

Interface e Interatividade em Tours Virtuais: um estudo no Museu do Ipiranga

Calíope Corrêa de Araújo
Universidade Federal de Pernambuco
Recife-PE, Brasil
caliope.araujo@ufpe.br

Jonathan Trancozo da Silva
Pesquisador Independente
Recife-PE, Brasil
jonathantncz@gmail.com

João Marcelo X. N. Teixeira
Universidade Federal de Pernambuco
Recife-PE, Brasil
joao.teixe@ufpe.br

Abstract—This paper presents the development and implementation of a digital tool for creating virtual tours, applied to the Ipiranga Museum in São Paulo. The proposed solution uses opensource technologies such as JavaScript, Node.js, and A-frame.js to offer an immersive and interactive experience through an intuitive interface. The tool enables the insertion of 360° images, configuration of hotspots and integration of audio tracks, allowing for dynamic navigation of the museum’s environments. Additionally, it incorporates real-time communication features via Networked A-frame, fostering social interactions among visitors during the virtual tour. The implementation aims to democratize access to the museum’s collection, overcoming physical barriers and enhancing the digital preservation of cultural heritage. This methodology can be replicated for other museums and cultural institutions, contributing to the innovation and expansion of cultural heritage digitization.

Keywords—Virtual Tour; Virtual Museum; A-frame; JavaScript; WebVR.

Resumo—Este artigo apresenta o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta digital para a criação de tours virtuais, aplicada ao Museu do Ipiranga, em São Paulo. A solução proposta utiliza tecnologias opensource como JavaScript, Node.js e A-frame.js para oferecer uma experiência imersiva e interativa através de uma interface intuitiva. A ferramenta permite a inserção de imagens 360°, configuração de hotspots e integração de faixas de áudio, proporcionando uma navegação dinâmica pelos ambientes do museu. Além disso, incorpora funcionalidades de comunicação em tempo real através do Networked A-frame, promovendo interações sociais entre os visitantes durante o tour virtual. A implementação visa democratizar o acesso ao acervo do museu, superando barreiras físicas e ampliando a preservação digital do patrimônio cultural. A metodologia desenvolvida pode ser replicada para outros museus e instituições culturais, contribuindo para a inovação e ampliação do impacto da digitalização do patrimônio cultural.

Palavras-chave—Tour Virtual; Museu Virtual; A-frame; JavaScript; WebVR.

I. INTRODUÇÃO

O Museu do Ipiranga, oficialmente Museu Paulista da Universidade de São Paulo (USP), é um importante guardião da história brasileira, especialmente da independência. Situado no

Parque da Independência, em São Paulo, foi construído entre 1885 e 1890 para comemorar a proclamação da independência de 1822 [1]. Desde sua fundação, o Museu do Ipiranga tem sido um ponto focal para a preservação e exibição da cultura material brasileira. Integrado à USP em 1934 e consolidado como um instituto complementar em 1963, o museu ampliou sua função acadêmica, tornando-se um centro de pesquisa e educação de grande relevância no cenário nacional.

Nos últimos anos, o Museu do Ipiranga passou por uma significativa reforma, que incluiu a restauração completa de sua estrutura e a modernização de suas instalações. Essa reforma, iniciada em 2013 e concluída em 2022, foi realizada com o objetivo de preservar o patrimônio histórico do edifício, além de adaptar o espaço para novas tecnologias e acessibilidade, garantindo que o museu continue a desempenhar seu papel educacional e cultural para as futuras gerações. A reabertura do museu em 2022 foi um evento marcante, celebrando tanto a conclusão das obras quanto o bicentenário da independência do Brasil [2].

A criação de um tour virtual para o Museu do Ipiranga visa democratizar o acesso ao seu vasto acervo e história, permitindo que pessoas de todo o mundo possam explorar suas exposições independentemente de limitações geográficas ou físicas. Em um cenário onde a digitalização de experiências culturais se torna cada vez mais relevante [3], o desenvolvimento de tours virtuais interativos contribui para a preservação digital do patrimônio cultural [4], ao mesmo tempo em que oferece uma experiência enriquecedora e acessível para o público [5].

