo e pelas respostas válidas ao questionário de cinco participantes adultos. As idades variaram de 25 a 46 anos, com média de 33,40 anos e desvio padrão amostral de 7,77 anos. Quanto à escolaridade, um participante possuía Ensino Médio completo, um possuía Ensino Superior incompleto, dois estavam cursando o Ensino Superior e um possuía Ensino Superior completo. Foram considerados os participantes adultos que concluíram a interação com o sistema e responderam integralmente ao instrumento de avaliação.

O procedimento de coleta de dados ocorreu em abril de 2026 e foi dividido em três fases sequenciais. Primeiramente, realizou-se a apresentação do sistema e uma breve instrução prática. Na sequência, cada participante realizou uma sessão livre de interação com o Tangram em RA, sem estipulação de limite de tempo. Por fim, efetuou-se o preenchimento individual do questionário. As respostas foram armazenadas digitalmente e organizadas para posterior tabulação.

O ambiente de teste e a postura do participante durante a execução da atividade podem ser observados na Figura 3.

### 3.5. Análise dos Dados

Os dados obtidos foram submetidos a procedimentos de estatística descritiva, compreendendo o cálculo da média aritmética, dos valores mínimo e máximo e do desvio padrão amostral para cada item. Em seguida, calcularam-se as médias das dimensões Utilidade Percebida, Facilidade de Uso Percebida e Intenção de Uso, bem como a média geral dos dez itens. O agrupamento seguiu a organização do instrumento adaptado do TAM e serviu de base para a discussão dos resultados. Considerando o caráter exploratório e o número reduzido de participantes ( $N = 5$ ), os resultados descrevem exclusivamente o grupo investigado e não permitem generalizações para outras populações.



**Figura 3. Participante realizando o experimento e manipulando as peças do Tangram no ambiente de teste.**

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1. Perfil dos Participantes**

Os cinco participantes adultos apresentaram idades de 25, 31, 31, 34 e 46 anos, correspondendo a uma amplitude de 21 anos e média de 33,40 anos. O grupo foi composto por um participante com Ensino Médio completo, um com Ensino Superior incompleto, dois cursando o Ensino Superior e um com Ensino Superior completo. Trata-se de uma amostra pequena e de conveniência, adequada a uma avaliação exploratória inicial da aceitação e da usabilidade do protótipo, mas insuficiente para sustentar inferências estatísticas ou generalizações populacionais.

### **4.2. Dimensão 1: Utilidade Percebida**

Os resultados relativos à dimensão de Utilidade Percebida apresentaram avaliações positivas, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2. Resultados da Dimensão Utilidade Percebida**

| <b>Afirmativa</b>                                                    | <b>Média</b> | <b>Mín.</b> | <b>Máx.</b> | <b>DP</b> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| O <i>software</i> torna o aprendizado do Tangram mais interessante   | 4,80         | 4           | 5           | 0,45      |
| A visão computacional facilita a visualização das formas geométricas | 4,80         | 4           | 5           | 0,45      |
| O sistema é eficaz para praticar raciocínio lógico                   | 4,80         | 4           | 5           | 0,45      |
| Preferiria usar o <i>software</i> em vez do Tangram físico           | 4,20         | 3           | 5           | 0,84      |
| <b>Média da dimensão</b>                                             | <b>4,65</b>  |             |             |           |

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os itens relativos ao interesse pelo Tangram, à visualização das formas geométricas e ao raciocínio lógico alcançaram média de 4,80, com desvio padrão de 0,45, indicando avaliações próximas entre os participantes. Esse resultado é compatível com

estudos que apontam o potencial da RA para apoiar atividades de visualização e exploração em áreas STEM (Ibáñez e Delgado-Kloos 2018). Entretanto, por se tratar de uma avaliação de percepção, os dados não demonstram, isoladamente, ganho efetivo de aprendizagem.

O item sobre preferência pelo sistema digital em relação ao Tangram físico obteve a menor média da dimensão (4,20), ainda situada no campo positivo da escala. O resultado sugere aceitação do recurso digital entre os participantes, sem permitir concluir que ele deva substituir o material físico. A ferramenta pode ser compreendida como possibilidade complementar de interação com as peças e com as relações geométricas do jogo.

