



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação

# Um Repositório de Recursos Educacionais no Metaverso

Carlos Eduardo Silva Barbosa  
Gabriel Andrade de Carvalho

Monografia apresentada como requisito parcial  
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Orientadora  
Prof.a Dr.a Germana Menezes da Nóbrega

Brasília  
2024



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação

# **Um Repositório de Recursos Educacionais no Metaverso**

Carlos Eduardo Silva Barbosa  
Gabriel Andrade de Carvalho

Monografia apresentada como requisito parcial  
para conclusão do Curso de Computação — Licenciatura

Prof.a Dr.a Germana Menezes da Nóbrega (Orientadora)  
CIC/UnB

Prof.a Dr.a Ivette Kafure Muñoz    Prof. Dr. Fernando William Cruz  
FCI/UnB    FGA/UnB

Prof.a Dr.a Fernanda Lima  
CIC/UnB

Prof. Dr. Jorge Henrique Cabral Fernandes  
Coordenador do Curso de Computação — Licenciatura

Brasília, 01 de agosto de 2024

### CIP - Catalogação na Publicação

B238r      Barbosa, Carlos Eduardo Silva  
Um Repositório de Recursos Educacionais no Metaverso /  
Carlos Eduardo Silva Barbosa, Gabriel Andrade de Carvalho;  
orientador Germana Menezes da Nóbrega. -- Brasília, 2024.  
68 p.

Monografia (Graduação - Computação - Licenciatura) --  
Universidade de Brasília, 2024.

1. imersivo. 2. navegação. 3. Decentraland. 4.  
repositório. 5. metaverso. I. Carvalho, Gabriel Andrade de.  
II. Nóbrega, Germana Menezes da , orient. III. Título.

# Dedicatória

Dedicamos este trabalho ao curso de Licenciatura em Computação da Universidade de Brasília, que proporcionou a base sólida e o conhecimento necessário para o desenvolvimento deste projeto. Aos discentes e docentes que transformam a educação através da ciência e da inovação, e que inspiram outros colegas a perseguirem seus sonhos com dedicação.

Dedicamos este trabalho também ao grupo de pesquisa SmartUnB.ECOS, cuja colaboração e troca de experiências foram essenciais para a concepção e aprimoramento deste trabalho. Na certeza de que caminhamos rumo ao mesmo objetivo de avançar na interseção entre tecnologia e educação, e de que o esforço conjunto contribuirá significativamente para o desenvolvimento do campo.

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaríamos de manifestar nossa profunda gratidão à nossa orientadora, Prof.a Dr.a Germana Menezes da Nobrega, cuja orientação, conhecimento e paciência foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Eu, Carlos Eduardo, agradeço a Deus, por me permitir concluir esta importante etapa da minha vida, e à minha mãe, Maria Aparecida Silva Barbosa, pela paciência, compreensão e apoio ao longo da minha trajetória acadêmica.

Eu, Gabriel Carvalho, agradeço aos meus pais, Rita de Cássia Souza Andrade e Marco Aurélio Lima de Carvalho, pelo apoio e incentivos durante a minha vida, e aos meus familiares e amigos, em especial minha madrinha Marcela Cristina Lima de Carvalho e minha tia Bárbara Dryelle Penha de Carvalho, que, pelo apoio, tornaram essa jornada acadêmica mais tranquila e enriquecedora.

Somos gratos aos amigos que fizemos durante o curso, que estiveram conosco nos últimos anos e que nos apoiaram nos desafios enfrentados. Nosso muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), por meio do Acesso ao Portal de Periódicos.

# Resumo

Este trabalho explora a concepção e prototipagem de um repositório de artefatos educacionais no metaverso. A integração de recursos educacionais em plataformas de metaverso se mostra uma possibilidade inovadora para instituições de ensino e para a sociedade em geral. A pandemia de COVID-19 (2019 - 2021) acelerou avanços tecnológicos, intensificando a necessidade de ambientes virtuais imersivos e interativos. Estudos recentes mostram que tais ambientes oferecem novas oportunidades de navegação, superando limitações conhecidas da Web plana e expandindo as possibilidades de aplicação em contextos educacionais. Este trabalho explora a utilização da plataforma Decentraland para a construção de ambientes virtuais 3D, analisando como os recursos disponibilizados podem ser empregados para criar experiências dinâmicas e personalizadas. Ao final, a solução apresentada é analisada e discutida, apontando possibilidades para que trabalhos futuros ampliem as descobertas realizadas, em favor do pleno desenvolvimento da interface do projeto SmartUnB.ECOS.

**Palavras-chave:** metaverso, repositório, Decentraland, navegação, imersivo

# Abstract

This paper explores the design and prototyping of an educational resource repository within the metaverse. The integration of educational resources into metaverse platforms presents an innovative opportunity for educational institutions and society at large. The COVID-19 (2019 - 2021) pandemic accelerated technological advancements, highlighting the need for immersive and interactive virtual environments. Recent studies indicate that such environments offer new navigation possibilities, overcoming the limitations of traditional flat web interfaces and expanding applications in educational contexts. This research investigates the use of the Decentraland platform for constructing 3D virtual environments, examining how the available resources can be utilized to create dynamic and personalized experiences. Finally, the proposed solution is analyzed and discussed, identifying potential pathways for future research to enhance the findings and contribute to the ongoing development of the SmartUnB.ECOS project interface.

**Keywords:** metaverse, repository, Decentraland, navigation, immersive

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização . . . . .	1
1.2	Motivação/Justificativa . . . . .	2
1.3	Questões de pesquisa . . . . .	3
1.4	Objetivos . . . . .	3
1.4.1	Objetivo geral . . . . .	3
1.4.2	Objetivos específicos . . . . .	3
1.5	Organização do documento . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Trabalhos relacionados à busca e navegação na Web</b>	<b>5</b>
2.1	Exploração de REAs . . . . .	5
2.2	Visitação em museus virtuais . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Fundamentação da proposta</b>	<b>11</b>
3.1	O repositório Lourdes Brasil . . . . .	11
3.2	Metaverso na educação . . . . .	13
3.3	A plataforma Decentraland . . . . .	16
3.3.1	História . . . . .	16
3.3.2	LANDs, Propriedades, Nomes e Mundos . . . . .	18
3.3.3	O Builder e a criação de conteúdos . . . . .	20
3.3.4	Arquitetura . . . . .	25
3.3.5	Decentraland DAO . . . . .	28
3.3.6	<i>Marketplace</i> e negociações . . . . .	29
3.3.7	Manifesto Decentraland . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Concepção e prototipagem do LMB no metaverso</b>	<b>31</b>
4.1	Concepção e prototipagem do LMB no metaverso . . . . .	31
4.2	Construindo o LMB no metaverso . . . . .	33
4.2.1	Criação das cenas . . . . .	33
4.2.2	Projeto de navegação e apresentação do conteúdo selecionado . . . . .	36



4.3	Análise comparativa . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>46</b>
5.1	Objetivos alcançados . . . . .	46
5.2	Trabalhos futuros . . . . .	47
	<b>Referências</b>	<b>49</b>