Após sua reabertura, o Museu do Ipiranga passou a oferecer 11 exposições temáticas de média e longa duração, distribuídas em mais de 40 salas do edifício histórico, além de uma exposição temporária na nova área ampliada, totalizando 12 exposições que envolvem mais de 4.000 itens do acervo do museu [2]. Para documentar esses espaços, foram capturadas mais de 250 imagens utilizando uma câmera 360 graus. Considerando a vastidão do ambiente, a solução proposta neste



estudo configura-se como uma ferramenta facilitadora para a criação de tours virtuais de maneira simplificada e intuitiva, permitindo uma abordagem eficiente para a digitalização e virtualização do extenso acervo e das exposições do museu.

Este estudo, focado no desenvolvimento de uma ferramenta para criação de um tour virtual interativo no Museu do Ipiranga, é uma continuação direta de um estudo anterior realizado pelos autores [6], que testou a comunicação em tempo real durante visitas virtuais. O estudo inicial, aplicado ao Museu Cais do Sertão em Pernambuco, foi o primeiro passo na implementação de soluções que visam aumentar a interação social e a imersão nos tours virtuais. A ferramenta de comunicação em tempo real permitia que os visitantes interagissem de maneira semelhante à experiência em museus físicos, um conceito que está sendo expandindo e aplicado ao vasto e diversificado acervo do Museu do Ipiranga.

Contudo, após a implementação dos primeiros tours virtuais provenientes do estudo anterior [6], observou-se que o desenvolvimento manual de um grande ambiente, por meio da criação e edição individual de páginas HTML para cada imagem em 360 graus, tornar-se-ia inviável ou excessivamente oneroso. Isso motivou a criação de uma interface mais simplificada, semelhante a um formulário, onde é possível inserir as informações referentes a cada imagem de maneira mais prática e eficiente, otimizando o processo de criação do tour. A abordagem atual busca aliar a facilidade de criação de tours virtuais ao potencial interativo identificado anteriormente, consolidando-a como um modelo replicável para outras instituições culturais.

A solução desenvolvida utiliza tecnologias *opensource*, como JavaScript, Node.js e A-frame.js, oferecendo uma alternativa de baixo custo em comparação com outras ferramentas de criação de tours virtuais disponíveis no mercado, que muitas vezes envolvem custos elevados de licenciamento. A abordagem apresentada não apenas viabiliza a criação de tours colaborativos e imersivos em diferentes contextos, como torna a solução mais acessível para instituições culturais com orçamentos limitados, permitindo a replicação e adaptação da metodologia por outros museus e desenvolvedores, promovendo assim a democratização das tecnologias de digitalização e preservação do patrimônio cultural.

A relevância deste projeto, bem como da continuação dos estudos envolvendo tours virtuais de museus, se manifesta na sua habilidade de expandir significativamente o alcance das instituições culturais, permitindo que suas coleções e narrativas sejam disseminadas para uma audiência global. Isso não só promove a educação e a valorização do patrimônio cultural em uma escala ampliada, mas também assegura que esse patrimônio seja preservado e acessível além das fronteiras físicas dos museus. Ao superar as barreiras tradicionais, esta

iniciativa contribui para a democratização do acesso à cultura, possibilitando que um público diversificado e geograficamente disperso possa interagir com as riquezas históricas e culturais de forma inovadora e inclusiva.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

WebVR é uma tecnologia que permite a criação de experiências de VR acessíveis diretamente através de navegadores da web, sem a necessidade de instalar aplicativos adicionais ou software especializado [7]. Um dos objetivos do WebVR é democratizar o acesso à realidade virtual, permitindo que os usuários explorem ambientes imersivos apenas com um navegador compatível e dispositivos como fones de ouvido VR, smartphones ou desktops. Os frameworks para WebVR utilizam JavaScript Application Programming Interface (API) para facilitar a inserção de conteúdo em RV nos navegadores, como A-Frame, Primrose e ReactVR [8].

Já o A-Frame é um framework de código aberto baseado em WebVR, desenvolvido pela Mozilla, que facilita a criação de experiências de realidade virtual e aumentada diretamente no navegador. Ele utiliza HTML e JavaScript, tornando a criação de ambientes VR acessível para desenvolvedores web sem a necessidade de conhecimentos avançados em programação ou em motores de jogos [9]. Com o A-Frame, é possível desenvolver aplicações em VR e AR que utilizam as APIs de WebVR para renderizar conteúdo diretamente em navegadores eliminando barreiras técnicas para o desenvolvimento de VR na web.