### 4.3. Dimensão 2: Facilidade de Uso Percebida

Os resultados da dimensão de Facilidade de Uso Percebida apresentaram maior variabilidade, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3. Resultados da Dimensão Facilidade de Uso Percebida**

| <b>Afirmativa</b>                                        | <b>Média</b> | <b>Mín.</b> | <b>Máx.</b> | <b>DP</b> |
|----------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| Manipulação das peças com as mãos (MediaPipe) foi fácil  | 2,80         | 1           | 4           | 1,64      |
| A interação com o jogo foi clara e compreensível         | 4,60         | 4           | 5           | 0,55      |
| Não precisei de muito esforço mental para mover as peças | 4,60         | 3           | 5           | 0,89      |
| No geral, achei o sistema fácil de usar                  | 2,80         | 1           | 5           | 1,79      |
| <b>Média da dimensão</b>                                 | <b>3,70</b>  |             |             |           |

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os resultados desta dimensão revelam uma distinção entre a clareza da interação e o esforço mental percebido, ambos com média 4,60, e a facilidade operacional da manipulação gestual e do uso geral do sistema, ambos com média 2,80. A dispersão foi maior nos itens de manipulação e facilidade geral, cujos desvios padrão foram, respectivamente, 1,64 e 1,79. Isso indica maior heterogeneidade nas experiências individuais com a interface gestual.

No modelo TAM, a facilidade de uso percebida corresponde à expectativa de que a utilização do sistema demande pouco esforço (Davis 1989). Assim, a média de 2,80 nos itens operacionais sugere que o refinamento da interface gestual representa um ponto prioritário para versões futuras. Os dados disponíveis, contudo, não permitem atribuir as dificuldades a uma causa técnica específica, como iluminação, oclusão ou configuração do equipamento.

### 4.4. Dimensão 3: Intenção de Uso

A dimensão de Intenção de Uso apresentou os resultados mais elevados da pesquisa, conforme a Tabela 4.

Complementando os resultados de aceitação, a Figura 4 apresenta o encerramento visual do Módulo de Renderização com o aviso de nível completado e o retorno da pontuação ao usuário.

**Tabela 4. Resultados da Dimensão Intenção de Uso**

| <b>Afirmativa</b>                                               | <b>Média</b> | <b>Mín.</b> | <b>Máx.</b> | <b>DP</b> |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| Pretendo usar o <i>software</i> novamente se tiver oportunidade | 5,00         | 5           | 5           | 0,00      |
| Recomendaria o jogo para outras pessoas estudarem matemática    | 5,00         | 5           | 5           | 0,00      |
| <b>Média da dimensão</b>                                        | <b>5,00</b>  |             |             |           |

Fonte: Dados da pesquisa (2026).



**Figura 4. Tela de feedback do sistema exibindo a conclusão do nível e a pontuação acumulada do usuário.**



A obtenção de média 5,00 e desvio padrão zero em ambos os itens indica unanimidade nas respostas sobre intenção de reutilização e recomendação do sistema. Mesmo diante das dificuldades operacionais identificadas na dimensão de Facilidade de Uso, os cinco participantes manifestaram avaliação positiva nesses dois aspectos.

Esse resultado se aproxima das possibilidades de interação discutidas por Zorzal et al. 2008 em aplicações de jogos educacionais com RA. A disposição de reutilizar e recomendar o protótipo constitui evidência de aceitação no grupo investigado, mas não comprova, isoladamente, aumento de motivação ou aprendizagem.