# Lista de Figuras

1.1	Arcabouço do ecossistema educacional SmartUnB.ECOS. . . . .	2
2.1	Detalhes de um objeto de aprendizagem indexado na plataforma Merlot. . .	6
2.2	Exploração de um objeto de aprendizagem na plataforma Wisc-Online. . .	7
2.3	Busca por recurso educacional na plataforma Currículo+. . . . .	8
3.1	Atividades de ensino, pesquisa e extensão em torno do repositório de re- cursos educacionais Lourdes Brasil (2019 - presente). . . . .	12
3.2	A arquitetura do metaverso na integração dos mundos humano, físico e digital. . . . .	14
3.3	Estado da <i>blockchain</i> do Decentraland na “Idade da Pedra”. . . . .	16
3.4	Primeiras estruturas criadas em 2016 pela comunidade por volta da parcela Genesis, localizada na coordenada (0, 0). . . . .	17
3.5	Mapa da cidade Genesis em 02 de abril de 2024 obtido em <a href="https://genesis.city">https:// genesis.city</a> . . . . .	19
3.6	Ferramenta de construção de cenas do Decentraland em sua versão Web. . .	21
3.7	Utilizando o Editor Desktop para construção de cenas no Decentraland. . .	21
3.8	NPC “Dodge” caminhando pelo hall da praça Genesis. . . . .	22
3.9	Interagindo com o NPC “Simone” na praça Genesis. . . . .	23
3.10	Vestuário sendo divulgado em uma parcela da cidade Genesis. . . . .	24
3.11	Representação geral da arquitetura do Decentraland. . . . .	25
3.12	Representação de uma entidade no ECS. . . . .	28
3.13	Funcionamento de um sistema no ECS. . . . .	28
3.14	Representação do ECS. . . . .	29
3.15	Vestuários disponíveis no <i>marketplace</i> para customização de avatar. Fonte: <a href="https://decentraland.org/marketplace">https://decentraland.org/marketplace</a> . . . . .	30
4.1	Primeira cena criada utilizando o Editor Web do Decentraland. . . . .	32
4.2	Cena que representa o Hall de Entrada do LMB no metaverso. . . . .	33

4.3	Segunda cena construída, denominada Salão, contém as subcategorias da opção escolhida pelo jogador. . . . .	34
4.4	Protótipo dos corredores da Biblioteca. . . . .	35
4.5	Item inteligente utilizado para abrir um artefato. . . . .	36
4.6	Ao abrir o endereço da cena, que está sendo executada, em duas abas diferentes do navegador, dois convidados aparecem na cena. . . . .	37
4.7	Escolhendo categoria “Ensino Fundamental” na cena 2. . . . .	38
4.8	Explorando, na cena 3, a categoria selecionada. . . . .	38
4.9	Diagrama de sequência do serviço de navegação. . . . .	39
4.10	Protótipo do livro digital de um artefato no metaverso. . . . .	41
4.11	Diagrama de sequência do serviço de conteúdo. . . . .	43
4.12	Interação da pessoa jogadora com um dos artefatos da Biblioteca. . . . .	44
4.13	Interface 2D de um artefato na Biblioteca. . . . .	44

# Lista de Tabelas

4.1	Especificação dos <i>endpoints</i> para navegação. . . . .	39
4.2	Possíveis valores que os parâmetros <i>parentType</i> e <i>type</i> podem assumir durante a navegação para uma das cenas. . . . .	40
4.3	Especificação dos <i>endpoints</i> para manipulação dos artefatos. . . . .	45

# Lista de Abreviaturas e Siglas

**API** Application Programming Interface.

**AR** Augmented Reality.

**CD** Continuous Delivery.

**CI** Continuous Integration.

**CIC** Departamento de Ciência da Computação.

**CLI** Command Line Interface.

**DAO** Organização Autônoma Descentralizada.

**ECS** Entidades, Componentes e Sistemas.

**FCI** Faculdade de Ciência da Informação.

**FGA** Universidade de Brasília - Campus do Gama.

**GLB** Graphics Library Transmission Format Binary.

**GLTF** Graphics Library Transmission Format.

**HTML** Hypertext Markup Language.

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol.

**IA** Inteligência Artificial.

**IAE** Informática Aplicada à Educação.

**ICO** Initial Coin Offering.

**IoT** Internet of Things.

**JSON** JavaScript Object Notation.

**LMB** Lourdes Mattos Brasil.

**LMS** Learning Management System.

**LOM** Learning Object Metadata.

**MEC** Ministério da Educação.

**MVFW** Metaverse Fashion Week.

**NFT** Non-Fungible Token.

**NPCs** Non-Player Characters.

**NPM** Node Package Manager.

**OAs** Objetos de Aprendizagem.

**P2P** Peer-To-Peer.

**REAs** Recursos Educacionais Abertos.

**REST** Representational State Transfer.

**ROAs** Repositórios de Objetos de Aprendizagem.

**RREAs** Repositórios de Recursos Educacionais Abertos.

**SBC** Sociedade Brasileira de Computação.

**SBIE** Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.

**SDK** Software Development Kit.

**SEMUNI** Semana Universitária.

**SMW** Semantic MediaWiki.

**UnB** Universidade de Brasília.

**URL** Uniform Resource Locator.

**UUID** Universally Unique Identifier.

**VR** Virtual Reality.

**VSCoDe** Visual Studio Code.

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

O rápido avanço tecnológico testemunhado nos últimos anos tem sido um fator determinante na transformação digital de diversos setores. A introdução e evolução de novas ferramentas e plataformas, impulsionadas pelo desenvolvimento da Web 3.0, têm possibilitado a criação de soluções cada vez mais sofisticadas. Conceitos como Internet das Coisas (IoT), *Blockchain*, Inteligência Artificial (IA) e Metaverso estão gradualmente se tornando parte integrante do nosso cotidiano.

No domínio da educação, esforços têm sido direcionados para a análise da aplicação de recursos digitais no campo da aprendizagem. A construção de ambientes que favoreçam interações sociais no meio digital tem se mostrado um desafio contínuo. Isso pode ser atribuído, em certa medida, à necessidade de criar espaços que não apenas reproduzam as dinâmicas do mundo físico, mas também promovam a colaboração e a troca de conhecimento de maneira espontânea e natural.

Ainda nessa perspectiva, o período de restrições físicas desencadeado pela pandemia de COVID-19 acelerou a busca por ferramentas de suporte à educação em contextos remotos, permitindo a continuidade das atividades de ensino e aprendizagem, ainda que com desafios significativos para discentes e docentes [1]. Em vista disso, o chamado *e-learning*, conceito atribuído ao uso de ferramentas digitais em apoio à educação, tornou-se peça essencial no processo de superação das dificuldades que se apresentavam durante esse período.

Em consonância com o *e-learning*, o projeto SmartUnB.ECOS (Figura 1.1) surge como iniciativa local para construir um ecossistema educacional digital voltado à comunidade universitária. Em perspectiva mais abrangente, o arcabouço busca alcançar a interoperabilidade de, até então, nove soluções de comunicação e de educação, de modo a contribuir com a socialização e a aprendizagem formal/informal em contexto acadêmico [2].

