

# **Desenvolvimento de um protótipo de realidade virtual: Tour imersivo pelo prédio da FACOMP**

Lucas dos Santos Soares<sup>1</sup>, Tássio Costa de Carvalho<sup>2</sup>

Bacharelado em Sistemas de Informação, Faculdade de Computação –  
Campus Universitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará  
Av. dos Universitários, s/n – Jaderlândia, Castanhal – PA, CEP 68746-630

*lucas.soares@castanhal.ufpa.br<sup>1</sup>, tassio@ufpa.br<sup>2</sup>*

**RESUMO:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de tour virtual em ambiente 3D da Faculdade de Computação da UFPA, visando superar barreiras geográficas que dificultam o acesso de estudantes e interessados às suas instalações. A solução foi construída utilizando Blender, A-Frame e hospedagem no GitHub Pages, permitindo a exploração interativa diretamente em navegadores, sem necessidade de equipamentos especializados. Foram avaliadas as percepções de 20 discentes, que indicaram alta satisfação com a navegação e a fidelidade visual, evidenciando o potencial da aplicação para fins educacionais, culturais e institucionais. O processo de concepção e avaliação apontou como pontos fortes a autonomia na exploração do ambiente virtual, além de desafios relacionados a bugs em dispositivos móveis e à melhoria da qualidade gráfica. Como trabalhos futuros, recomenda-se aprimorar usabilidade, acessibilidade e desempenho, além de incorporar recursos multimídia para enriquecer a experiência imersiva.

**Palavras-chave:** Tour virtual; Realidade imersiva; Modelagem 3D; Acessibilidade; Educação.

**ABSTRACT:** This paper presents the development of a virtual tour prototype in a 3D environment for the UFPA School of Computer Science, aiming to overcome geographic barriers that hinder access for students and interested parties to its facilities. The solution was built using Blender, A-Frame, and GitHub Pages hosting, allowing interactive exploration directly in browsers, without the need for specialized equipment. The perceptions of 20 students were evaluated, who indicated high satisfaction with navigation and visual fidelity, highlighting the application's potential for educational, cultural, and institutional purposes. The design and evaluation process identified autonomy in exploring the virtual environment as strengths, as well as challenges related to bugs on mobile devices and improving graphic quality. Future work recommends improving usability, accessibility, and performance, as well as incorporating multimedia resources to enrich immersive experience.

**Keywords:** Virtual tour; Immersive reality; 3D modeling; Accessibility; Education.

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos têm transformado a forma como interagimos, trabalhamos e aprendemos. A integração entre os mundos físico e digital possibilitou o surgimento de ferramentas inovadoras, e dentre elas, as tecnologias imersivas — como a realidade virtual (VR), que permite a simulação de ambientes digitais interativos — vêm ganhando espaço em diversas áreas, especialmente na educação. O

potencial de criar experiências que transcendem os limites da sala de aula tradicional coloca a VR como um campo fértil para a investigação pedagógica.

Um exemplo da crescente adoção de tecnologias imersivas na educação pode ser observado no trabalho de RICCE, RICCE E SISCOUTTO (2021), que desenvolveram a aplicação *PortuGamesVR* utilizando o framework *A-Frame*. Os autores relataram resultados positivos quanto à usabilidade e à eficiência da ferramenta, que obteve média de 4,93 em uma escala de 0 a 5,0 nos testes aplicados. A solução foi considerada eficaz e viável para uso em sala de aula, evidenciando o *A-Frame* como uma tecnologia promissora para a criação de recursos didáticos interativos, com potencial de expansão futura.

Nesse contexto de crescente interesse, a aplicação da realidade virtual no ambiente educacional tem chamado a atenção de pesquisadores e instituições. FERNANDES et al. (2024) destacam o potencial transformador dessa tecnologia no ensino superior, ressaltando sua capacidade de enriquecer a experiência educacional por meio de ambientes imersivos e interativos. Tais ambientes promovem maior engajamento e compreensão dos conteúdos, além de favorecerem a acessibilidade e a inclusão. Embora desafios técnicos e pedagógicos ainda persistam — como infraestrutura adequada e capacitação docente —, esses obstáculos podem ser superados com planejamento e colaboração.

Complementando essa perspectiva, FERREIRA et al. (2022) investigaram os fatores que influenciam as atitudes dos estudantes do ensino superior em relação à adoção da realidade virtual, com base na teoria da difusão de inovações (IDT) de Rogers (2003). O estudo revelou que, embora fatores como vantagem relativa e complexidade não tenham impactado significativamente as atitudes dos estudantes, elementos como compatibilidade, observabilidade e diversão percebida foram determinantes. Esses achados reforçam a importância de proporcionar experiências práticas com a realidade virtual, ampliando a percepção de suas vantagens e aplicações no contexto educacional.

### **1.1. Definição do problema**

A Faculdade de Computação (FACOMP), da Universidade Federal do Pará (UFPA), localizada em Castanhal - PA, tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento tecnológico e educacional regional. Sua influência ultrapassa os limites do campus-sede, e alcança diversas cidades vizinhas, como Inhangapi, Capanema, São Francisco do Pará, Santa Izabel do Pará, entre outras. No entanto, a distância física entre essas localidades e a FACOMP dificulta o acesso de futuros calouros, docentes e servidores interessados em conhecer suas instalações. A longa distância, falta de transporte público adequado e custos de deslocamento, diminui o acesso que essas pessoas têm às informações e recursos oferecidos pela FACOMP.

Nesse contexto, a VR tem se mostrado uma solução promissora para superar barreiras geográficas, sendo cada vez mais utilizada por instituições de ensino para oferecer visitas virtuais imersivas de suas instalações. Contudo, as soluções tradicionais desta tecnologia têm limitações que dificultam a sua utilização em larga escala, os equipamentos de realidade virtual, como óculos e sensores, são caros e precisam de *softwares* específicos, o que pode ser um obstáculo para pessoas com pouca experiência em tecnologias e recursos financeiros limitados. Essa falta de acessibilidade e inclusão digital impede que a FACOMP utilize a VR como ferramenta eficaz de divulgação da faculdade e seus projetos.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo desenvolver um protótipo de uma aplicação web de realidade virtual interativa e acessível, permitindo que os usuários explorem o ambiente da faculdade de forma prática e imersiva, diretamente em smartphones e computadores, sem a necessidade de equipamentos especializados.

## **1.2 Objetivo Geral**

Desenvolver um protótipo de tour virtual imersivo em realidade virtual (VR) pelo prédio da Faculdade de Computação da Universidade Federal do Pará (FACOMP), utilizando o framework A-Frame, com foco na usabilidade e imersão.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Modelar em 3D os ambientes internos e externos da FACOMP com semelhança visual, utilizando o Blender;
- Integrar os modelos 3D em uma aplicação web responsiva utilizando o framework A-Frame;
- Proporcionar uma navegação livre e intuitiva pelo ambiente virtual, sem dependência de caminhos pré-definidos;
- Avaliar a experiência do usuário quanto à usabilidade, imersão, qualidade visual e interesse pela ferramenta;
- Disponibilizar a aplicação online, via GitHub Pages, garantindo acesso remoto e multiplataforma.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLÓGICO**

### **2.1. Realidade Virtual**

A Realidade Virtual (VR – Virtual Reality) pode ser definida como uma interface computacional avançada que permite ao usuário interagir e se sentir imerso em um ambiente tridimensional gerado por computador. O objetivo central dessa tecnologia é simular ambientes — sejam eles réplicas do mundo real ou cenários inteiramente fictícios — e recriar a sensação de presença para o utilizador, fazendo-o perceber o ambiente virtual como uma realidade momentânea.

Essa imersão é sustentada por dois pilares: a tecnologia e a interatividade. Conforme aponta o Laboratório de Tecnologia e Educação a Distância (LABTEVE, s.d.), a VR faz uso de "técnicas e dispositivos especiais que estimulam os sentidos do usuário". Equipamentos como óculos de realidade virtual, fones de ouvido e sensores de movimento isolam o indivíduo de estímulos externos e o inserem no ambiente digital. Além disso, esses sistemas são "responsivos, uma vez que utilizam as ações do usuário para gerar em tempo real estímulos sensoriais para o mesmo", garantindo uma experiência dinâmica e interativa (LABTEVE, s.d.).

No campo da educação, o potencial da VR tem sido explorado em diversas aplicações que buscam superar as limitações do ensino tradicional. Exemplos notáveis incluem a condução de simulações práticas em ambientes controlados, a realização de visitas virtuais a locais históricos ou de difícil acesso, e a visualização intuitiva de estruturas complexas, como modelos moleculares em aulas de química.

### **2.2. Ambiente tridimensional**

O ambiente tridimensional é o pilar sobre o qual a experiência de Realidade Virtual é construída. Trata-se de um espaço digital matematicamente definido por um sistema de coordenadas cartesiano de três eixos: X (largura), Y (altura) e Z (profundidade). A inclusão do eixo Z é o diferencial fundamental em relação a ambientes bidimensionais, pois permite a representação de volume, profundidade e perspectiva, elementos essenciais para simular um espaço que pode ser explorado pelo usuário.

Dentro deste espaço, são inseridos e manipulados os objetos ou modelos tridimensionais. Cada objeto é constituído por uma malha de polígonos (geralmente triângulos), cujos vértices possuem coordenadas (X, Y, Z) que definem sua posição e forma. Além da sua geometria, os objetos possuem propriedades como translação (posição no espaço), rotação (orientação) e escala (tamanho), que podem ser alteradas para criar cenas dinâmicas e interativas.

A visualização do ambiente tridimensional em uma tela 2D (como a de um monitor ou dos visores de um óculos de VR) é realizada através do processo de renderização. Esse processo calcula a cena a partir de um ponto de vista específico, definido por uma "câmera" virtual. Para conferir realismo e imersão à cena renderizada, são aplicados elementos adicionais, como texturas (imagens que revestem as superfícies dos objetos para simular materiais), iluminação (fontes de luz que geram brilhos e sombras, acentuando a profundidade) e shaders (algoritmos que determinam como a luz interage com as diferentes superfícies). Juntos, esses componentes transformam um modelo matemático abstrato em um mundo virtual verossímil e interativo.