Kurechenko [7] explora o WebVR como uma tecnologia que simplifica o desenvolvimento de experiências de VR diretamente nos navegadores da web, apresentando uma visão detalhada da API WebVR, destacando sua integração com JavaScript e o uso do A-Frame. A pesquisa demonstra o potencial do WebVR ao desenvolver uma aplicação de demonstração, avaliando sua funcionalidade em diferentes navegadores e dispositivos, tanto em desktops quanto em dispositivos móveis. Esse trabalho contribui para a compreensão das capacidades do A-Frame e do WebVR, oferecendo insights ao evidenciar a acessibilidade e a adaptabilidade dessas tecnologias para a criação de experiências interativas.

Alguns estudos recentes também têm explorado o uso de plataformas digitais e realidade virtual para a criação de experiências interativas e imersivas no contexto de museus e patrimônios culturais utilizando WebVR. O trabalho de Santos e Cardoso [9] por exemplo, explora o uso do framework A-Frame para criar um tour virtual interativo em 360° do Museu Monográfico de Conimbriga, em Portugal. O estudo avalia a implementação de experiências de realidade virtual baseada na web, utilizando fotos 360° e elementos interativos, bem como os desafios técnicos, como a navegação entre cenas, a

adaptação para diferentes dispositivos e a criação de menus e pop-ups informativos. Este trabalho fornece insights sobre o desenvolvimento de tours virtuais, ressaltando a importância de uma navegação eficiente e da flexibilidade multiplataforma.

O artigo de Zidianakis et al. [10], por sua vez, trata do desenvolvimento de uma plataforma centrada no usuário para a criação de exposições virtuais 3D com suporte para VR. O estudo apresenta a plataforma "Invisible Museum", que permite a criação colaborativa de exposições interativas e imersivas através de tecnologias 3D baseadas na web e realidade virtual. A plataforma foi projetada com a participação ativa de curadores de museus e usuários finais, com o objetivo de promover o patrimônio cultural de forma acessível e interativa. Entre suas contribuições principais estão a criação de exposições virtuais dinâmicas, sugestões personalizadas de tours, visualização em tecnologias 3D/VR baseadas na web e navegação e interação imersivas.

Em adição, Dias e Cuperschmid [8], utilizaram WebVR para desenvolver um tour virtual da Capela da Fazenda Veneza, um patrimônio arquitetônico brasileiro. Devido à sua localização em uma propriedade privada, o acesso à capela é restrito, e o projeto busca superar essa barreira por meio da tecnologia. O trabalho descreve a aplicação das ferramentas digitais, como a captura de imagens panorâmicas esféricas com câmeras 360 graus e o uso do A-Frame para criar uma experiência imersiva que permite ao usuário explorar o interior da capela remotamente, destacando também a importância do uso do WebVR para acessar o tour diretamente através do navegador, sem a necessidade de instalar aplicativos adicionais. Esse estudo demonstrou como a tecnologia pode facilitar o acesso a patrimônios arquitetônicos de difícil acesso, oferecendo uma experiência imersiva por meio de fotos 360° e ambientes 3D.

Por fim, podemos destacar a tese de Managon Pinto [11] que propôs o desenvolvimento de uma aplicação web que permitiu a criação de um tour virtual 360° do Parque Central de Cayambe, no Equador, utilizando A-Frame. O objetivo do estudo foi oferecer aos usuários uma experiência imersiva e interativa, facilitando a exploração virtual do patrimônio cultural do local. Esse estudo buscou integrar ferramentas gratuitas, como Google View, Blender, WebVR, MySQL e PHP, para tornar o desenvolvimento do tour virtual acessível e eficiente, promovendo a valorização e divulgação do patrimônio histórico e cultural de Cayambe.

Esses trabalhos demonstram como o uso de ferramentas como o A-Frame e WebVR têm potencial para revolucionar a forma como museus e patrimônios são acessados e interagidos, permitindo o desenvolvimento de soluções inovadoras e escaláveis, como as exploradas neste estudo sobre o tour virtual no Museu do Ipiranga.

III. IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA PARA CRIAÇÃO DO TOUR VIRTUAL

A ferramenta desenvolvida para a criação de tours virtuais utiliza JavaScript para a lógica de aplicação, A-Frame.js para a renderização 3D dos ambientes, e Node.js para a gestão do backend e armazenamento de dados em um banco de dados JSON. A implementação é dividida em quatro componentes principais: Interface de Criação, Renderização 3D com A-Frame.js, Servidor Backend, e Banco de Dados.