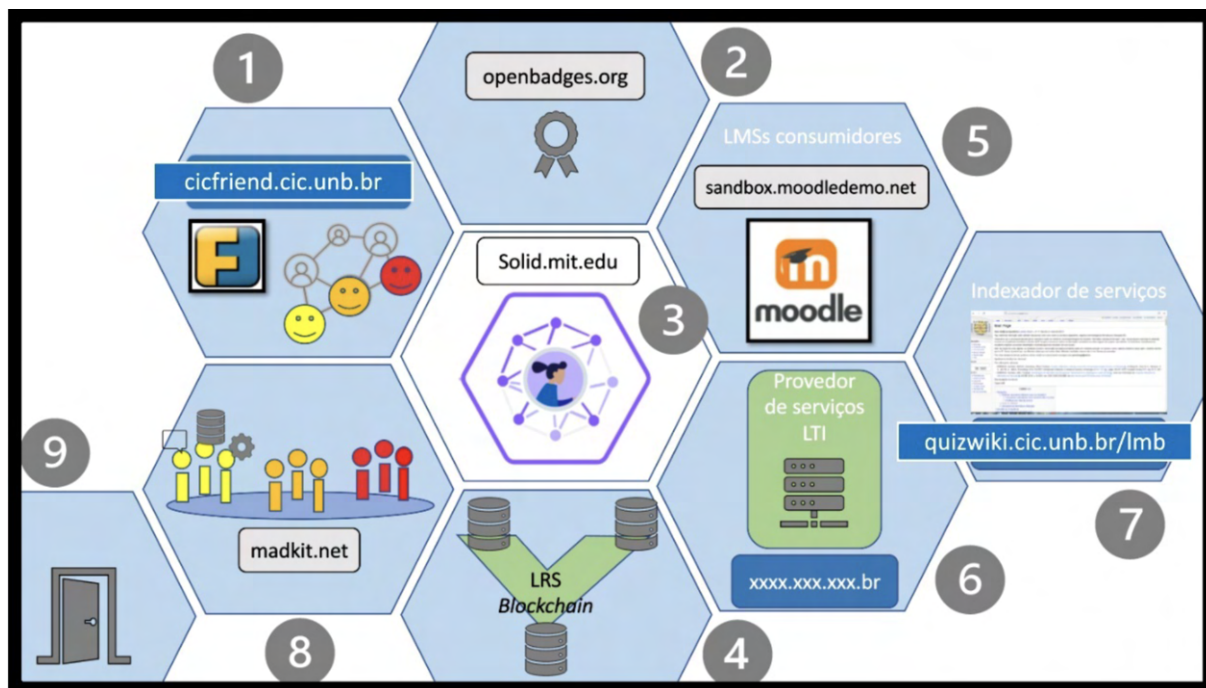


Figura 1.1: Arcabouço do ecossistema educacional SmartUnB.ECOS [2].

## 1.2 Motivação/Justificativa

Atualmente, nota-se o crescente interesse e os investimentos de grandes empresas e instituições no desenvolvimento de novas soluções digitais, como IA, computação gráfica e soluções em nuvem. Isso se deve, em parte, ao potencial que tais tecnologias possuem para transformar a forma como navegamos e interagimos na Web.

Diante da crescente adoção de novas tecnologias como Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR), torna-se necessário investigar a utilização de conceitos recentes, como o metaverso, em contextos educacionais. Além disso, a necessidade de construir experiências de aprendizagem mais atrativas e imersivas para a geração atual de discentes é evidente, uma vez que estão acostumados com o uso cada vez mais intenso de ferramentas digitais.

A incorporação do metaverso na educação representa uma oportunidade de criar ambientes de aprendizagem que não são apenas interativos, mas também colaborativos e personalizados. Esse conceito permite que os discentes tenham acesso a experiências que simulam o mundo real, facilitando a compreensão de conceitos complexos por meio da visualização e manipulação direta de objetos virtuais. Assim, espaços virtuais revelam ser ambientes propícios à experimentação e à prática, ao passo que transcendem limitações físicas em contextos diversos.



Dessa forma, trabalhos nesse sentido se mostram oportunos para explorar as possibilidades oferecidas com os avanços tecnológicos recentes. Além disso, contribuem para posicionar a Universidade de Brasília como uma das instituições pioneiras, em âmbito nacional, na adoção de conceitos e tecnologias disruptivas, como o metaverso, para fins educacionais.

## 1.3 Questões de pesquisa

As questões de pesquisa apresentadas a seguir direcionam os esforços realizados no presente trabalho, alinhando-se aos temas centrais ora propostos e às discussões pertinentes para o amplo desenvolvimento da interface do projeto SmartUnB.ECOS.

- Em que cenário se encontram e como as atuais plataformas de repositórios de artefatos educacionais abordam a busca, navegação e interação com os conteúdos disponibilizados?
- De que maneira a utilização de tecnologias emergentes, sejam elas imersivas ou não, tem sido explorada em contextos culturais (museus) e sociais (educação)?
- Quais são as características e funcionalidades da plataforma Decentraland que a tornam adequada para o desenvolvimento de um repositório de artefatos educacionais no metaverso, proporcionando um ecossistema imersivo?
- Quais contribuições a concepção e o desenvolvimento de um repositório de recursos educacionais em ambiente virtual utilizando a plataforma Decentraland podem oferecer para o futuro do projeto SmartUnB.ECOS?

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver e prototipar um repositório de recursos educacionais no metaverso utilizando a plataforma Decentraland, com o intuito de explorar e demonstrar as potencialidades de tecnologias imersivas em contexto educacional.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são detalhados a seguir:

- Desenvolver um repositório de recursos educacionais imersivo e interativo no metaverso, utilizando a plataforma Decentraland, como alternativa ao repositório original Lourdes Mattos Brasil, explorando de forma abrangente as potencialidades e os recursos oferecidos pelo Decentraland.
- Abordar as características, funcionalidades e limitações das plataformas atuais de Repositórios de Recursos Educacionais Abertos (RREAs), bem como explorar a aplicação de tecnologias imersivas em ambientes de museus e no contexto educacional, a fim de identificar oportunidades para inovação.
- Conceber, prototipar e implementar as cenas do repositório Lourdes Brasil no metaverso, utilizando os recursos oferecidos pela plataforma Decentraland, e integrar o frontend do repositório com um backend responsável pelo gerenciamento de conteúdo e navegação, visando proporcionar uma experiência imersiva e dinâmica aos usuários.
- Avaliar comparativamente a versão do repositório no metaverso em relação à versão tradicional na Web 2D, identificando benefícios, limitações e oportunidades de melhoria, além de explorar as possibilidades de integração e interoperabilidade entre o repositório no metaverso e outros sistemas acadêmicos da Universidade de Brasília, como os que compõem o projeto SmartUnB.ECOS.

## 1.5 Organização do documento

Este documento está organizado da seguinte maneira:

No Capítulo 2, exploramos iniciativas sobre RREAs ainda apoiados pela Web 2.0 e a aplicação de tecnologias imersivas, como VR e AR, em museus.

Em seguida, no Capítulo 3, apresentamos uma análise do repositório Lourdes Brasil, atualmente utilizado na UnB. Também abordamos a fundamentação teórica acerca da aplicação do metaverso em contextos educacionais e exploramos, em sua totalidade, as características do Decentraland.

O Capítulo 4 descreve o processo de *design*, implementação e avaliação comparativa do repositório de recursos educacionais desenvolvido em ambiente virtual 3D. Analisamos e comparamos ambas as versões do repositório e sugerimos possíveis implementações.

Por fim, no Capítulo 5, apresentamos a conclusão do trabalho, destacando as principais contribuições da proposta desenvolvida e endereçando possibilidades para trabalhos futuros, especialmente no contexto do projeto SmartUnB.ECOS.

# Capítulo 2

## Trabalhos relacionados à busca e navegação na Web

Neste capítulo, apresentamos iniciativas relacionadas à solução construída neste trabalho. Inicialmente, discutimos a evolução dos recursos educacionais digitais, destacando propostas internacionais que facilitam a descoberta e acesso a uma variedade de REAs. Além disso, relacionamos repositórios desenvolvidos nacionalmente para o mesmo propósito. Também abordamos o surgimento e impacto dos museus virtuais, que têm proporcionado experiências imersivas e interativas através de tecnologias disruptivas, enfatizando os avanços recentes que têm transformado a interação pública com o patrimônio cultural e histórico, com foco nos aspectos de visitação e navegação.

### 2.1 Exploração de REAs

No início dos anos 2000, os então chamados “Objetos de Aprendizagem” (OAs) surgiam em resposta ao alto custo de produção de material didático, com uma proposta de modularização de recursos educacionais que se apresentam em diferentes formatos (imagem, vídeo, *software*, etc), visando propiciar a reutilização por uma pessoa/comunidade [3]. Para abrigar os tais OAs e viabilizar o reuso, propunham-se os Repositórios de OAs (ROAs). Os autores de OAs procediam então à catalogação dos objetos a partir do preenchimento de metadados que buscavam anotar ou descrever de maneira singular cada objeto, a fim de que pudesse ser localizado posteriormente. Para fins de padronização e consequente federação, os ROAs seguiam padrões de metadados que eram compartilhados pela comunidade, a exemplo do LOM<sup>1</sup> [4] e do *Dublin Core* [5].