### **2.3. A-Frame**

Na construção do tour de realidade virtual no prédio da FACOMP, optou-se pela utilização do framework A-Frame, desenvolvido pela Mozilla. Trata-se de um framework de código aberto para a criação de experiências em realidade virtual e aumentada na web, baseado em HTML, CSS e JavaScript (A-FRAME, 2023). Sua principal vantagem está na simplicidade de sua sintaxe declarativa, que permite a rápida criação de cenas 3D interativas diretamente no navegador web, sem a necessidade de conhecimentos aprofundados em computação gráfica. Essa característica favoreceu a rápida prototipagem e o desenvolvimento ágil do projeto, além de tornar o conteúdo acessível em diferentes dispositivos.

O A-Frame é construído sobre a biblioteca Three.js, uma ferramenta de baixo nível amplamente utilizada para renderização 3D na web. Enquanto o A-Frame adota uma abordagem declarativa e simplificada, voltada à criação rápida de experiências imersivas com sintaxe baseada em HTML, o Three.js oferece maior controle sobre os elementos gráficos e a lógica da cena, exigindo, por outro lado, um conhecimento mais profundo da programação em JavaScript e de computação gráfica.

Segundo COSTA e MARTINS (2022), a biblioteca Three.js apresentou os piores resultados em testes de desempenho entre as tecnologias analisadas, embora tenha se destacado por ser a mais leve em termos de tamanho em memória e consumo de RAM. Apesar de contar com menos funcionalidades nativas para o desenvolvimento de aplicações completas, essa limitação pode ser contornada por meio de plugins externos. O estudo conclui que o Three.js é mais indicado para o enriquecimento visual de páginas web, sendo menos apropriado para aplicações completas e complexas. No entanto, destaca-se como a única biblioteca entre as avaliadas com amplo suporte a diversos formatos de arquivos 3D, especialmente aqueles vindos de softwares proprietários ou específicos de modelagem, o que a torna relevante em contextos que exijam compatibilidade com tais formatos.

Dessa forma, a escolha pelo A-Frame neste projeto considerou não apenas a facilidade de uso e a curva de aprendizado reduzida, mas também a adequação à proposta educacional e ao escopo do tour virtual, que prioriza acessibilidade, prototipagem rápida e compatibilidade com navegadores web. Mesmo que o Three.js ofereça maior flexibilidade e desempenho mais leve em memória, sua complexidade e limitação funcional o tornam

menos indicado para projetos que buscam acessibilidade e menor tempo de desenvolvimento.

## 2.4. Blender

A criação de um tour virtual imersivo depende, em grande medida, da qualidade da modelagem 3D do ambiente representado. Para atender a essa necessidade, optou-se pelo uso do Blender, um software gratuito e de código aberto amplamente utilizado nas indústrias de jogos, animação, arquitetura e visualização interativa (BLENDER FOUNDATION, 2025).

O Blender destaca-se por suas funcionalidades avançadas para modelagem, texturização, simulação da física e renderização. No contexto deste projeto, sua interface relativamente acessível e o vasto conjunto de ferramentas permitiram a criação ágil de um modelo tridimensional do prédio da FACOMP, servindo como protótipo inicial para a composição do tour virtual. Ainda que o modelo esteja em fase de refinamento, já foi possível observar a precisão geométrica e o potencial realista proporcionado pelo software.

Uma das vantagens críticas do Blender frente a outras soluções de modelagem — como SketchUp ou Tinkercad — é sua capacidade de exportar em uma ampla variedade de formatos, incluindo .glTF, .obj e .fbx, fator essencial para a integração eficiente com frameworks como o A-Frame e a biblioteca Three.js.

Além disso, diferente de softwares proprietários que exigem licenciamento, o Blender oferece total liberdade de uso, o que representa uma vantagem significativa em projetos educacionais ou de baixo custo. Sua comunidade ativa, com extensa documentação e recursos de aprendizado, também contribui para sua adoção em contextos acadêmicos. No entanto, cabe destacar que, devido à sua complexidade e riqueza de recursos, a curva de aprendizado do Blender pode ser mais demorada para usuários iniciantes.

Complementando essa perspectiva, CORREA (2023) destaca o Blender como uma ferramenta eficaz para introdução ao estudo de modelagem 3D no ensino superior, ressaltando sua aplicabilidade pedagógica e acessibilidade:

“Com apenas algumas ferramentas básicas, é possível a criação de um objeto 3D. [...] O Blender é um programa que tem compatibilidade com quase todos os sistemas operacionais, além de não ser preciso instalar — qualquer versão oferece um download compactado para ser executado” (CORREA, 2023).

A autora enfatiza ainda que o ensino de modelagem 3D pode ser descomplicado e efetivo com o uso do Blender, sendo uma ferramenta viável para capacitar estudantes a desenvolver objetos tridimensionais dentro de suas respectivas áreas de formação. Essa visão reforça a adequação do Blender não apenas como solução técnica para modelagem, mas também como recurso didático e de democratização do acesso às tecnologias tridimensionais.

Dessa forma, a escolha pelo Blender neste projeto equilibra robustez técnica, acessibilidade e compatibilidade, tornando-se uma solução ideal tanto para desenvolvimento quanto para fins educacionais.

## 2.5. GitHub Pages

O GitHub Pages é um serviço gratuito de hospedagem de sites estáticos, amplamente utilizado por desenvolvedores para publicar projetos diretamente a partir de repositórios Git. Sua integração nativa com o GitHub facilita o versionamento e a atualização contínua, sendo ideal para aplicações simples desenvolvidas com HTML, CSS

e JavaScript, como o tour virtual apresentado neste trabalho (GITHUB, 2025). SARTORIO (2024) também evidenciou a efetividade da plataforma ao utilizá-la na publicação de um protótipo de comércio eletrônico com modelos 3D, ressaltando sua praticidade na disponibilização de conteúdos estáticos online.

Em comparação com plataformas como Netlify e Vercel, que oferecem funcionalidades adicionais como builds automatizados, previews de deploy e suporte a frameworks modernos, o GitHub Pages é mais limitado, porém mais simples e direto. Já o Firebase Hosting, voltado a aplicações mais complexas, exige maior configuração, mas oferece integração com backend e banco de dados.

Portanto, para fins de prototipagem rápida e publicação de conteúdo estático, o GitHub Pages demonstrou ser uma solução prática, eficiente e alinhada às necessidades deste projeto.

### **3. TRABALHOS CORRELATOS**

Baseando-se no artigo de FERNANDES (2017) em que os autores propõem e descrevem o desenvolvimento de um tour virtual interativo utilizando realidade virtual e aumentada com o objetivo de divulgar o acervo e os espaços da Fundação Calouste Gulbenkian. Eles argumentam que tecnologias imersivas, como o A-Frame, combinadas com ferramentas de geolocalização, podem proporcionar uma nova forma de acesso ao patrimônio cultural, tornando-o mais atrativo, acessível e educativo.

A escolha do A-Frame como framework para o desenvolvimento da experiência imersiva, mencionada, demonstra um crescimento de ferramentas web para a criação de ambientes virtuais interativos. Este fato, reforça a abordagem deste estudo em desenvolver um protótipo acessível via web, para oferecer experiências imersivas sem a necessidade de instalação de softwares específicos.

De maneira similar a FERNANDES (2017) o estudo de SANTOS E CARDOSO (2019) analisou a facilidade e o esforço da construção de um tour virtual interativo com fotos em 360°, utilizando o framework A-Frame.

O objetivo foi avaliar se um designer multimídia, com habilidades básicas em tecnologias web, conseguiria desenvolver um tour virtual sem a necessidade de ferramentas complexas como Unity e Unreal. Como estudo de caso, os autores optaram por construir um tour virtual pelo museu Monográfico de Conímbriga. Os resultados demonstraram dificuldades no posicionamento manual de objetos 3D, a ausência de suporte a CSS, a necessidade de programar interações mais complexas com JavaScript e limitações de compatibilidade entre navegadores. Concluíram que o A-frame é possível criar experiências de VR, porém, exige um esforço de desenvolvimento maior que o esperado.

Em comparação, no trabalho de LIU, WILKENS E KIM (2024), explora-se o desenvolvimento de um tour virtual imersivo para o Museu do Submarino USS Drum, localizado em Mobile, Alabama, EUA, utilizando imagens em 360 graus integradas a conteúdo multimídia. Através da tecnologia da Matterport, os autores utilizaram fotos detalhadas do submarino e recursos multimídias, como relatos orais de um veterano do USS Drum, para criar uma experiência mais acessível e enriquecedora aos participantes.

O estudo também produziu uma pesquisa de experiência do usuário que mostrou que o tour virtual aumentou significativamente o engajamento do público, apesar de alguns sofrerem limitações técnicas. Os autores concluem que a integração de tours virtuais imersivos com histórias orais é eficaz para criar experiências educacionais envolventes, ampliando o acesso e preservando o legado do USS Drum.

A Tabela 01 apresenta os principais resultados dessa comparação, considerando critérios como funcionalidades, interface e experiência do usuário. A tabela também destaca os aspectos que a aplicação desenvolvida neste trabalho pretende incorporar ou aprimorar.

**Tabela 01. Comparações das aplicações**

Aplicação	Funcionalidades	Interface	Experiência do usuário
Tour UFSM <sup>1</sup>	Fotos em 360°; Movimentação pelas setas do teclado; Alterna entre os dispositivos, como desktop e cardboard.	Design simples, com poucas informações. Setas direcionais na tela para movimentação.	A experiência é razoável, pois na movimentação mostra uma tela de carregamento com pequenas demoras de exibição.
Museu USP <sup>2</sup>	Utilização da plataforma vila360, que utiliza fotos em 360°; Movimentação pré-definida; Pontos de interesse com imagens e textos.	Design simples, com indicação de informações; Menu lateral; Círculos informando o local para onde ir.	Experiência boa, bastante informações e pontos de interesse; Imagens de alta qualidade.
Tour Mooca <sup>3</sup>	Imagens em 360°; A movimentação no ambiente é por cenas, onde é mostrado por slides; Opção de tirar fotos do tour; Opção de esconder os controles.	Simple, com poucas informações; Setas direcionais para alternar entre as cenas; Menu de opções na parte inferior da tela.	Experiência razoável, possui uma navegação fora do usual, com rotação do mouse invertida. Com a navegação por slides não proporciona uma interatividade imersiva.
Universidade Católica de Brasília <sup>4</sup>	Utilização da plataforma Matterport para a realização do tour, com várias fotos do local, simulando um ambiente 3D; Movimentação por cliques com o mouse, em um caminho pré-definido;	Simple, intuitiva e com várias opções da plataforma utilizada; Menu lateral de busca, para ir a outros locais do tour.	A experiência de navegação é bem imersa, permitindo que os usuários explorem os espaços de forma detalhada.
Tour pela FACOMP (proposta)	Navegação por um ambiente 3D; Movimentação livre pelo clique do mouse(desktop) ou toque na tela(Smartphone ou tablet); Pontos de interesse no ambiente 3D, simulando como se estivesse na vida real.	Interface simple e intuitiva; Poucos botões e informações na tela.	Pretende-se que o usuário tenha uma experiência imersiva e interativa, causando a sensação de estar no local.