4.5. Síntese dos Resultados por Dimensão TAM

A Tabela 5 apresenta a síntese das médias por dimensão TAM.

| Tabela 5. Síntese das Médias por Dimensão TAM |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| Dimensão TAM                                  | Média |
| Utilidade Percebida (Q1–Q4)                   | 4,65  |
| Facilidade de Uso (Q5–Q8)                     | 3,70  |
| Intenção de Uso (Q9–Q10)                      | 5,00  |
| Média Geral (todos os itens)                  | 4,34  |

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

4.6. Discussão Integrada dos Resultados

A análise integrada das três dimensões do TAM revela um padrão coerente: o sistema obteve Utilidade Percebida de 4,65 e Intenção de Uso de 5,00, enquanto a Facilidade de Uso alcançou 3,70. A média geral de **4,34** nos dez itens indica uma avaliação positiva no grupo investigado. Em razão do tamanho reduzido da amostra, esses resultados devem ser interpretados como evidências exploratórias sobre a aceitação do protótipo.

Os resultados mostram que, mesmo diante das dificuldades operacionais registradas, os cinco participantes indicaram intenção de reutilizar e recomendar a ferramenta. Essa aceitação é compatível com o potencial de exploração e interação atribuído às aplicações educacionais de RA (Ibáñez e Delgado-Kloos 2018).

Do ponto de vista técnico, a abordagem baseada em OpenCV e MediaPipe mostrou-se viável para a implementação do protótipo sem sensores especializados. A utilização da câmera convencional do computador como dispositivo de entrada reduz a quantidade de equipamentos necessários, embora a avaliação não tenha comparado custos, desempenho ou acessibilidade com outras soluções de RA.

5. Conclusão

Este trabalho investigou a viabilidade técnica e a aceitação de um sistema de Tangram baseado em Realidade Aumentada, desenvolvido com Python, OpenCV e MediaPipe. A avaliação do protótipo, fundamentada nas dimensões do Modelo de Aceitação Tecnológica (TAM) de Davis (1989), permitiu responder à questão norteadora: foi possível implementar uma solução interativa com câmera convencional, sem dispositivos físicos

especializados, que recebeu avaliação positiva entre os participantes adultos investigados. A facilidade operacional, contudo, não foi avaliada de maneira uniformemente positiva.

Os dados dos cinco adultos indicaram média de 4,65 em Utilidade Percebida, 3,70 em Facilidade de Uso e 5,00 em Intenção de Uso. A média geral foi de **4,34**. Esses resultados mostram receptividade ao protótipo no grupo avaliado, mas não comprovam ganho de aprendizagem ou eficácia pedagógica, pois o instrumento empregado mensurou percepções de aceitação e uso, e não o desempenho matemático antes e depois da experiência.

Como principal limitação operacional, os itens relacionados à manipulação das peças e à facilidade geral de uso obtiveram média de 2,80 e apresentaram maior dispersão. O resultado aponta a necessidade de aperfeiçoar a interação gestual e de realizar novos testes controlados. Sem dados técnicos adicionais, não é possível determinar se as dificuldades decorreram do rastreamento, dos critérios de reconhecimento dos gestos, das condições ambientais ou da familiaridade dos participantes com esse tipo de interface.

Sob a perspectiva metodológica, o estudo apresenta uma implementação exploratória baseada em ferramentas de código aberto e em uma câmera convencional. A principal limitação da avaliação é o número reduzido de participantes, razão pela qual os resultados não devem ser generalizados. Ainda assim, o estudo oferece indícios úteis para o aperfeiçoamento do protótipo e para avaliações posteriores com amostras maiores.

Para a continuidade desta linha de pesquisa, sugerem-se as seguintes frentes de atuação: (i) expansão do número de participantes para viabilizar análises estatísticas mais abrangentes; (ii) condução de avaliações longitudinais voltadas à mensuração do desempenho acadêmico em tópicos de geometria; (iii) implementação de novos módulos pedagógicos que explorem propriedades como frações, simetria e equivalência de áreas; e (iv) realização de estudos comparativos entre o Tangram físico, o digital bidimensional e o ambiente de RA.

Em síntese, os resultados indicam que a integração entre Realidade Aumentada e visão computacional constitui uma alternativa tecnicamente viável para o desenvolvimento de recursos interativos voltados ao ensino de geometria. O protótipo recebeu avaliação positiva dos participantes adultos, embora a facilidade de manipulação gestual ainda exija aperfeiçoamentos. Estudos posteriores, com amostras maiores e instrumentos destinados à mensuração da aprendizagem, poderão aprofundar a avaliação de suas contribuições educacionais.