---

<sup>1</sup>*Learning Object Metadata.*

A partir dos padrões, algumas aplicações específicas começavam a construir “Perfis de Aplicações” como maneira de facilitar o preenchimento de metadados e de adaptar os índices para propósitos específicos.

A começar pela iniciativa europeia Ariadne<sup>2</sup>, alguns ROAs internacionais surgiram e persistem até os dias atuais, a exemplo do MERLOT<sup>3</sup> e CAREO<sup>4</sup>. Ambos repositórios possibilitam descoberta de recursos educacionais, de variados formatos, por meio dos metadados de artefatos catalogados. No entanto, apenas indexam referências externas para acesso aos materiais distribuídos (Figura 2.1).

The screenshot shows the 'Material Detail' page for 'VR Molecules'. The main content area includes a thumbnail image of a molecular model, a description of the resource, keywords, disciplines, and interactive options like 'Go to Material', 'Bookmark / Add to Course ePortfolio', 'Create a Learning Exercise', and 'Add Accessibility Information'. A 'Quality' sidebar on the right displays metrics such as 'Peer Review', 'User Rating', 'Comments', 'Learning Exercises', 'Bookmark Collections', and 'Course ePortfolios', along with 'Editors' Choice' and 'MERLOT Classic' badges. Below the main content, a 'More about this material' section provides detailed metadata including material type, dates, author, submitter, primary audience, technical format, mobile compatibility, technical requirements, languages, cost, source code availability, accessibility information, and creative commons license (CC BY).

Figura 2.1: Detalhes de um objeto de aprendizagem indexado na plataforma Merlot <sup>3</sup>.

Para além dos ROAs clássicos, existem também plataformas que não apenas abrigam/indexam recursos educacionais, como também possibilitam a interação com recursos educacionais na própria plataforma, e.g. Wisc-Online<sup>5</sup> (Figura 2.2). Existem ainda plataformas que permitem a elaboração/execução de Unidades de Aprendizagem a partir dos objetos indexados, como o Go-Lab<sup>6</sup>.

Recentemente, os OAs passaram a cunhar um significado mais específico, delimitando materiais didáticos sob licença aberta que fossem disponibilizados para reuso, revisão, *remix* e redistribuição, denominados Recursos Educacionais Abertos (REAs) [6]. Como resultado, os repositórios destinados à busca, armazenamento e distribuição de REAs passaram a se chamar Repositórios de Recursos Educacionais Abertos (RREAs) [7].

<sup>2</sup><https://www.ariadne-eu.org>

<sup>3</sup><https://merlot.org/merlot>

<sup>4</sup><https://www.careo.org>

<sup>5</sup><https://www.wisc-online.com>

<sup>6</sup><https://www.golabz.eu>

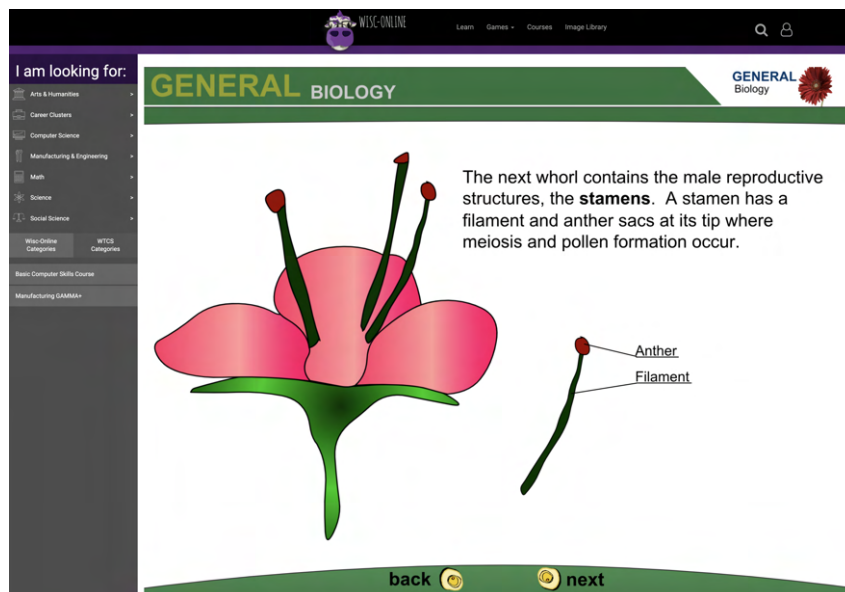


Figura 2.2: Exploração de um objeto de aprendizagem na plataforma Wisc-Online<sup>5</sup>.

Em âmbito nacional, o aumento de publicações científicas acerca do tema tem evidenciado o interesse crescente em REAs [8]. Entretanto, embora pautados por uma série de políticas públicas que enfatizam a importância e a necessidade de plataformas desse tipo, os investimentos e ações práticas ainda se mostram insuficientes [9]. Consequentemente, nota-se uma escassez de repositórios locais em atividade. Entre as produções locais ainda em funcionamento, destacam-se o Banco Internacional de Objetos Educacionais<sup>7</sup>, iniciativa do MEC, e o Currículo+<sup>8</sup>, concebido pela Secretaria do Estado de São Paulo (Figura 2.3), que disponibilizam recursos em diversos níveis educacionais.

Nesse contexto, entretanto, a busca e navegação nos repositórios ainda é apoiada na Web plana ou 2D, embora alguns dos recursos indexados sejam 3D. Esses ambientes bidimensionais possuem conhecidas limitações que impactam negativamente a educação. Segundo [10], destacam-se:

- Limitação da autopercepção: em ambientes 2D, os usuários frequentemente experimentam uma percepção limitada de si mesmos, sendo representados apenas por fotos ou vídeos estáticos sem opções de personalização.
- Baixa imersão: as sessões podem ser percebidas como eventos isolados e desconectados.
- Falta de interatividade: plataformas 2D oferecem poucas oportunidades de interação entre os participantes, resultando em uma participação passiva.

<sup>7</sup><http://objetoseducacionais.mec.gov.br/>

<sup>8</sup><https://curriculomais.educacao.sp.gov.br/>



Figura 2.3: Busca por recurso educacional na plataforma Currículo+<sup>8</sup>.

- Expressão emocional limitada: os usuários têm opções limitadas para expressar emoções, geralmente restritas.

Portanto, em meio à evolução da Internet, nota-se o pouco (ou nenhum) uso de tecnologias mais modernas que suportam tais repositórios, como ambientes virtuais e interfaces tridimensionais que poderiam proporcionar uma maior interação com recursos educacionais.

## 2.2 Visitação em museus virtuais

Nos últimos anos, o desenvolvimento de VR e AR tem reduzido limitações geográficas e espaciais quanto à visitação de ambientes físicos [11; 12; 13]. Tal progresso se deve, entre outros fatores, ao cenário pandêmico de COVID-19, que acelerou a adoção de soluções imediatas em diversos setores da sociedade. Nesse contexto, a modernização digital passa a ser uma característica, ou necessidade, evidenciada pela pandemia.

Em especial, museus têm explorado novas possibilidades de interação digital utilizando tecnologias emergentes, com o objetivo de disseminar exposições e coleções artísticas [14]. Com isso, apreciação de obras de arte e visitas a museus por meio da Internet têm se tornado uma prática comum, devido à construção dos chamados museus virtuais [15]. Segundo [16], o termo “virtual” pode ser utilizado tanto para descrever o que é criado pelo computador e que não possui uma referência no mundo físico, quanto para se referir àquilo que existe no mundo real e é digitalizado.