Fonte: Autor

Para complementar a pesquisa, realizou-se uma análise comparativa entre a aplicação proposta e outras quatro disponíveis ao público, consideradas relevantes na área. A Aplicação 01 consiste em um tour virtual pelo campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Frederico Westphalen. A Aplicação 02 apresenta um tour pelo Museu de Zoologia da USP. A Aplicação 03 explora o campus Mooca da Universidade Anhembi Morumbi, enquanto a Aplicação 04 oferece um tour pela Universidade Católica de Brasília.

### 3.1 Análise crítica das aplicações

As aplicações analisadas apresentam limitações comuns, como navegação por caminhos pré-definidos, uso de imagens panorâmicas em 360° e interação restrita a pontos clicáveis, o que reduz a sensação de imersão. O tour da UFSM sofre com telas de carregamento durante as transições; o Museu da USP oferece imagens de alta qualidade e

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.ufsm.br/unidades-universitarias/frederico-westphalen/tour-virtual>

<sup>2</sup> Disponível em: <https://vila360.com.br/tour/mzusp/>

<sup>3</sup> Disponível em: <https://portal.anhembi.br/unidades/mooca/>

<sup>4</sup> Disponível em: <https://ucb2.catolica.edu.br/portal/noticias/ucb-lanca-tour-virtual-da-infraestrutura/>

informações ricas, mas mantém navegação limitada; o tour da Mooca apresenta controles pouco intuitivos e interface baseada em slides; já o da Universidade Católica de Brasília proporciona maior detalhamento e uma imersão mais satisfatória, embora ainda com restrições de movimentação. Em contraste, a proposta deste trabalho diferencia-se por permitir navegação livre em ambiente tridimensional renderizado em tempo real, garantindo maior autonomia e realismo ao usuário. Assim, avança em relação a iniciativas anteriores com o A-Frame, como a de Santos e Cardoso (2019), ao superar o modelo estático de tours em 360° e oferecer uma experiência imersiva mais completa, pouco explorada em projetos acadêmicos nacionais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Abordagem metodológica

Este projeto possui abordagem qualitativa e experimental, com o objetivo de desenvolver um tour interativo em realidade virtual acessível por meio da web. A escolha da abordagem qualitativa se justifica pela ênfase na análise da experiência do usuário, usabilidade e percepção de imersão. O caráter experimental se dá na construção e avaliação de um protótipo funcional que será testado com usuários reais.

### 4.2. Levantamento de requisitos

O levantamento de requisitos para este projeto foi conduzido pelo autor, tendo como base a análise de aplicações de tours virtuais similares e a sua própria percepção, como membro da comunidade acadêmica, acerca das funcionalidades essenciais e das necessidades do público-alvo. A partir desse estudo, foram definidos os seguintes objetivos e escopo.

O objetivo central é desenvolver uma aplicação web interativa que possibilite a realização de um tour virtual pela estrutura física da Faculdade de Computação (FACOMP – Castanhal), proporcionando uma experiência imersiva e realista. O escopo do projeto abrange: a) Exploração interativa dos diferentes setores do prédio; b) Navegação compatível com dispositivos desktop e mobile; e c) Inclusão de pontos de informação com detalhes sobre salas, laboratórios e setores administrativos.

O público-alvo da aplicação são estudantes ingressantes, discentes e docentes de outras instituições, e demais interessados que desejem conhecer a estrutura da faculdade de forma remota. Com base nisso, os benefícios esperados são:

- I. Aumento da acessibilidade para usuários geograficamente distantes ou com mobilidade reduzida;
- II. Suporte à tomada de decisões acadêmicas ao reduzir a necessidade de visitas físicas prévias.

### 4.3. Especificações dos requisitos de software

#### I. Requisitos funcionais (RF)

**Tabela 02. Requisitos funcionais**

Requisito	Descrição
RF01	O sistema deve permitir que o usuário inicie um tour virtual no prédio.
RF02	O sistema deve ser acessível tanto em navegadores quanto em dispositivos de realidade virtual.
RF03	O usuário deve poder movimentar-se pelo ambiente em 360°
RF04	O sistema deve exibir informações interativas sobre cada área do prédio.

Fonte: Autor

Os requisitos funcionais vão definir quais as principais funcionalidades que o projeto deve ter, para esse protótipo de tour virtual, o sistema deve permitir que os usuários iniciem a experiência interativa e se movimentam livremente pelo ambiente em 360°.

## II. Requisitos não funcionais (RNF)

**Tabela 03. Requisitos Não Funcionais**

Requisito	Descrição
RNF01	O sistema precisa garantir que vários usuários possam navegar pelo tour simultaneamente sem uma degradação perceptível no desempenho.
RNF02	A interface deve ser responsiva e compatível com dispositivos móveis.
RNF03	A aplicação deve ser compatível com os principais navegadores web (Chrome, Firefox, Safari, Edge)
RNF04	A aplicação deve ter um código-fonte modular e bem documentado para facilitar atualizações e correções de bugs pela equipe de desenvolvimento.

Fonte: Autor

### 4.4. Modelagem e Arquitetura

- **Diagramas comportamentais**

Diagramas de comportamento mostram a dinâmica do sistema, destacando como os componentes interagem ao longo do tempo. Eles se concentram nos processos, interações e fluxos de atividades. Os seguintes diagramas foram produzidos nesse projeto:

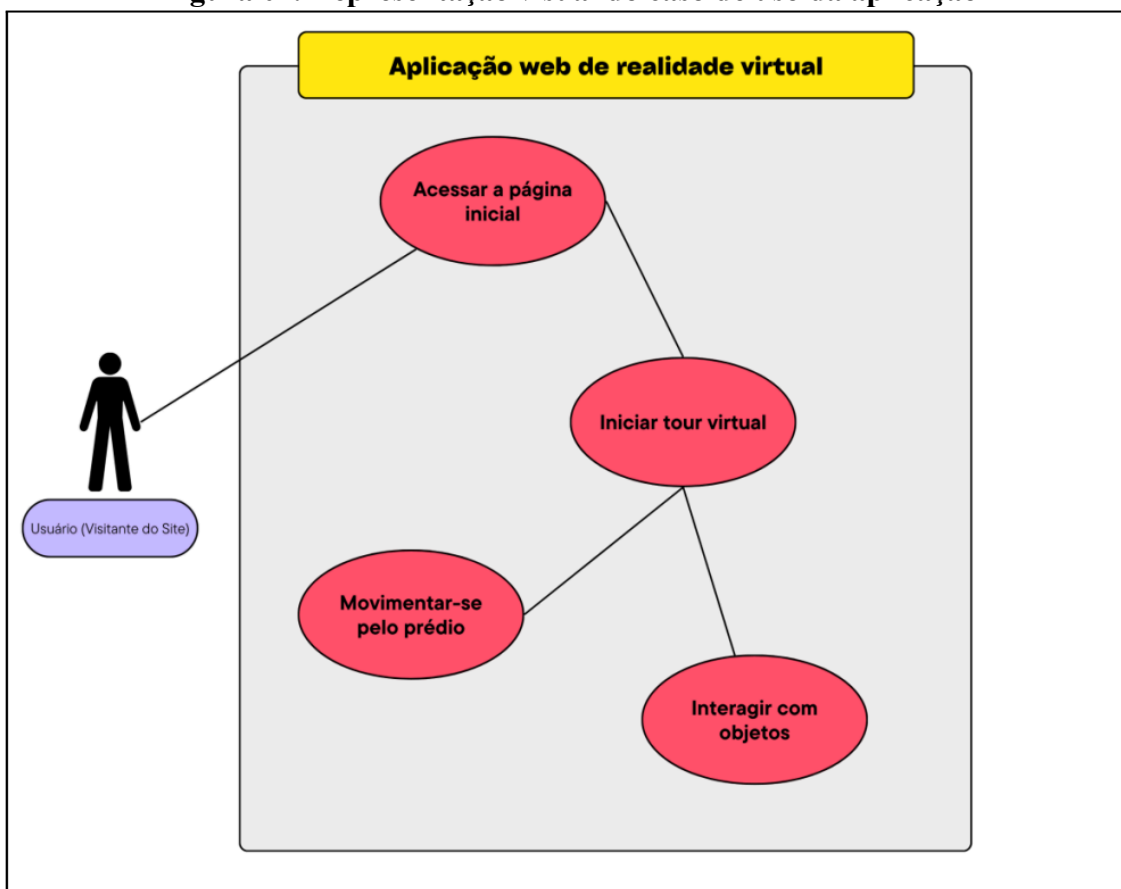
- **Diagrama de casos de uso**

Diagramas de caso de uso são representações da interação do usuário(atores) com o sistema, focado em destacar as funcionalidades disponíveis. No projeto de Tour da FACOMP, demonstrado na Figura 01, mostra os principais recursos e como os usuários deverão interagir com a aplicação. Temos apenas um ator principal: Usuário(visitante do site) e os principais casos de uso são “Acessar a página inicial”, “Iniciar tour virtual”, “Movimentar-se pelo prédio” e “Interagir com objetos”.

O Usuário acessa o tour virtual através da página inicial, após iniciar o tour virtual é possível movimentar livremente pelo prédio e interagir com os objetos disponíveis. Com esse diagrama ajuda a entender os requisitos do sistema e facilita a comunicação com o desenvolvimento e os *stakeholders*.