O desenvolvimento da ferramenta foi realizado em etapas. Primeiramente, o servidor Node.js foi configurado, seguido pela criação da API RESTful para gerenciar os dados dos tours. A interface de criação foi então desenvolvida e integrada com o A-Frame.js para renderizar os ambientes 3D. Por fim, os dados foram populados na interface e armazenados no banco de dados JSON, e a comunicação em tempo real foi implementada com o Networked A-Frame.

A seguir são descritos os passos adotados no desenvolvimento da interface de criação, e os scripts para viabilizar a implementação estão disponíveis no seguinte repositório: [https://anonymous.4open.science/r/editor-tour-virtual-museu-do-ipuranga-7056/].

Fig. 1. Interface de Criação do Tour Virtual

A. Interface de Criação

A interface de criação (figura 1) foi construída utilizando HTML, CSS e JavaScript. Ela permite que o usuário cadastre informações sobre cada seção do tour, como imagens 360°, nome do ambiente, links entre as seções, e pontos de interesse. Também pode possibilitar a inserção de elementos interativos, como pontos de informação, imagens e vídeos, criando uma experiência mais rica para o usuário final.

O resultado da interface de criação utilizada para a implementação do tour virtual descrito neste artigo, pode ser visto em [https://tour-museu-ipiranga.glitch.me/editor].

• Estrutura HTML da Interface:

O código abaixo ilustra a estrutura da interface, que possui áreas para adicionar novos tours e listar os tours já cadastrados:

```
<html>
[... ]
<body>
  <div id="editor" class="container">
    <div id="main-editor" class="card"></div>
    <div id="list-tours" class="card"></div>
  </div>
  <div class="lightbox">
    <div class="lightbox-inner"></div>
  </div>
  <script src="./js/editor.js"></script>
</body>
</html>
```

Neste trecho, a interface é composta por dois elementos principais:

#main-editor: onde o usuário pode criar um novo tour preenchendo detalhes como nome, link da imagem 360°, rotação, etc.

#list-tours: onde são listados os tours cadastrados para edição ou exclusão.

• Funcionalidades do editor:

A lógica do editor é implementada em JavaScript, a função abaixo cria o formulário de inserção de tours dinamicamente:

```
const render_tpl = (params) => {
  let { markers } = params;
  return ( `
    <form id="form-insert" class="form">
      <div class="form-row">
        <label>Nome da Imagem</label>
        <input type="text" name="name"/>
      </div>
      <div class="form-row">
        <label>Link da Imagem</label>
        <input type="text" name="image_sky"/>
      </div>
      <div id="form-links-tpl" class="form-links">
        ${renderMarkers(markers)}
      </div>
      <button id="add-more-marker">Adicionar +</button>
      <input type="submit" value="Salvar"/>
    </form>
  ` );
};
```

O formulário inclui campos para nome do ambiente, link da imagem 360° e configuração dos hotspots. A função **renderMarkers** insere os pontos interativos que ligam diferentes ambientes.

- **Gerenciamento dos Hotspots:** Os hotspots são gerenciados por meio de funções JavaScript. A função **addMoreMarker** adiciona novos campos ao formulário para que o usuário possa definir mais pontos de navegação:

```
const addMoreMarker = (event, markersWrapperId) => {
  event.preventDefault();
  let markersWrapper = document.querySelector(
    markersWrapperId);
  let markerNextId = markersWrapper.
    querySelectorAll(".form-line").length;
  let marker_tpl = `
    <div class="form-line" data-id="${
      markerNextId}">
      <input type="text" name="marker[${
        markerNextId}][marker-name]"
        placeholder="Nome do marcador"/>
      <input type="text" name="marker[${
        markerNextId}][area-id]" placeholder="
        ID da imagem"/>
      <input type="text" name="marker[${
        markerNextId}][position]" placeholder="
        Posição"/>
    </div>
  `;
  markersWrapper.insertAdjacentHTML('beforeend',
    marker_tpl);
};
```

Esta função permite ao usuário definir até 4 hotspots por cena, estabelecendo uma navegação intuitiva pelo ambiente virtual.