De acordo com [17], museu virtual pode ser entendido como uma coleção de objetos digitais logicamente interligados, formada por diversos tipos de mídia, que, devido à sua

capacidade de oferecer conectividade e múltiplos pontos de acesso, ultrapassa os métodos tradicionais de comunicação e interação com os visitantes. Esses espaços são adaptáveis aos interesses dos usuários e não possuem localização ou espaço físico definidos.

Em [18], os autores exploram uma ferramenta de criação de exposições virtuais que utiliza realidade aumentada e gráficos 3D. O estudo analisa também o nível de imersão sentido pelos participantes e sua satisfação ao visitar exposições virtuais em museus, comparando com visitas reais. Os autores concluem que a diversão foi positivamente associada à presença de objetos em AR e VR, indicando que uma maior sensação de presença no ambiente virtual resultou em maior satisfação e prazer ao interagir com o sistema do museu virtual. Além disso, a pesquisa revela que as experiências anteriores dos participantes com a tecnologia não afetaram a percepção da realidade dos artefatos virtuais nem sua sensação geral de presença no museu virtual.

Durante a pandemia, os museus virtuais se tornaram ainda mais participativos no meio digital: 80% dos museus europeus aumentaram suas atividades *online* por meio de redes sociais, transmissões ao vivo, *tours* e exposições virtuais [19]. Conforme registrado em [20], a digitalização é apontada como uma estratégia adotada por muitas instituições, que implementam ações como coleções *online*, *tours* 360°, museus virtuais, publicações e exibições digitais.

Em [21], as pessoas autoras também examinam a situação pós-pandêmica dos museus, destacando, inclusive, o surgimento de museus completamente digitais. Nesse contexto, a autora ressalta que entender a maneira como os visitantes interagem com as exibições é parte importante do processo de adoção de uma tecnologia. Além disso, enfatiza que o uso de técnicas de VR e AR permite ressignificar as experiências virtuais.

De maneira similar, [22] constrói espaços 100% virtuais para abrigar diversas coleções convertidas para formato digital, utilizando técnicas de modelagem e texturização 3D. Segundo os mesmos autores, a natureza integralmente digital desses espaços possibilita que os artefatos sejam organizados de forma dinâmica, oferecendo aos visitantes a oportunidade de rearranjar os objetos da cena como preferir: cronologicamente, por tema ou por instituição.

Em paralelo, o avanço tecnológico tem viabilizado também a reconstrução digital de objetos e ambientes físicos inteiros, inclusive dos que não existem mais, como explorado em [23; 24], permitindo integração entre real e virtual.

O uso de tecnologias inovadoras tem possibilitado a construção de ambientes interativos, sendo igualmente responsáveis por evitar um possível fechamento de instituições históricas durante período de restrições físicas [21]. Além disso, navegação por espaços 3D, viabilizada por VR e AR, tem redefinido as experiências de visita e interação nos ambientes digitais. Assim, o desenvolvimento e a adoção de museus virtuais sublinham

a importância das tecnologias imersivas, ampliando as oportunidades de aplicação em outros domínios, como a educação.



# Capítulo 3

## Fundamentação da proposta

Este capítulo aborda os três pilares fundamentais para o desenvolvimento do presente trabalho. Inicialmente, direcionamos nosso olhar para o repositório de artefatos educacionais já consolidado, Lourdes Brasil (3.1). Em seguida, realizamos um panorama sobre a utilização do metaverso no contexto educacional (3.2), destacando as necessidades ainda em estudo e as potencialidades não totalmente exploradas. Por fim, analisamos o Decentraland, investigando as características particulares da plataforma e relacionando suas possibilidades e limites (3.3). Ao longo deste capítulo, procuramos fornecer uma visão abrangente e detalhada dos componentes essenciais para a construção de um repositório de recursos educacionais no metaverso, fundamentando as decisões tomadas no desenvolvimento do presente trabalho.

### 3.1 O repositório Lourdes Brasil

O Lourdes Mattos Brasil (LMB) é um indexador de recursos educacionais desenvolvido pelo Departamento de Ciências da Computação (CIC) da UnB, com o objetivo de mapear o estado-da-arte em Informática na Educação, apresentando-se como um catálogo de produções nessa área em níveis local (UnB), nacional e internacional. Desde 2019, este repositório tem sido mantido pelas turmas da disciplina “Informática Aplicada à Educação” (IAE), oferecida pelo CIC/UnB, como parte do método de ensino/aprendizagem da disciplina, conforme descrito em [25; 26]. Em média, cerca de 30 recursos educacionais são identificados e catalogados a cada semestre no repositório, a partir das buscas realizadas pelas turmas nos principais eventos científicos da área. Além da disciplina IAE, o LMB tem desempenhado um papel integrador nas atividades de ensino, pesquisa e extensão na UnB, conforme ilustrado na Figura 3.1.

No contexto das atividades de ensino, o LMB é atualizado a cada semestre pelas turmas da disciplina IAE, como mencionado anteriormente. Os alunos desempenham o papel de

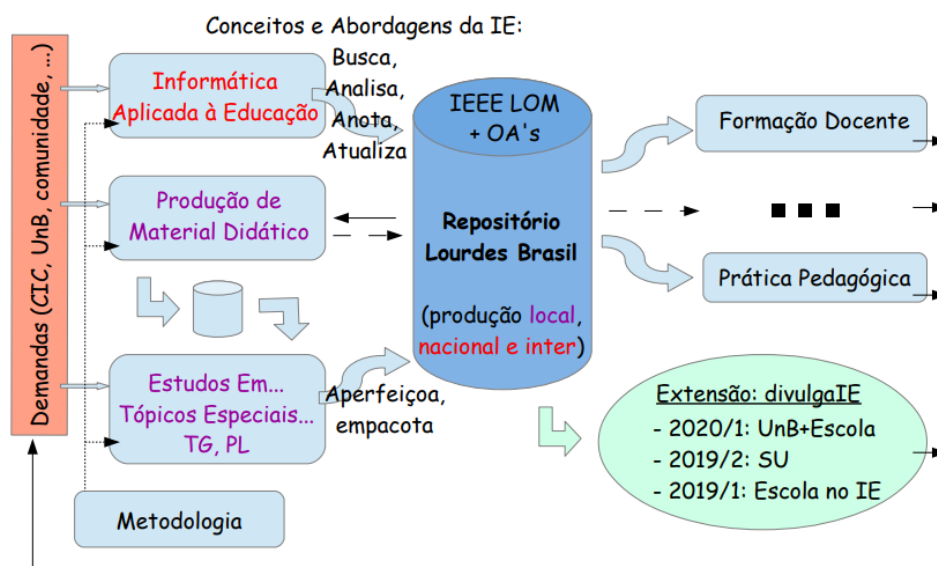


Figura 3.1: Atividades de ensino, pesquisa e extensão em torno do repositório de recursos educacionais Lourdes Brasil (2019 - presente).

mantenedores, sendo responsáveis pela atualização dos índices para navegação. Em outras disciplinas, como “Produção de Material Didático” (indicada à esquerda na imagem), os estudantes podem contribuir para a produção local e, na pesquisa, desenvolver esboços preliminares para empacotamento. Além disso, em outras disciplinas (representadas à direita), tanto alunos quanto docentes utilizam os artefatos catalogados nos processos de ensino e aprendizagem, incluindo licenciandos em computação durante suas atividades de campo.

Na área de extensão universitária, os recursos catalogados são explorados em atividades com o público externo à UnB, como oficinas na Semana Universitária (SEMUNI), ajustando-se à audiência específica. Neste contexto, os estudantes têm atuado como monitores nas atividades extensionistas.