A Figura 01 apresenta o diagrama de caso de uso da aplicação proposta, que tem como finalidade representar graficamente as principais interações entre o usuário e o sistema. O diagrama adota a notação UML (Unified Modeling Language) para descrever os requisitos funcionais da aplicação, oferecendo uma visão clara e concisa das funcionalidades disponíveis ao usuário final.

**Figura 01. Representação visual do caso de uso da aplicação**



**Fonte: Autor**

O ator representado no diagrama é o Usuário, que assume o papel central e exclusivo na interação com a aplicação. Esse ator é responsável por realizar todas as ações previstas no sistema, sendo, portanto, o foco das funcionalidades descritas.

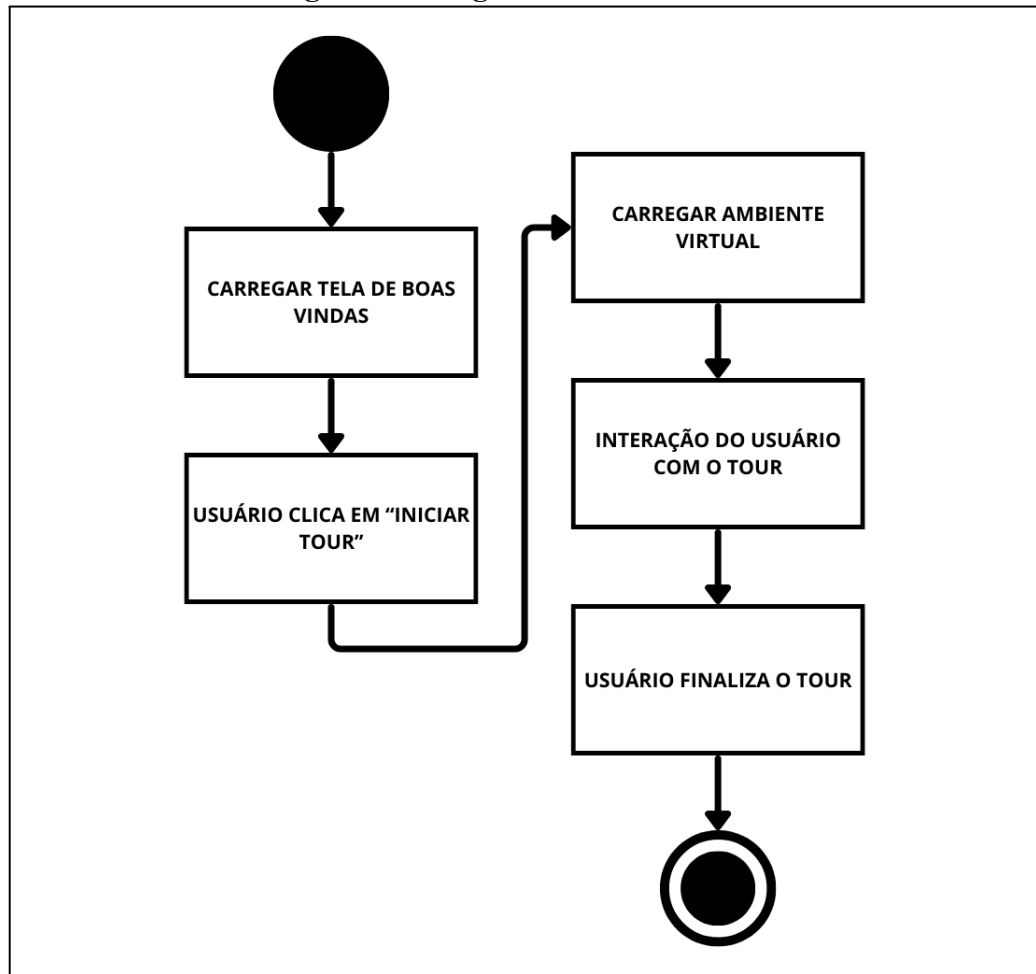
Dentre os casos de uso destacados, estão: Acessar a página inicial, onde o usuário tem contato com a interface inicial da aplicação; Iniciar tour virtual, funcionalidade que dá início à experiência de navegação imersiva; Movimentar-se pelo prédio, que permite a navegação pelo ambiente tridimensional; e Interagir com objetos, recurso que possibilita a ativação de informações ou funcionalidades extras ao se aproximar ou selecionar elementos do cenário virtual.

O objetivo do diagrama é fornecer uma visão macro dos requisitos funcionais do sistema, contribuindo para a definição precisa do escopo do projeto, a comunicação entre os membros da equipe de desenvolvimento e a base para o desenvolvimento técnico das funcionalidades. Além disso, serve como referência durante as etapas de validação e testes do sistema, garantindo que os requisitos mapeados sejam corretamente implementados.

- **Diagrama de atividade**

Os diagramas de atividades são utilizados para mostrar o fluxo de trabalho do sistema, mostrando decisões e suas consequências. Neste projeto, conforme o diagrama da Figura 02, ajuda a entender o caminho que o usuário vai fazer desde o acesso, a interação e até a finalização do tour virtual.

**Figura 02. Diagrama de atividade**



**Fonte: Autor**

O fluxo começa em um nó inicial, representado por uma bolinha preta e finaliza em um nó final, mostrado como uma bolinha preta com bordas brancas. As ações indicam os passos do processo, por exemplo “usuário clica em ‘iniciar tour’” e “interação do usuário com o tour” são ações da aplicação. Há a possibilidade de tomar decisões. Porém a aplicação segue um fluxo contínuo sem decisões.

O fluxo da aplicação segue a seguinte rota: Acessa o site mostrando as boas-vindas do tour e mostrando um botão para iniciar o tour, seguindo para o carregamento do ambiente virtual, depois de carregado o usuário está livre para interagir com o tour, movimentando livremente e por fim, clicando no botão de finalizar o tour é fechado o ambiente virtual.

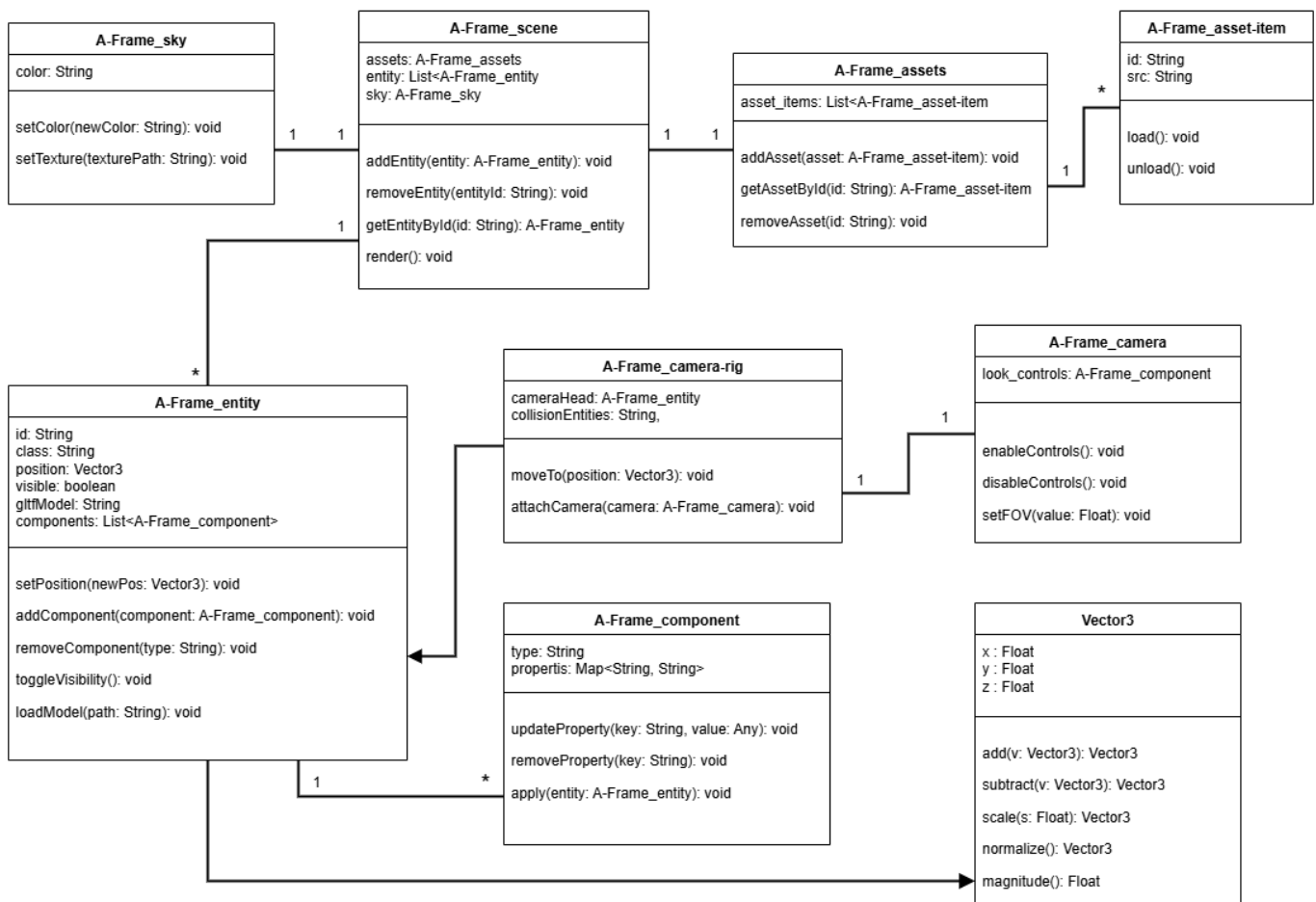
Com esse diagrama é possível visualizar o funcionamento da aplicação e identificar pontos de melhorias e possíveis erros.

- **Diagrama de classe**

O diagrama de classe mostra a estrutura do sistema, mostrando as classes, seus atributos, métodos e como se relacionam. Classes são blocos que representam as entidades da aplicação, atributos são as propriedades das classes e os métodos são as ações/comportamentos que essas classes podem fazer. No diagrama é possível relacionar uma à outra por meio de uma linha simples.