B. Renderização 3D

O A-Frame.js é utilizado para renderizar as cenas 3D do tour virtual. O framework permite a criação de experiências imersivas diretamente no navegador, facilitando a navegação pelos ambientes do museu. A integração do A-Frame.js na ferramenta é feita por meio de um arquivo de template HTML, preenchido com dados do tour para construir a experiência virtual.

```
<a-scene networked-scene="room: <%= tour.room %>; adapter: easyrtc;">
  <a-sky src="<%= tour.image_sky %>" rotation="
    <%= tour.image_rotation %>"></a-sky>
  <% if (tour.markers) { %>
    <% tour.markers.forEach(function(marker) {
      %>
      <a-circle href="#" id="marker-<%= marker[
        "area-id"] %>"
```

```

position="<%= marker.position
%>"
marker="url:<%= marker["area-id
"] %>"
src="#seta"
rotation="<%= marker.rotation
%>"
material="transparent:true">
</a-circle>
<% }); %>
<% } %>
</a-scene>

```

Neste código, a imagem 360° do ambiente é mapeada em uma tag **a-sky**. Os hotspots ou marcadores são representados por elementos **a-circle**, que ligam diferentes áreas do tour.

C. Servidor Backend

O backend foi desenvolvido com Node.js, utilizando o framework Express.js para criar uma API RESTful. Esta API gerencia as requisições do usuário, fornecendo os dados necessários para a construção do tour e armazenando as interações no banco de dados JSON.

• Configuração da Rota para Renderizar o Tour:

```

app.get('/tour/:id?', (req, res) => {
  // Logica para requisitar os dados do tour no
  banco de dados
  res.render(__dirname + "/public/tour.html", {
    tour: item });
});

```

Esta rota captura a requisição HTTP para um tour específico (/tour/:id) e utiliza o template tour.html para renderizar a experiência virtual. A função **res.render()** preenche as tags no HTML com os dados do tour.

```

<a-scene networked-scene="room: <%= tour.room
%>; adapter: easyrtc;">
<a-sky src="<%= tour.image_sky %>" rotation="
<%= tour.image_rotation %>"></a-sky>
<% if (tour.markers) { %>
  <% tour.markers.forEach(function(marker) {
    %>
    <a-circle href="#" id="marker-<%= marker[
"area-id"] %>"
      position="<%= marker.position
%>"
      marker="url:<%= marker["area-id
"] %>"
      src="#seta"
      rotation="<%= marker.rotation
%>"
      material="transparent:true">
    </a-circle>
    <% }); %>
  <% } %>
</a-scene>

```

D. Banco de Dados

O armazenamento dos dados é feito em um arquivo JSON que contém informações como nome do ambiente, imagem 360°, hotspots, rotação da imagem e trilha de áudio. A simplicidade do JSON permite o fácil acesso e modificação das informações. Um exemplo de estrutura de dados JSON para um ambiente do tour é mostrado abaixo:

```

{
  "id": 1,
  "name": "Entrada - 58",
  "room": "Entrada",
  "image_sky": "https://urldaimagem/058.jpg",
  "image_rotation": "0 -90 0",
  "audio_url": "",
  "markers": [
    { "marker-name": "Marker 1", "area-id": "2"
      , "position": "0 0 -24" }
  ]
}

```

Esta estrutura armazena dados como o identificador único do ambiente, o link da imagem 360°, a rotação da imagem e os hotspots que conectam diferentes áreas do tour.

E. Faixas de Áudio

A interface de criação permite que faixas de áudio sejam associadas a determinados ambientes do tour, enriquecendo a experiência imersiva do visitante. O áudio é inserido por meio de um campo de URL, e o arquivo deve estar em um formato compatível, como MP3 ou OGG. A tag **audio** do HTML é usada para incorporar o áudio nas cenas do tour.

IV. COMUNICAÇÃO ENTRE USUÁRIOS

Para enriquecer a experiência do tour virtual, a ferramenta incorpora a biblioteca **Networked A-frame**, que permite a comunicação entre os usuários em tempo real. Esta funcionalidade possibilita que os visitantes interajam uns com os outros, conversando sobre as exposições e compartilhando suas experiências durante o tour. A comunicação é realizada através de um servidor WebRTC/WebSocket, gerenciado pelo backend em Node.js.

A biblioteca networked-aframe permite que múltiplos usuários compartilhem a mesma cena de realidade virtual e interajam uns com os outros em tempo real, incluindo o uso de áudio posicional. O componente **networked-audio-source** habilita o compartilhamento de áudio posicional entre os usuários, permitindo que a localização de cada pessoa na cena afete como o som é percebido pelos outros, proporcionando uma experiência mais imersiva.