Em aspectos técnicos, a atual instância do LMB opera em um ambiente de edição colaborativa utilizando o software MediaWiki<sup>1</sup>, o mesmo que sustenta a Wikipédia. Contudo, o LMB é aprimorado com a extensão Semantic MediaWiki (SMW)<sup>2</sup>, que possibilita a criação de índices em linguagem da Web Semântica, de forma transparente para os estudantes mantenedores.

Apesar de tais avanços, o repositório se mantém apoiado pela Web 2D e é caracterizado por uma navegação plana e estática, o que limita a capacidade do sistema de oferecer uma experiência interativa e imersiva. A navegação plana implica uma estrutura hierárquica simples e linear, na qual a interação de discentes e docentes é restrita a cli-

<sup>1</sup><https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki>

<sup>2</sup>[https://www.semantic-mediawiki.org/wiki/Semantic\\_MediaWiki](https://www.semantic-mediawiki.org/wiki/Semantic_MediaWiki)

ques e visualizações básicas, sem a possibilidade de explorar interações dinâmicas entre os conteúdos.

## 3.2 Metaverso na educação

O metaverso é um conceito emergente que comumente se integra a um conjunto de tecnologias modernas (IA, *blockchain*, 5G, etc.) e representa uma nova perspectiva de interação por meio de ambientes virtuais [27]. Nesses mundos virtuais, as pessoas representadas por seus avatares podem realizar atividades individuais ou sociais num contexto de imersão com possibilidades infinitas. Nesse contexto, barreiras entre o mundo físico e o virtual são reduzidas e permitem que, além das pessoas, outros elementos do mundo real (prédios, laboratórios, máquinas, processos, etc.) possam estar presentes digitalmente, por meio de seus gêmeos digitais [28].

Segundo [27], o metaverso pode ser representado pela integração entre os mundos humano, físico e digital, como demonstrado na Figura 3.2. O mundo humano é centrado nos usuários e suas interações sociais, utilizando tecnologias como VR e AR para interação com avatares digitais no metaverso. O mundo físico fornece a infraestrutura necessária para suportar essa interação, incluindo sensores, comunicação, computação e armazenamento, permitindo a percepção, transmissão e processamento de dados em tempo real. Já o mundo digital é constituído por mundos virtuais interconectados, onde avatares digitais interagem em ambientes virtuais e utilizam bens e serviços virtuais.

Nos últimos anos, o metaverso tem sido aplicado em diversos setores da sociedade, como alternativa às práticas tradicionais de socialização e colaboração [29]. No domínio da educação, esse conceito se mostra promissor ao possibilitar a criação de espaços customizados e imersivos, oferecendo ampla capacidade de interação [30]. Estudantes podem realizar ações como acessar conteúdos educacionais ou interagir com recursos virtuais de maneiras flexíveis [31] e realizar experimentos complexos com mais segurança e conforto do que em situações do mundo real [10].

A comunidade científica tem demonstrado interesse na aplicação do conceito de metaverso no ensino formal, em função da possibilidade de construção de mundos virtuais instrucionais, cuja utilização proporciona experiências de aprendizado que vão muito além dos resultados obtidos em salas de aula convencionais [32].

A aplicação de ambientes de metaverso no contexto educacional é discutida na literatura desde o início dos anos 2000, com a introdução da plataforma *Second Life*. Por muitos anos, essa plataforma, que continua ativa, foi a principal referência para o desenvolvimento de mundos virtuais interativos e abertos, exercendo uma grande influência sobre a criação de outros ambientes virtuais [33].

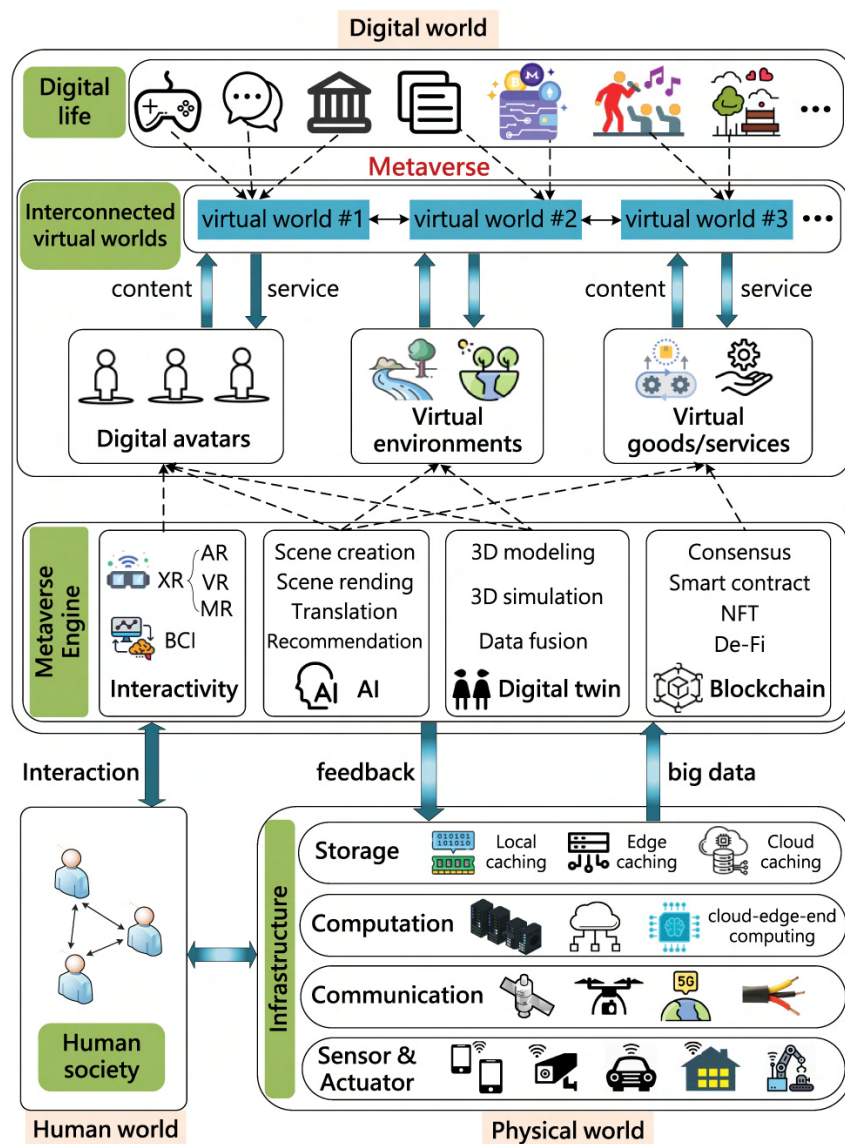


Figura 3.2: A arquitetura do metaverso na integração dos mundos humano, físico e digital [27].

Em eventos dedicados a essa temática, eram discutidos, por exemplo, mecanismos para integrar ambientes virtuais com LMS<sup>3</sup>, como o Moodle [34]. A interoperabilidade proposta permitiria que os estudantes interagissem com o LMS dentro do metaverso, fazendo com que suas ações fossem refletidas no sistema.

Outros estudos previam a ampla adoção do metaverso como tecnologia chave para a educação superior na segunda década do século [35]. Contudo, na virada da década, as iniciativas eram ainda bastante modestas, conforme evidenciado em [36], apesar da evidente atratividade da plataforma *Second Life* e das promissoras oportunidades que ela parecia oferecer.

<sup>3</sup>Learning Management System.