A Figura 03 apresenta o diagrama de classes produzido para o projeto Tour da FACOMP, buscando organizar a estrutura do código ao definir suas entidades principais. A arquitetura é centralizada na classe *A-Frame\_scene*, que atua como o contêiner principal da aplicação e possui os atributos que compõem a experiência virtual: uma ligação para sky (o céu), para assets (recursos como modelos 3D) e para uma lista de entity (as entidades ou objetos da cena).

**Figura 03. Diagrama de classe**  
**Fonte: Autor**



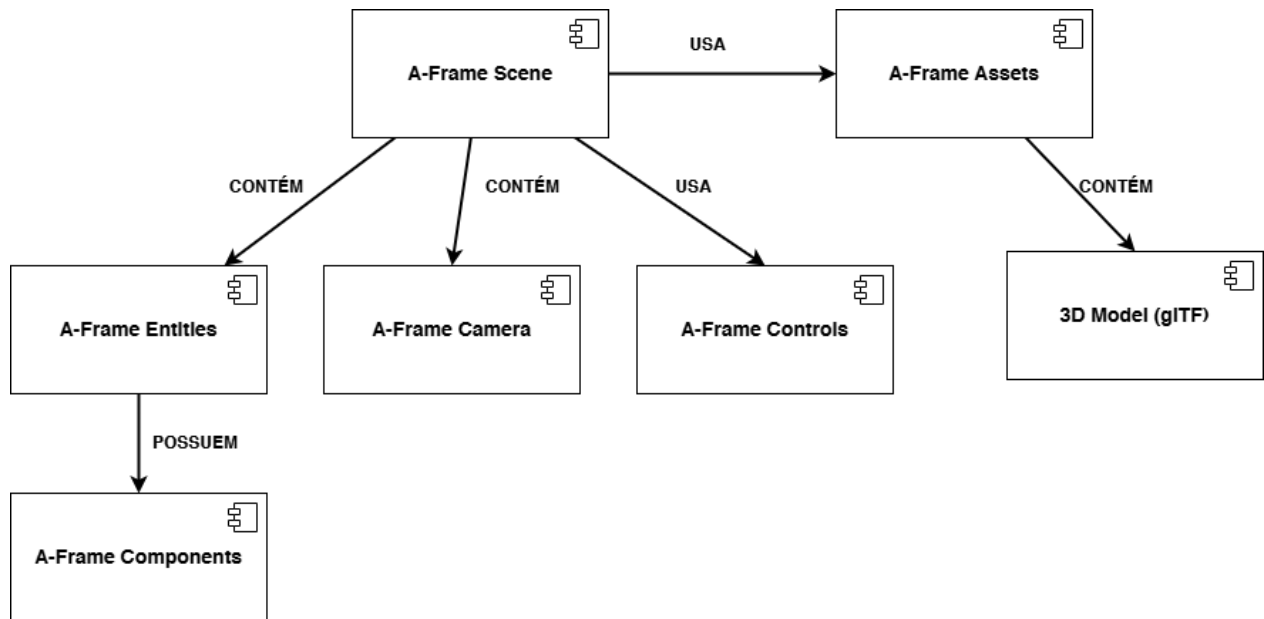
O relacionamento principal segue o padrão de arquitetura Entidade–Componente: a classe *A-Frame\_scene* está associada a múltiplas *A-Frame\_entity*, que por sua vez recebem suas funcionalidades e características de uma ou mais instâncias de *A-Frame\_component*. Vale destacar que, embora o diagrama represente métodos que estruturam a interação entre os elementos, no A-Frame esses comportamentos não são utilizados diretamente pelo programador. Em vez disso, são gerenciados de forma implícita pelo framework, em função da sua abordagem declarativa: os componentes e atributos definidos no HTML são interpretados automaticamente, e o A-Frame se encarrega do restante, criando e gerenciando esses objetos na aplicação.

- **Diagrama de componentes**

Diagramas de componentes são representações da estrutura do software, com módulos, conexões e dependências. Sua utilização é feita para ajudar a visualizar a arquitetura do sistema, facilitando o desenvolvimento e manutenção. O diagrama produzido na aplicação, destacado na figura 04, mostra a estrutura de uma cena produzida com o A-Frame, destacando seus principais componentes.

**Figura 04. Diagrama de components**

Fonte: Autor



O componente A-Frame Scene é o elemento principal, responsável por organizar e renderizar todos os elementos no ambiente 3D do projeto. Os A-Frame Assets, utilizados pelo elemento principal, armazenam os recursos essenciais como texturas, sons e modelos 3D, otimizando o carregamento e a utilização dentro da cena. Os componentes de nomes A-Frame Entities são responsáveis por todos os elementos interativos na cena, como primitivas geométricas, luzes e modelos importados, contidos na cena principal. A A-Frame Camera define a visão do usuário, onde é possível configurar vários modos de visualização e navegação pelo ambiente. Os A-Frame Controls controlam a interação na cena, incluindo a rotação, movimentação e suporte a dispositivos como mouse, teclado e controles VR. Os A-Frame Components adicionam funcionalidades extras as A-Frame Entities, permitindo adição de comportamentos personalizados, animações e físicas realistas. E por último, os 3D Model(glTF) são os objetos tridimensionais otimizados para a web, utilizados para criar os ambientes e modelos detalhados dentro da cena.

#### 4.5. Desenvolvimento do protótipo

- **Modelagem 3D**

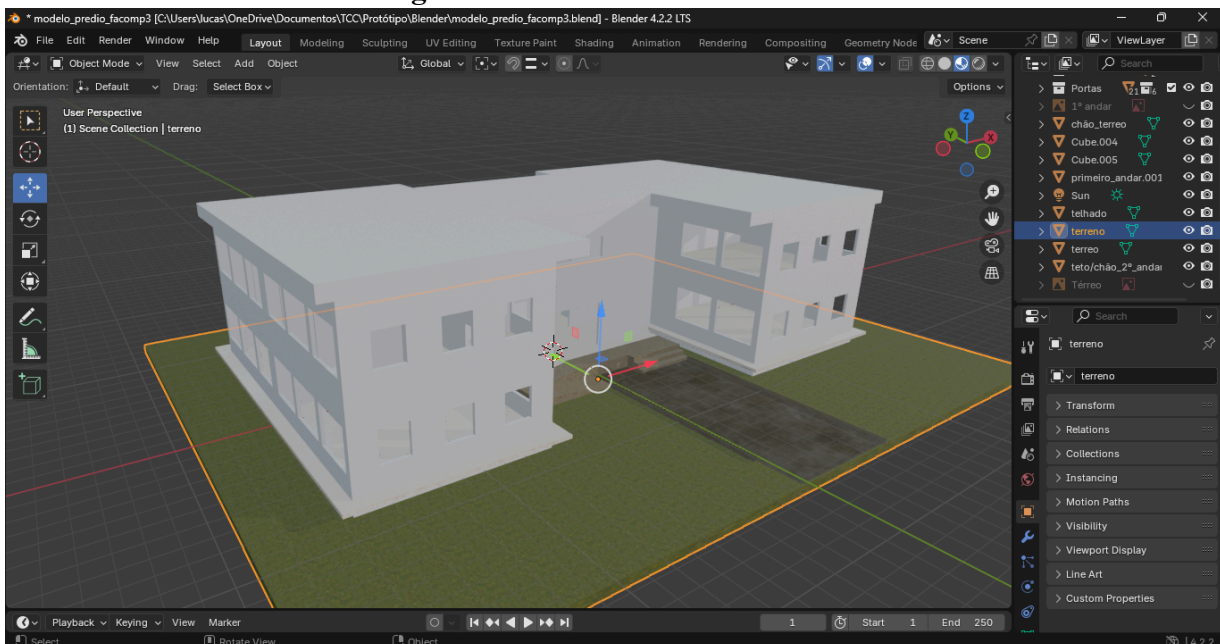
A criação do ambiente 3D, etapa fundamental do projeto, foi integralmente realizada no software Blender, escolhido por ser uma solução de código aberto, robusta e com uma vasta comunidade de suporte. O ponto de partida foi um rigoroso levantamento de referências visuais do prédio da FACOMP, incluindo plantas baixas para precisão dimensional e um acervo fotográfico para detalhes arquitetônicos e de ambiente. O objetivo era construir um "gêmeo digital" do espaço, fiel em sua escala e layout.

O processo de modelagem seguiu a técnica de box modeling, partindo de formas geométricas primitivas (como cubos e planos) que foram progressivamente esculpidas e detalhadas. O fluxo de trabalho foi dividido em duas fases principais: primeiro, uma etapa de blockout, na qual a estrutura geral do prédio e a disposição do mobiliário foram estabelecidas com formas simples para validar as proporções e a navegabilidade do espaço. Em seguida, os modelos foram refinados, adicionando detalhes como portas, janelas e outros elementos. O uso intensivo das ferramentas de medição e snapping (ancoragem) do Blender foi crucial para garantir a fidelidade espacial, um requisito indispensável para um tour virtual que busca oferecer uma percepção de presença e escala realistas.

Para a finalização do protótipo, foi adotada uma estratégia que priorizou a performance em detrimento do fotorrealismo, um balanço essencial para aplicações web interativas. O objetivo era garantir tempos de carregamento rápidos e uma experiência fluida, mesmo em dispositivos com menor poder de processamento ou conexões de internet mais lentas. Para alcançar essa otimização, foram utilizadas texturas de baixa resolução obtidas em repositórios gratuitos — como um material de prototipagem cinza para as paredes e cores sólidas para os móveis. Adicionalmente, a iluminação da cena foi mantida em sua configuração padrão, evitando cálculos complexos de luz e sombra que poderiam impactar o desempenho. Essas decisões foram deliberadas para reduzir o tamanho final dos arquivos e a carga de processamento, tornando o protótipo mais leve e acessível.

O resultado dessa metodologia é um ambiente virtual que, embora visualmente simplificado, é geometricamente preciso e tecnicamente otimizado para sua finalidade de exploração imersiva, conforme ilustrado na Figura 5.

**Figura 05. Modelo 3D da FACOMP**



**Fonte: Autor**

- **Comparação visual entre ambiente real e protótipo virtual**

Com o objetivo de evidenciar o grau de fidelidade alcançado, foram selecionadas imagens comparativas entre fotografias reais do prédio da FACOMP e capturas de tela, por um smartphone, do protótipo virtual desenvolvido.