Embora a imersão e a interação com o ambiente virtual sejam componentes essenciais para uma experiência satisfatória, em contextos onde o objetivo é manter um alto nível de imersão,

a introdução de elementos sociais deve ser cuidadosamente equilibrada para evitar que a comunicação entre os usuários não interfira na experiência individual de imersão [12]. Todavia, esta funcionalidade se abre como uma oportunidade de reimaginar a experiência do público nos museus, transformando esses espaços em ambientes mais sociais e interativos [13]. A comunicação por voz em tours virtuais não apenas enriquece a experiência social, mas também fortalece o vínculo entre os visitantes e o conteúdo, criando um ambiente virtual dinâmico e inclusivo.

V. CRIANDO O TOUR VIRTUAL DO MUSEU DO IPIRANGA

As etapas foram desenvolvidas para garantir facilidade de uso, permitindo a criação de experiências imersivas e interativas sem a necessidade de conhecimento em programação. A ferramenta proporciona um processo acessível e simplificado, desde a captura das imagens até a configuração dos hotspots, facilitando a criação de tours virtuais detalhados e intuitivos.

A. Captura de imagens

A criação do tour virtual com A-Frame iniciou-se com a captura das fotos dos ambientes do Museu utilizando uma câmera 360°. Para este projeto, foi utilizada a câmera de modelo Insta360 X3, essas câmeras permitem capturar imagens panorâmicas esféricas, cobrindo todo o ambiente ao redor. A câmera Insta360 X3 grava as fotos em formatos como JPG ou RAW de acordo com as configurações adotadas, com a imagem projetada em um formato esférico ou equiretangular (figura 2). O formato equiretangular é o mais amplamente utilizado, pois consiste em uma única imagem plana que cobre 360 graus horizontalmente e 180 graus verticalmente.

B. Ajustes e Otimização

Para assegurar a compatibilidade das imagens com o A-Frame, é essencial que estejam nos formatos JPG ou PNG, com projeção equiretangular. Esse formato é amplamente utilizado em plataformas de realidade virtual, incluindo o A-Frame, e permite que as imagens sejam mapeadas em elementos como **a-sky** ou **a-sphere**, criando uma experiência de imersão total no ambiente virtual. Para otimizar o desempenho, as imagens foram redimensionadas para reduzir o tamanho dos arquivos, tornando-as mais leves. Há a possibilidade de realizar também edições nas fotos quando necessário, como por exemplo ajustando a luz, eliminando ruídos, garantindo nessa pré-edição, que todas as imagens dos ambientes estejam ajustadas e prontas para o cadastramento na interface de criação.

C. Inserção das Imagens na Interface de Criação

Após os ajustes necessários, as imagens foram inseridas na interface de criação desenvolvida para o projeto. A interface



Fig. 2. Exemplo de imagem do Museu do Ipiranga, capturada com uma câmera 360°, em formato equiretangular

permite a organização das imagens por ambiente, facilitando o processo de construção do tour. Cada imagem é associada a um ambiente específico do Museu, e informações adicionais, como descrição e rotação da imagem, podem ser configuradas diretamente na interface. Este processo garante maior flexibilidade e agilidade na criação do tour.

D. Adição da faixa de áudio

Uma das etapas adicionais importantes na criação do tour é a inserção de faixas de áudio, que enriquecem a experiência imersiva. Na interface de criação, o áudio pode ser configurado para ser reproduzido automaticamente em certas áreas do tour ou ser ativado ao clicar em um hotspot específico. O arquivo de áudio deve estar no formato adequado, como MP3 ou OGG, e deve ser inserido no campo apropriado da interface, permitindo que os visitantes ouçam descrições detalhadas, trilhas sonoras ou sons ambientes que complementem a visita virtual.

E. Definição dos Marcadores

A configuração dos hotspots, que funcionam como marcadores da sequência, é uma etapa crucial para proporcionar uma navegação interativa dentro do tour virtual. Os hotspots atuam como pontos de conexão entre as diferentes áreas do Museu, permitindo que os visitantes se movam de um ambiente para outro de forma intuitiva. Na interface de criação, os hotspots foram configurados inserindo os marcadores nas posições adequadas, que indicam ao usuário a próxima sala ou ambiente a ser explorado. Também é possível adicionar descrições e links a cada hotspot, enriquecendo a experiência do usuário com informações adicionais sobre as obras e o espaço.

F. Resultado do Tour Virtual

Após a finalização da configuração dos hotspots, faixas de áudio e ajustes das imagens, o tour virtual foi testado para

garantir a qualidade e fluidez da experiência. Foram realizados testes de navegação em diferentes dispositivos, incluindo desktops, tablets e smartphones, para verificar a responsividade e compatibilidade do tour. A ferramenta também foi testada quanto à estabilidade da reprodução dos elementos multimídia, como áudio e transições entre ambientes.