Eventos globais recentes também incentivaram a necessidade de estudos ainda mais aprofundados sobre o uso de tecnologias imersivas na educação, como a pandemia de COVID-19 [37; 38]. Em resposta ao período pandêmico, trabalhos já discutiam a aplicação do metaverso como suporte ao processo de ensino-aprendizagem [39; 40]. Além disso, a popularização de mídias sociais e ambientes imersivos entre as gerações Z e Alfa [41], bem como o avanço de tecnologias da Web 3.0, IA [42], análise massiva de dados [43] e *blockchain* [44], têm impulsionado novas iniciativas no campo do metaverso na educação.

Em perspectiva complementar, iniciativas recentes também destacam a criação de sistematizações de definições [44] e *frameworks* [45]. Além disso, são evidenciados desafios técnicos [43], éticos [37; 46] e relacionados à segurança e privacidade [27], com o objetivo de orientar a comunidade acadêmica em direção a uma agenda compartilhada.

Além disso, pautas mais recentes também estão sendo investigadas pela comunidade científica em resposta a demandas sociais. Aspectos inclusivos têm sido analisados para criar experiências imersivas [47] e desenvolver diretrizes para a criação acessível de ambientes 3D [48]. Como resultado desses esforços, estudos primários [49; 50] contribuem para evidenciar os benefícios das recentes inovações no metaverso educacional: aprendizado cooperativo, acessibilidade e inclusão, engajamento e integração entre discentes e docentes. Em complemento, as pessoas autoras indicam que tais inovações têm um impacto positivo nos resultados educacionais, promovendo um aprendizado mais eficaz.

Conforme evidenciado em um estudo recente [51], o Brasil é reconhecido como um dos países pioneiros em pesquisas sobre metaverso na educação, compartilhando o título com a Espanha. Entre as iniciativas brasileiras inovadoras, destaca-se a utilização de laboratórios virtuais para o ensino imersivo de cálculo [52].

Embora o Brasil tenha se destacado pelo pioneirismo em pesquisas relevantes, a disseminação do metaverso educacional ainda é limitada. A inclusão do termo “metaverso” nas chamadas da SBIE apenas ocorreu a partir de 2022, em resposta aos trabalhos inovadores, mas ainda escassos [52; 53; 54]. Outras comunidades no contexto da SBC, como o WEI [55], bem como aquelas focadas em aplicações educacionais, como a SBSC [56; 57] e a SBGames [58], também começam a reconhecer a importância do tema.

Portanto, o metaverso na educação se mostra promissor e tem atraído crescente atenção, especialmente com o avanço das tecnologias e eventos globais recentes, representando uma fronteira promissora para a educação e oferecendo possibilidades de aprendizado imersivo e interativo.

### 3.3 A plataforma Decentraland

Lançado oficialmente em 2020, Decentraland é caracterizado em [59; 60] como uma plataforma que proporciona uma experiência de metaverso imersiva e interativa, permitindo aos usuários explorar espaços virtuais 3D criados pela comunidade, interagir com outros jogadores e criar seus próprios conteúdos digitais. Além disso, é de propriedade de sua comunidade, que gere e decide os rumos da plataforma através de uma Organização Autônoma Descentralizada (DAO). Todos os ativos digitais dos jogadores dentro do metaverso são registrados publicamente em uma *blockchain*, e a economia interna é impulsionada por um token nativo da plataforma, o MANA.

Outro aspecto a se destacar do Decentraland é sua característica de código aberto [61]. A plataforma possibilita que qualquer pessoa possa contribuir diretamente com a evolução do projeto e viabiliza a criação de instâncias personalizadas da infraestrutura compartilhada de metaverso oferecida.

#### 3.3.1 História

A criação do Decentraland se deu em 2015 por um grupo de argentinos e tem evoluído desde então. Em sua fase inicial, conhecida como a “Idade da Pedra” do Decentraland (Figura 3.3), o projeto tinha como objetivo estabelecer uma infraestrutura básica para o gerenciamento de propriedades digitais utilizando uma versão simplificada de uma *blockchain* [62].

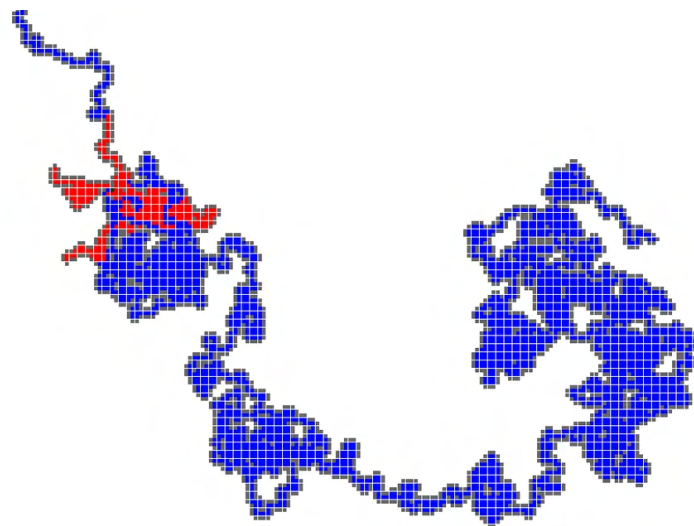


Figura 3.3: Estado da *blockchain* do Decentraland na “Idade da Pedra” [62].

Em 2016, os desenvolvedores iniciaram a construção do ambiente virtual 3D, dividido em parcelas de terreno, numa fase que ficou conhecida como “Idade do Bronze” (Figura 3.4). Nessa etapa, ainda utilizando a *blockchain* elaborada inicialmente, cada proprietário era capaz de associar sua parcela a uma referência *hash*, que poderia ser usada por outros jogadores para baixar o conteúdo de determinada parcela e explorar as construções daquele ponto.

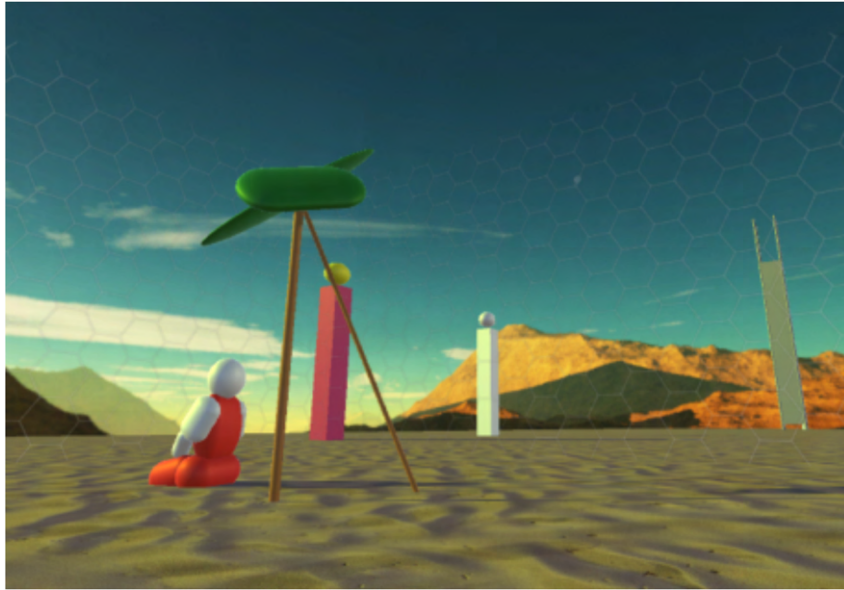


Figura 3.4: Primeiras estruturas criadas em 2016 pela comunidade por volta da parcela Genesis, localizada na coordenada (0, 0) [62].

Em agosto de 2017, Decentraland angariou financiamento inicial para o projeto através de uma Oferta Inicial de Moedas (ICO), arrecadando cerca de 26 milhões de dólares destinados aos primeiros investimentos significativos na plataforma [63]. Em dezembro do mesmo ano, ocorreu o primeiro leilão de terrenos da cidade Genesis, conhecido como Terraform. No evento, mais de 34 mil parcelas de terreno foram vendidos, cerca de 1/3 de todo o espaço disponível da cidade [64].