Para avaliar a fidelidade visual do protótipo em relação ao ambiente físico, foram realizadas comparações entre imagens renderizadas no modelo 3D e fotografias reais do prédio da FACOMP. As Figuras 06 e 07 ilustram a entrada principal da faculdade, permitindo observar a correspondência entre elementos arquitetônicos, disposição espacial e texturização. Essa comparação evidencia o esforço em reproduzir de forma realista a fachada, demonstrando o potencial do modelo virtual como alternativa de visita remota.

**Figura 06: Entrada do prédio virtual**



**Fonte: Autor**

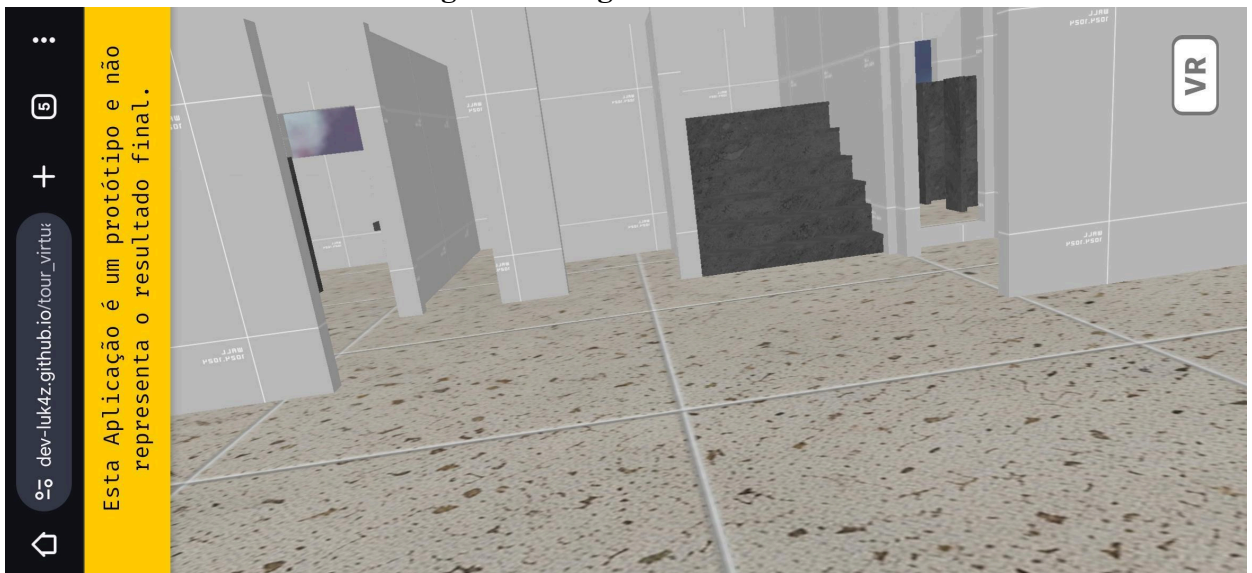
**Figura 07: Entrada do prédio**



**Fonte: Autor**

Da mesma forma, as Figuras 08 e 09 apresentam o saguão do prédio, comparando a versão virtual com o espaço físico real. Nota-se que a modelagem manteve a proporcionalidade e a organização espacial do ambiente, permitindo reconhecer elementos estruturais essenciais. Ainda que o nível de detalhamento gráfico possa ser aprimorado em versões futuras, a representação já oferece um grau satisfatório de imersão, reforçando a fidelidade entre o protótipo virtual e o prédio da FACOMP.

**Figura 08: Saguão virtual**



**Fonte: Autor**

**Figura 09: Saguão**



**Fonte: Autor**

Essas comparações permitem observar de forma clara como elementos arquitetônicos, materiais e a disposição espacial foram representados no ambiente tridimensional, ressaltando o compromisso com a reprodução fiel das características originais.

- **Tela de boas vindas**

Uma landing page foi desenvolvida para a apresentação inicial do tour. Esta página contém informações sobre o projeto e o prédio, incluindo um botão para iniciar o tour virtual e o link para o formulário de avaliação.

- **Integração com o A-Frame**

Após a finalização do modelo 3D, este foi exportado no formato .obj para ser incorporado ao código do projeto. O framework A-Frame foi utilizado para criar a experiência de realidade virtual no navegador e adicionar os modelos 3D à cena virtual.

O A-Frame permite a criação e manipulação de cenas 3D interativas por meio de uma estrutura declarativa baseada em entidades e componentes. No projeto, os modelos 3D foram carregados na cena utilizando a tag `<a-entity>` e o componente `obj-model`, possibilitando sua renderização no ambiente virtual.

Além da importação do modelo, foram aplicadas configurações de câmera e navegação. O A-Frame, por padrão, permite a movimentação por meio das setas direcionais do teclado em computadores de mesa. No entanto, essa funcionalidade não está disponível para dispositivos móveis. Para solucionar essa limitação e permitir a movimentação livre no ambiente virtual, foi importado o pacote "aframe-cursor-teleport-component" via npm. Esse componente adiciona um sistema de teletransporte baseado em toque, permitindo a interação com os objetos 3D e incorporando física ao modelo. Dessa forma, em smartphones, o usuário pode se movimentar no ambiente por meio de toques na tela, enquanto, em computadores de mesa, a movimentação pelas setas direcionais foi substituída pelo clique do mouse na cena.

## 5. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa que objetivou avaliar a experiência do usuário com o protótipo de tour virtual. A aplicação foi testada por 20 discentes da UFPA Castanhal, com foco na coleta de feedback sobre usabilidade, imersão, qualidade visual e interesse na ferramenta.

A análise do perfil dos participantes revelou que a maioria já possuía familiaridade com tecnologias análogas. Verificou-se que 75% dos usuários (15 de 20) já haviam utilizado alguma aplicação de tour virtual anteriormente, enquanto os 25% restantes tiveram seu primeiro contato com a tecnologia por meio deste projeto. Essa experiência prévia majoritária é um fator relevante, pois sugere uma menor curva de aprendizado, permitindo que os participantes focassem sua avaliação na qualidade do conteúdo e da imersão, em vez de nos mecanismos básicos de navegação.

De forma complementar, constatou-se que 70% dos participantes (14 de 20) se declararam familiarizados com a navegação em jogos ou outros ambientes 3D. Esse dado reforça que a interação em espaços tridimensionais é uma prática habitual para grande parte do público-alvo, o que pode ter contribuído positivamente para a aceitação e a facilidade de uso da ferramenta proposta, impactando a percepção geral de sua usabilidade.

## 5.1 Análise Detalhada da Avaliação do Protótipo

A avaliação do protótipo do tour virtual foi estruturada em três eixos principais: a experiência geral do usuário, a usabilidade da navegação e a qualidade da imersão. A seguir, detalhamos a análise para cada uma dessas áreas, utilizando perguntas abertas.

- **Pergunta 01: Como foi sua experiência ao utilizar o tour virtual?**

A recepção geral ao protótipo foi positiva, com os participantes demonstrando entusiasmo e curiosidade. A análise das respostas indica que a experiência foi excelente, por conta da inovação tecnológica e da conexão emocional com o ambiente virtualizado. A fidelidade do modelo 3D ao prédio real foi um fator crucial para o sucesso, proporcionando uma forma envolvente e distinta de explorar as instalações da faculdade, seja para “revisitar” um local conhecido ou para conhecê-lo pela primeira vez.

### Respostas relevantes que destacam essa percepção

- “Toda vez que utilizo, é como se fosse a primeira vez já que amo esse tipo de interação, seja em jogos ou outros ambientes.” (O participante evidenciou o apreço pela tecnologia em si).
- “Revisitar o prédio da Faculdade de Computação! Gostei da experiência.” (Aqui outro participante, destaca o fator nostálgico e a conexão emocional).
- “Foi uma forma diferente e interessante de conhecer o prédio da FACOMP.” (Este, valida o protótipo como uma ferramenta eficaz de exploração).

### Pergunta 02: Você achou fácil ou difícil navegar no ambiente? Por quê?

A navegação foi em sua maioria considerada intuitiva, com o sistema de cliques para locomoção sendo o principal facilitador. No entanto, esta foi a área que revelou os mais importantes desafios técnicos do protótipo. Embora o conceito de controle tenha sido bem aceito, a execução apresentou inconsistências que prejudicaram a experiência de alguns usuários, como travamentos, bugs na movimentação da câmera e, mais criticamente, uma falha que impediu a locomoção em dispositivos móveis. As respostas também trouxeram sugestões valiosas para aprimoramentos futuros.

### Respostas relevantes que ilustram esses pontos

- “Fácil, bem interativo e didático os botões.” (O participante confirma a simplicidade do método de controle).
- “Difícil no início, porque travou um pouco e não estava conseguindo sair do céu.” (Exemplifica um bug crítico que quebra a experiência).
- “\No computador foi fácil de navegar [...] Já no celular não foi possível me locomover.” (Aponta a disparidade de funcionamento entre plataformas, um problema de usabilidade).

### Pergunta 03: A sensação de imersão foi satisfatória? Explique.

A sensação de imersão, objetivo central da experiência, foi amplamente alcançada. O que contribuiu bastante para o sucesso foi a alta fidelidade do modelo 3D, que permitiu aos usuários se sentirem verdadeiramente presentes no ambiente virtual. A estabilidade da aplicação e a atenção a detalhes do cenário também foram citadas como elementos que contribuíram positivamente. Contudo, a análise também identificou o próximo passo para o aprimoramento: a qualidade gráfica, especialmente das texturas, foi mencionada como uma área que, se melhorada, poderia elevar a imersão de "satisfatória" para "totalmente realista". Aprimoramentos esses que podem ser solucionados na versão final da aplicação.