Após os ajustes finais, o tour do Museu do Ipiranga (figura 3) foi publicado em um servidor web, utilizando uma plataforma de hospedagem adequada, como o Glitch ou GitHub Pages, que oferece suporte ao framework A-Frame. A disponibilização online do tour permite que visitantes acessem o Museu do Ipiranga virtualmente, contudo o trabalho ainda permanece em fase de aprimoramentos.

O link para acessar o tour virtual está disponível em: [https://tour-museu-ipuranga.glitch.me/tour].



Fig. 3. Uma das cenas do tour do Museu do Ipiranga

VI. LIMITAÇÕES

Embora a ferramenta desenvolvida para a criação de tours virtuais interativos ofereça uma solução robusta para digitalização e comunicação em tempo real, algumas limitações foram observadas, com relação à segurança das informações transmitidas e armazenadas, à escalabilidade do sistema e a latência em ambientes com grande número de usuários. A comunicação em tempo real, especialmente via WebRTC, pode estar sujeita a interceptações se não forem implementadas camadas de segurança adequadas, como criptografia de ponta a ponta. A manipulação de dados em arquivos JSON, sem sistemas de autenticação e controle de acesso mais avançados, pode expor vulnerabilidades, comprometendo a integridade e confidencialidade dos dados do tour e dos usuários.

Sobre a escalabilidade, o sistema atual utiliza um servidor de arquivos simples (JSON) para armazenar dados do tour, o que pode se tornar inadequado à medida que o número de visitantes ou tours aumenta. A falta de um banco de dados mais

robusto pode limitar a capacidade de gestão e recuperação de grandes volumes de informações. Além disso, a comunicação em tempo real entre muitos usuários simultâneos pode resultar em latência, especialmente se a infraestrutura do servidor não for dimensionada corretamente. A solução atual pode enfrentar dificuldades para manter a qualidade da comunicação e da interação em cenários com grande volume de acessos.

Por fim, uma questão a ser considerada na interface de criação é a necessidade de melhorar a validação dos dados dos formulários, garantindo que todas as informações sejam fornecidas corretamente antes de salvar os tours. O suporte a um número maior de hotspots ou maior flexibilidade na navegação entre eles deve ser considerado para otimizar a experiência do usuário. Por fim, o aprimoramento da interface, tornando-a mais intuitiva e oferecendo feedback visual ao adicionar ou modificar tours, também se apresenta como uma limitação a ser superada. Sugere-se que esses pontos sejam observados para continuação deste projeto e implementação em trabalhos futuros.

VII. TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta descrita neste estudo possui grande potencial para ser aplicada em diversos contextos. O estudo anterior dos autores [6] sugeriu possibilidades de futuros desenvolvimentos, como a implementação de tours guiados em tempo real, com guias interagindo diretamente com os visitantes para promover uma experiência individualizada, ou sua aplicação no campo educacional, onde professores poderiam atuar como guias em aulas virtuais, superando barreiras logísticas e integrando práticas pedagógicas inovadoras. A gamificação dos tours, com avatares e desafios, também pode aumentar o engajamento dos visitantes, enquanto a curadoria participativa viabiliza a colaboração em tempo real entre curadores e artistas.

Há também algumas funcionalidades que não foram amplamente exploradas neste estudo, mas que já é possível implementá-las com os recursos disponíveis. Um exemplo é a utilização de identificação ou avatares para representar os visitantes, aprimorando a sensação de presença e imersão no ambiente virtual. Uma sugestão é permitir que os visitantes ativem ou desativem a interação com outros usuários específicos, proporcionando maior controle sobre com quem desejam interagir durante o tour. Outro recurso possível que não foi amplamente explorado devido o escopo de tempo, é a inclusão de informações interativas diretamente nas obras de arte, permitindo que ao clicar em uma peça, os visitantes tenham acesso a descrições detalhadas, imagens complementares e vídeos explicativos sobre o contexto histórico ou artístico, enriquecendo a experiência educativa e cultural.