## Referências

- Bradski 2000 BRADSKI, G. The OpenCV library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, v. 25, n. 11, p. 120–125, 2000.
- Davis 1989 DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, p. 319–340, 1989.
- Gillies 2025 GILLIES, S. *The Shapely User Manual*. [S.l.], 2025. Disponível em: <<https://shapely.readthedocs.io/en/2.1.2/manual.html>>. Acesso em: 3 ago. 2026.
- Harris et al. 2020 HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. *Nature*, v. 585, n. 7825, p. 357–362, 2020.

Ibáñez e Delgado-Kloos 2018 IBÁÑEZ, M.-B.; DELGADO-KLOOS, C. Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, v. 123, p. 109–123, 2018.

Milgram e Kishino 1994 MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D, n. 12, p. 1321–1329, 1994.

Scherer, Siddiq e Tondeur 2019 SCHERER, R.; SIDDIQ, F.; TONDEUR, J. The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. *Computers & Education*, v. 128, p. 13–35, 2019.

Sodré et al. 2025 SODRÉ, L. S. et al. O tangram como ferramenta auxiliar no ensino da geometria plana. *Educação Matemática em Revista*, v. 30, n. 86, p. 1–11, 2025.

Zhang et al. 2020 ZHANG, F. et al. *MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking*. 2020. ArXiv preprint arXiv:2006.10214. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2006.10214>>.

Zorzal et al. 2008 ZORZAL, E. R. et al. Aplicação de jogos educacionais com realidade aumentada. *RENOTE*, v. 6, n. 2, 2008.

## A. Questionário de Coleta de Dados Socioeconômicos

Este apêndice apresenta o instrumento estruturado utilizado para o levantamento do perfil socioeconômico e demográfico dos participantes da pesquisa, conforme fundamentado na Seção 3.3.

**Tabela 6. Estrutura do Questionário Socioeconômico dos Participantes**

| Item | Variável                                  | Opções de Resposta Disponíveis                                                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Identificação                             | Matrícula (campo aberto)                                                                                                                                                                                 |
| 2    | Faixa Etária                              | <input type="checkbox"/> 18 a 20 anos <input type="checkbox"/> 21 a 25 anos<br><input type="checkbox"/> 26 a 35 anos <input type="checkbox"/> 36 anos ou mais                                            |
| 3    | Gênero                                    | <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino<br><input type="checkbox"/> Outro <input type="checkbox"/> Prefiro não responder                                                    |
| 4    | Cor ou Etnia                              | <input type="checkbox"/> Branca <input type="checkbox"/> Preta <input type="checkbox"/> Parda <input type="checkbox"/> Outra                                                                             |
| 5    | Escolaridade Materna                      | <input type="checkbox"/> Nenhuma <input type="checkbox"/> Ensino Fundamental<br><input type="checkbox"/> Ensino Médio <input type="checkbox"/> Ensino Superior<br><input type="checkbox"/> Pós-graduação |
| 6    | Escolaridade Paterna                      | <input type="checkbox"/> Nenhuma <input type="checkbox"/> Ensino Fundamental<br><input type="checkbox"/> Ensino Médio <input type="checkbox"/> Ensino Superior<br><input type="checkbox"/> Pós-graduação |
| 7    | Histórico Escolar<br>(Ensino Médio)       | <input type="checkbox"/> Escola Pública <input type="checkbox"/> Escola Privada<br><input type="checkbox"/> Privada com Bolsa <input type="checkbox"/> Ensino Técnico                                    |
| 8    | Renda Familiar<br><br>(Período 2026.1)    | <input type="checkbox"/> Até 1 salário mínimo <input type="checkbox"/> 1 a 3 salários mínimos<br><input type="checkbox"/> 3 a 5 salários mínimos <input type="checkbox"/> Acima de 5 salários            |
| 9    | Modalidade de Moradia<br>(Período 2026.1) | <input type="checkbox"/> Casa Própria <input type="checkbox"/> Aluguel<br><input type="checkbox"/> Casa do estudante ou outro auxílio                                                                    |