**Respostas relevantes que fundamentam esta análise**

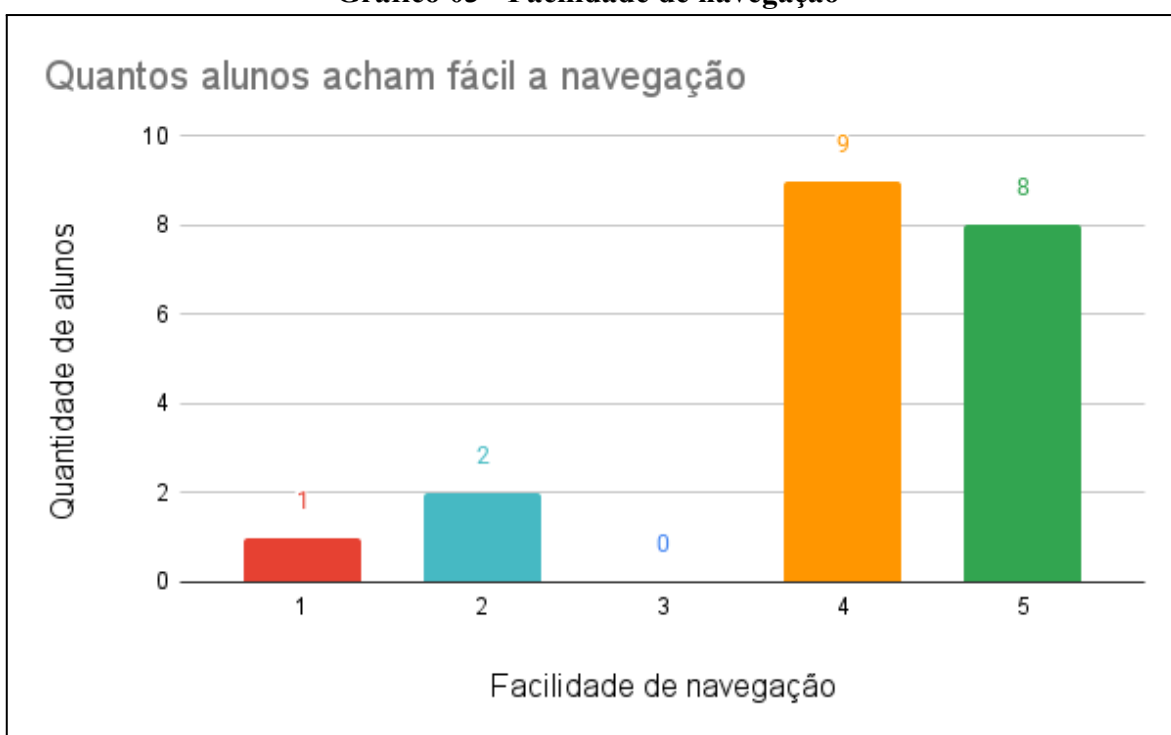
- “Sim, me senti na própria FACOMP.” (Demonstrou muita presença e imersão).
- “A construção do local é bem fiel ao original o que torna a experiência imersiva para quem é estudante do bloco da FACOMP.” (Reforça a fidelidade do modelo como fator principal da imersão).
- “É claro que a texturização compromete a experiência, por conta de os lugares serem mais quadrados, mas o impacto não é tão grande.” (Oferece uma crítica construtiva e equilibrada, validando a experiência atual e apontando o caminho para melhorias).

## 5.2 Avaliação quantitativa do protótipo

Para complementar a análise qualitativa, foi realizada uma avaliação quantitativa com a fim de medir de forma objetiva a percepção dos usuários sobre pontos importantes do protótipo. Os 20 participantes responderam a um questionário com perguntas fechadas, utilizando uma escala de satisfação de 1 (menos satisfatório) a 5 (mais satisfatório). Os eixos avaliados foram: a facilidade de navegação, a qualidade visual do ambiente e o nível de interesse em utilizar a ferramenta em outros contextos.

A avaliação da usabilidade da navegação, detalhada no Gráfico 03, revela uma recepção majoritariamente positiva por parte dos participantes. A análise quantitativa mostra que dezessete dos vinte alunos (85%) consideraram a navegação fácil, atribuindo as notas mais altas da escala (4 e 5). Especificamente, nove participantes avaliaram a facilidade com nota 4, e outros deram a nota máxima, 5.

**Gráfico 03 - Facilidade de navegação**

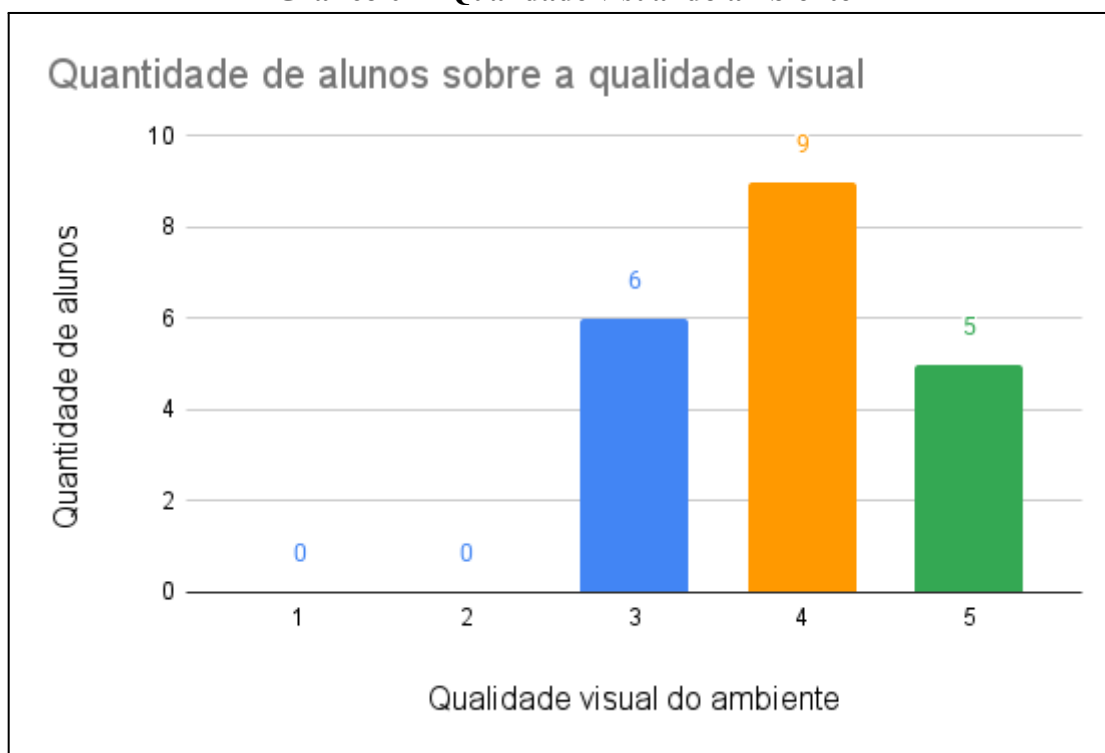


**Fonte: Autor**

Em contraste, uma minoria de 3 participantes (15%) relatou dificuldades, com avaliações nas faixas 1 e 2. Essa diferença nos resultados pode ser diretamente correlacionada com os feedbacks qualitativos, que indicaram a ocorrência de bugs críticos para alguns usuários, como travamentos e a falha completa de locomoção em dispositivos móveis. Portanto, o gráfico evidencia que, embora o sistema de navegação tenha sido considerado intuitivo pela grande maioria, a experiência foi negativamente impactada para um pequeno grupo devido a problemas técnicos que precisam ser priorizados em futuras versões da aplicação.

A qualidade visual do ambiente, analisada no Gráfico 04, obteve uma recepção em grande parte favorável, com uma pontuação média de aproximadamente 4 pontos, indicando uma boa aceitação geral. A maioria dos participantes, quatorze dos vinte entrevistados (70%), atribuiu notas positivas, sendo nove avaliações com nota 4 e 5 com nota 5.

**Gráfico 04 - Qualidade visual do ambiente**



**Fonte: Autor**

No entanto, é importante notar que um grupo expressivo de seis participantes (30%) avaliou a qualidade visual com uma nota neutra (3), e não houve nenhuma avaliação negativa (notas 1 ou 2). Essa distribuição sugere que, embora a fidelidade do modelo 3D tenha sido suficiente para garantir a imersão e uma experiência satisfatória para muitos, as críticas sobre a texturização e o realismo também se refletiram nesses resultados quantitativos.

O gráfico demonstra que a qualidade visual foi um ponto forte do protótipo, mas também o aspecto que, conforme as sugestões dos próprios entrevistados, possui o mais claro potencial de aprimoramento para elevar ainda mais o nível de imersão.

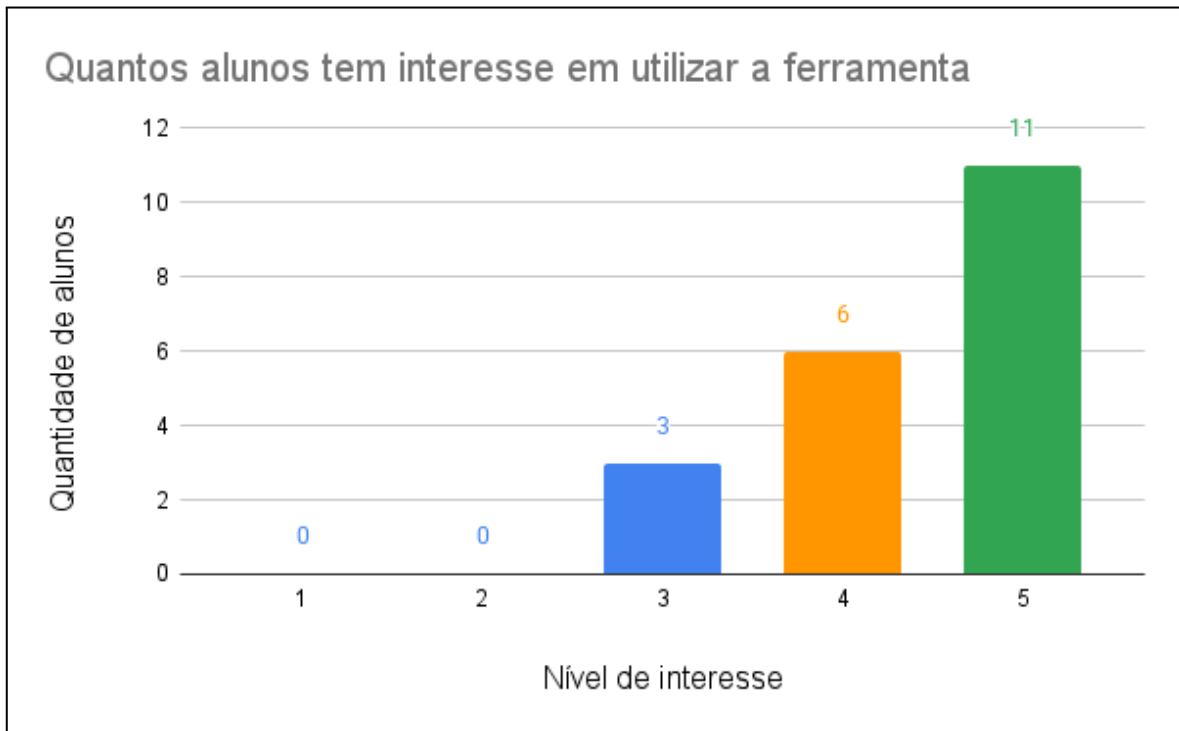
O Gráfico 05, que mede o nível de interesse dos participantes em utilizar a ferramenta em outros contextos, revela um forte potencial de expansão do projeto. Os resultados são positivos, com dezessete dos vinte entrevistados (85%) atribuindo notas 4 ou 5. O pico da avaliação está na nota máxima, feita por onze participantes, o que corresponde a 55% da amostra.