É possível ainda prever possíveis funcionalidades e aplicações que vão além do que foi explorado pelos autores,

como a criação de salas virtuais para eventos online dentro do museu, onde palestras, workshops ou debates ao vivo permitiriam a interação de visitantes de diferentes regiões em torno de atividades culturais e educativas, promovendo interações sociais e acadêmicas em tempo real. Esse recurso ampliaria significativamente o alcance das iniciativas do museu, criando um ambiente dinâmico para aprendizado e troca de experiências. Além disso, a integração de análises de dados, como métricas de engajamento e comportamento dos visitantes, poderia ser explorada para que os museus ajustassem suas exposições virtuais com base nas preferências e interações dos usuários, tornando a experiência mais personalizada e eficaz.

VIII. CONCLUSÃO

A ferramenta desenvolvida neste estudo proporcionou uma experiência interativa e acessível para a criação de tours virtuais, com a possibilidade de explorar as exposições virtualmente e interagir com outros visitantes em tempo real. O experimento foi aplicado na criação do Museu do Ipiranga, uma instituição de grande importância para a história do Brasil e de São Paulo, e que ainda não possuía uma opção de visitação online em formato de passeio. Aplicando tecnologias como JavaScript, Node.js, A-frame.js e networked A-frame, a ferramenta possibilitou a exploração virtual do acervo e a interação em tempo real entre visitantes, aspectos essenciais para a democratização do acesso ao patrimônio cultural. Todo o processo, desde a captura e adaptação das imagens 360° até a configuração dos hotspots interativos, foi detalhado e projetado para ser acessível a usuários sem conhecimento técnico avançado. A interface intuitiva simplifica a edição e a personalização dos tours, além de possibilitar a integração de elementos como faixas de áudio, proporcionando uma experiência imersiva e próxima à visitação física. O backend, desenvolvido com Node.js e Express.js, e o armazenamento em um banco de dados JSON, garantiram uma gestão eficiente das informações. Embora tenham sido enfrentados desafios como a adequação das imagens e questões relacionadas à hospedagem e segurança, os resultados obtidos demonstraram a eficácia da ferramenta, abrindo caminho para futuras melhorias, como a introdução de interações mais avançadas e a análise do comportamento do usuário. A pesquisa, ao final, contribui para o debate sobre o uso da tecnologia na ampliação do acesso ao patrimônio cultural, propondo uma solução digital replicável que pode ser adotada por diversas instituições culturais para preservar e divulgar seus acervos.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Makino, "Museu do Ipiranga," *Comunicação & Educação*, no. 15, pp. 103–108, 1999.
- [2] R. ONO and S. F. LIMA, "O novo museu do Ipiranga no bicentenário da independência do Brasil," 2022.
- [3] R. S. de Almeida Prado, "Museus nunca foram (tão) digitais," *Revista Vlrus*, vol. 1, no. 21, 2020.
- [4] C. L. Canuto, L. R. de Moura, and M. S. Salgado, "Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 7, no. 4, pp. 252–264, 2016.
- [5] F. O. Cavalieri, "Tour virtual 360-mídia acessível para o turismo," 2024.
- [6] C. C. de Araújo and J. M. X. N. Teixeira, "A proof of concept on enhancing virtual museum experience through real-time audio communication," in *Anais do XX Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas*. SBC, 2023, pp. 88–96.
- [7] R. Kucherenko, "Webvr api description and a-frame application implementation," 2019.
- [8] M. S. Dias and A. R. M. Cuperschmid, "Tour virtual em webvr para divulgação do patrimônio arquitetônico: Capela da fazenda veneza," *Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural, IAU-USP*, pp. 208–215, 2019.
- [9] S. G. Santos and J. Cardoso, "A-frame experimentation and evaluation for the development of interactive vr: a virtual tour of the conimbriga museum," 2019.
- [10] E. Zidianakis, N. Partarakis, S. Ntoa, A. Dimopoulos, S. Kopidaki, A. Ntagianta, E. Ntafotis, A. Xhako, Z. Pervolarakis, E. Kontaki *et al.*, "The invisible museum: A user-centric platform for creating virtual 3d exhibitions with vr support," *Electronics*, vol. 10, no. 3, p. 363, 2021.
- [11] R. A. Manangón Pinto, "Aplicación web para el recorrido virtual 360° del parque central de cayambe basado en un framework de realidad virtual," Ph.D. dissertation, PUCE Ibarra, 2023.
- [12] S. Hudson, S. Matson-Barkat, N. Pallamin, and G. Jegou, "With or without you? interaction and immersion in a virtual reality experience," *Journal of business research*, vol. 100, pp. 459–468, 2019.
- [13] A. A. Tak and Á. Pazos-López, *Socializing Art Museums: Rethinking the Publics' Experience*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2020.