É importante notar a ausência total de desinteresse, pois nenhum participante atribuiu notas 1 ou 2, enquanto apenas uma pequena parcela (15%) se mostrou neutra. Esse alto engajamento quantitativo é justificado pelas sugestões qualitativas, nas quais os usuários recomendaram a aplicação como uma ferramenta de apresentação para novos alunos, uma vitrine tecnológica para congressos e eventos acadêmicos e um meio de democratizar a tecnologia desenvolvida na universidade pública.

Dessa forma, pode-se afirmar que, os dados não apenas sugerem um potencial relevante para a ampliação, mas também validam a percepção dos usuários de que a ferramenta pode cumprir importantes papéis institucionais e educacionais.



**Gráfico 05 - Nível de interesse**



**Fonte: Autor**

### 5.3 Melhorias Sugeridas

As sugestões dos participantes se concentraram em quatro pontos principais: melhorar a parte gráfica (texturas e iluminação), corrigir alguns bugs que atrapalham a navegação, deixar os controles mais fluidos e pensar na inclusão de novos conteúdos. Entre as ideias, apareceram também propostas de expandir o tour para outras áreas do campus e inserir elementos interativos. Esses comentários ajudam a mostrar onde o protótipo precisa evoluir e indicam caminhos práticos para que ele se torne mais completo, acessível e útil para a faculdade.

Os resultados apontam uma recepção bastante positiva do protótipo. A familiaridade dos usuários com ambientes 3D, relatada por 70% dos participantes, parece ter tido um duplo impacto: por um lado, contribuiu para uma adaptação eficiente e altas avaliações na facilidade de navegação; por outro, elevou o padrão de exigência sobre a qualidade visual, gerando sugestões de melhoria em texturas e realismo. Ainda assim, a facilidade de uso e a qualidade visual foram bem avaliadas de forma geral. O elevado interesse em utilizar a ferramenta em outros contextos, onde a maioria dos participantes demonstraram grande interesse, evidencia seu potencial para futuras aplicações, especialmente em ambientes educacionais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como ponto de partida o desafio de superar as barreiras geográficas que dificultam o acesso às instalações da Faculdade de Computação (FACOMP) da UFPA em Castanhal. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo de tour virtual imersivo, acessível via web e sem a necessidade de equipamentos especializados, utilizando Blender para modelagem 3D, A-Frame para a experiência em realidade virtual e GitHub Pages para a hospedagem. O resultado foi validado por vinte discentes, que

destacaram a fidelidade visual do ambiente e a facilidade de navegação, resultando em 85% de avaliação positiva. Dessa forma, a solução demonstrou-se eficaz ao proporcionar imersão e realismo, sobretudo por adotar um sistema de navegação livre em 3D, superando as limitações de tours baseados em fotografias 360° e mostrando-se relevante no cenário acadêmico nacional.

Apesar desses avanços, o protótipo também revelou desafios que orientam sua evolução futura. Foram identificadas necessidades de melhorias gráficas, especialmente na texturização, bem como otimizações de desempenho para dispositivos móveis e correções em falhas de locomoção. Além disso, evidenciou-se a oportunidade de incorporar recursos multimídia, como vídeos e hotspots, e funcionalidades de acessibilidade, como audiodescrição e comandos de voz. Assim, a continuidade do projeto poderá consolidar o protótipo como uma ferramenta robusta e estratégica para a FACOMP, tanto como vitrine tecnológica em eventos quanto como instrumento de integração de novos alunos.

Nesse percurso, o desenvolvimento do tour virtual representou mais do que um exercício técnico: foi uma jornada que uniu a complexidade da modelagem 3D e da programação web à busca por uma experiência de usuário genuinamente imersiva. O objetivo não foi apenas disponibilizar uma galeria de imagens em 360°, mas sim possibilitar uma exploração autônoma, que transmitisse ao visitante a sensação de presença real no ambiente. O feedback positivo dos usuários, que relataram sentir-se "na própria FACOMP", confirma que essa proposta atingiu seu propósito central.

Por fim, compreendo este protótipo não como um ponto de chegada, mas como uma semente. Hoje, já se configura como uma prova de conceito funcional, capaz de servir como porta de entrada digital para novos estudantes — função reconhecida unanimemente pelos avaliadores. Para o futuro, é previsto que a aplicação se torne uma plataforma viva e permanente da FACOMP: um cartão de visitas tecnológico a ser apresentado em possíveis congressos e eventos, e, possivelmente, um espaço virtual para a divulgação de outros trabalhos acadêmicos. Esse projeto, portanto, evidencia o potencial dos estudantes da universidade pública em criar soluções tecnológicas que valorizam e democratizam o acesso ao espaço acadêmico.

## **6.1 Trabalhos futuros**

Como proposta de trabalhos futuros, propõe-se finalizar o protótipo com base nos feedbacks obtidos na avaliação, aprimorando usabilidade, desempenho e acessibilidade apontados como prioritários pelos usuários. Além disso, recomenda-se:

- Incorporar recursos de acessibilidade, como legendas, audiodescrição e comandos por voz, ampliando o alcance da aplicação.
- Explorar técnicas de otimização para reduzir o tempo de carregamento e melhorar a experiência em dispositivos de menor capacidade.
- Adicionar elementos interativos e multimídia, como hotspots, vídeos integrados e animações, para enriquecer o conteúdo e aumentar o engajamento.
- Realizar testes com um grupo mais amplo e heterogêneo, obtendo uma visão mais abrangente sobre diferentes perfis de usuários.

Tais direções podem enriquecer significativamente o projeto, transformando-o de um protótipo inicial em uma aplicação mais robusta, acessível e relevante para contextos educacionais, culturais e institucionais.

## **REFERÊNCIAS**

A-FRAME. Documentação oficial. 2023. Disponível em: <https://aframe.io/docs/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

BLENDER FOUNDATION. Blender. 2025. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

CORREA, B. P. Introdução à modelagem 3D com Blender: um estudo de caso aplicado para a facilitação do aprendizado de criação de objetos 3D, voltado para alunos de graduação. 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/baff2f2d-086c-4f89-8040-a112f47318f3/content>. Acesso em: 2 maio 2025.

COSTA, M. F.; MARTINS, P. R. S. Análise comparativa de bibliotecas JavaScript para a renderização de gráficos 3D em tempo real em aplicações web. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni – Doctum, Teófilo Otoni. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/4858/1/Mateus%20Freitas%20e%20Paulo%20Ricardo.pdf>. Acesso em: 2 maio 2025.

FERNANDES, A. B.; NARCISO, R.; RODRIGUES, I. M.; MOCHNACZ, I.; LÔBO, Í. M.; LEITE, J. C.; MACHADO, J. C.; KLAUCH, J. J.; RODRIGUES, K. S. M. M.; MARTINS, P. W. A. Realidade virtual no ensino superior: transformando a experiência acadêmica. *Revista REASE*, v. 10, n. 4, p. 119–130, abr. 2024. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/13058/6307>. Acesso em: 30 abr. 2025.

FERNANDES, Bruno Miguel Mestre. Virtual tour na Fundação Calouste Gulbenkian: para uma interpretação sensorial do espaço construído. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017. Disponível em: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113704287/Tese\\_50312\\_Virtual%20Tour%20na%20Fundacao%20Calouste%20Gulbenkian.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113704287/Tese_50312_Virtual%20Tour%20na%20Fundacao%20Calouste%20Gulbenkian.pdf). Acesso em: 8 abr. 2025.

FERREIRA, J. B. et al. Adoção de realidade virtual como ferramenta de aprendizado no ensino superior. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, n. E50, p. 591–604, maio 2022. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/2725645642?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Scholarly%20Journals>. Acesso em: 30 abr. 2025.

GITHUB. About GitHub Pages. 2025. Disponível em: <https://docs.github.com/en/pages>. Acesso em: 21 mar. 2025.

LABTEVE. Realidade virtual. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~labteve/portugues/realidadevirtual.html>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LIU, J.; WILLKENS, D. S.; KIM, J. S. Navigating maritime heritage: an immersive virtual tour of the USS Drum Submarine Museum. *Histories*, v. 4, n. 3, p. 346–368, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/histories4030017>. Acesso em: 7 abr. 2025.

RICCE, B. M.; RICCE, C. A. M.; SISCOOTTO, R. A. PortugamesVR: o ensino de português nas escolas de ensino fundamental estadual paulista auxiliado por realidade virtual. *Colloquium Exactarum*, v. 13, n. 4, p. 99–112, dez. 2021. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/4305/3390>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SANTOS, S. G.; CARDOSO, J. C. S. Web-based virtual reality with A-Frame. In: ROCHA, Á.; PEDROSA, I.; COTA, M. P.; GONÇALVES, R. (Eds.). *Proceedings of CISTI 2019 – 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*. IEEE Computer Society, 2019. Artigo 8760795. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760795>. Acesso em: 7 abr. 2025.

SARTORIO, S. P. B. Utilização de modelos 3D no comércio eletrônico. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/5520>. Acesso em: 5 maio 2025.