A última etapa do desenvolvimento inicial do Decentraland é conhecida como a “Idade do Ferro”. Nessa fase, foi incorporado o protocolo de comunicação peer-to-peer (P2P), que inclui *chats* de texto e áudio, permitindo que as pessoas interajam entre si dentro do metaverso. Também foram implementadas a criação e personalização de avatares e um sistema de micropagamentos interno [64]. Além disso, foi desenvolvida uma interface de gerenciamento de terrenos que permite aos jogadores comprar, alugar e vender seus espaços virtuais.

No dia 20 de fevereiro de 2020, Decentraland era disponibilizado oficialmente para a comunidade, marcando também o início das operações da DAO [65].

Desde o seu lançamento, a plataforma tem estabelecido parcerias com diversas marcas. Dentre as ações conjuntas, destaca-se o evento realizado pela Samsung, que em 2022 construiu um espaço exclusivo no Decentraland para a divulgação de novos dispositivos. Além disso, eventos como a *Metaverse Fashion Week* (MVFW), uma semana de moda virtual dedicada à apresentação das coleções de *designers* digitais [66], também tiveram o Decentraland como anfitrião em 2022 e 2023. Durante a MVFW, marcas renomadas como Dolce & Gabbana, Tommy Hilfiger, e Adidas apresentaram seus conteúdos dentro do metaverso [67; 68; 69].

### 3.3.2 LANDs, Propriedades, Nomes e Mundos

A jornada de um novo usuário se inicia na praça central da cidade Genesis (Figura 3.5), o ponto principal do mundo virtual do Decentraland. A cidade é composta por 9 praças e diversos distritos temáticos, interligados por avenidas, que servem como pontos de orientação para os jogadores [60]. Nos arredores dessas praças estão as LANDs, parcelas de terreno disponíveis para serem alugadas ou compradas pelos usuários, as quais os preços tipicamente variam de acordo com a proximidade dos pontos de referência e das avenidas [64; 70; 71]. Todos são livres para explorar os terrenos da cidade Genesis, no entanto, para construir é preciso possuir um espaço próprio.

O metaverso do Decentraland é composto por parcelas de terreno, denominadas de LAND, cada uma delas representada no mapa por um quadrado e localizadas em uma coordenada (X, Y). Nesse contexto, cada LAND é um NFT, o que significa que pertence a apenas um único dono e sua posse não pode ser falsificada ou duplicada, assim como as propriedades da vida real. Como mencionado anteriormente, qualquer pessoa pode comprar, vender ou alugar uma LAND a qualquer momento, seja através do *marketplace* oficial da plataforma ou por meio de outras lojas de NFT, como o Opensea<sup>4</sup>. Todas as transações são devidamente registradas na *blockchain* Ethereum para garantir a prova de propriedade [61]. Portanto, quando um jogador adquire e possui um terreno no Decentraland, ele é, inquestionavelmente, o dono daquela parcela de terra.

Possuir apenas uma LAND pode ser insuficiente, dependendo da ambição do jogador em relação à construção. Por esse motivo, o Decentraland possibilita a conexão de múltiplas parcelas de terreno adjacentes através do *marketplace* [59]. Essa estratégia é interessante pois não apenas simplifica as negociações na loja virtual, como também expande os limites de criação, uma vez que a quantidade de elementos 3D e a altura máxima das construções podem variar de acordo com a quantidade de parcelas conectadas [61].

Todos os elementos visuais e a disposição dos conteúdos em uma LAND formam uma cena. Construir uma cena é simples e não depende de conhecimentos técnicos em

---

<sup>4</sup><https://opensea.io>



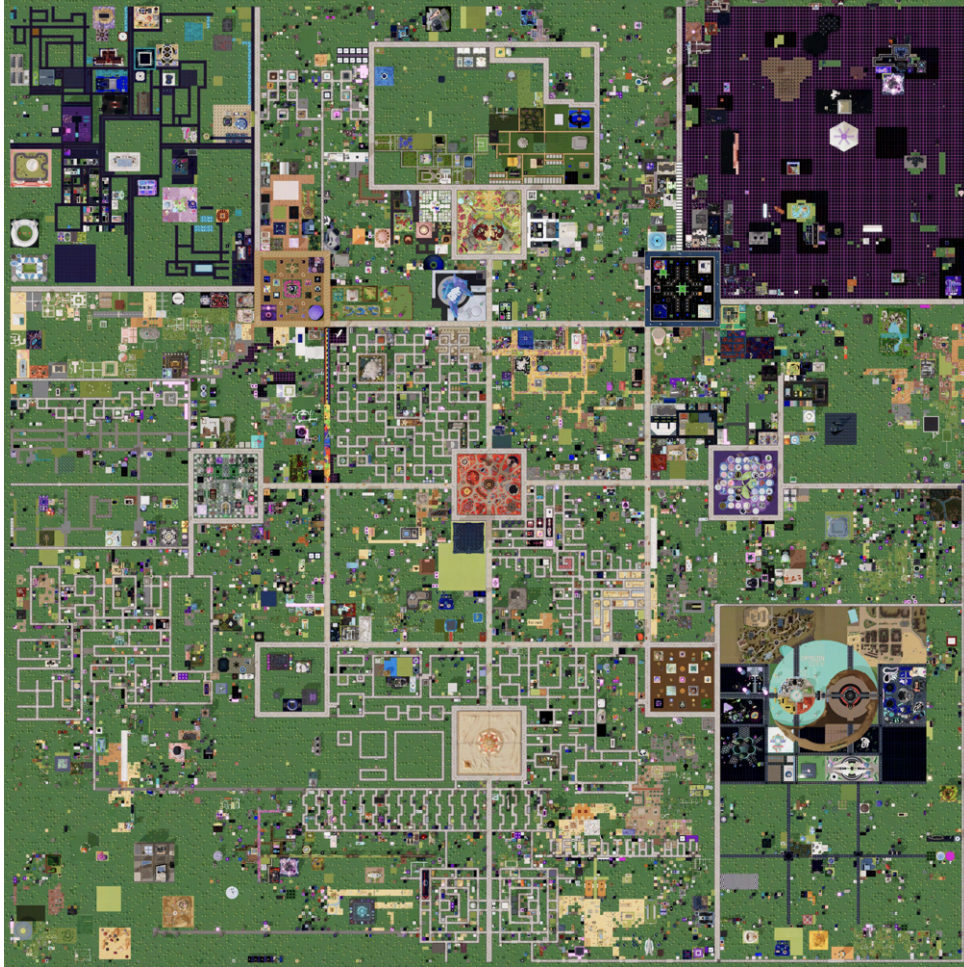


Figura 3.5: Mapa da cidade Genesis em 02 de abril de 2024 obtido em <https://genesis.city>.

programação. Isso se deve ao fato da plataforma oferecer o Builder<sup>5</sup>, uma ferramenta para construção de cenários que será explorada com mais detalhes em 3.3.3. Em resumo, o Builder é utilizado para criar cenas com poucos cliques, arrastando e posicionando objetos por um espaço 3D [61]. Existe, ainda, a possibilidade de criar cenas mais complexas e personalizadas, escrevendo o código da cena manualmente utilizando a linguagem de programação TypeScript, o que oferece mais possibilidades e controle sobre o resultado final.

Com a cena construída, é possível inseri-la em uma LAND na cidade Genesis para que qualquer pessoa possa visitá-la facilmente. Além disso, existem os Mundos: espaços virtuais maiores, separados da cidade Genesis e compostos por um conjunto de LANDs conectadas. Eles oferecem aos criadores a oportunidade de construir e compartilhar experiências mais amplas, interligando as cenas para criar narrativas complexas ou ambientes temáticos [61]. Para obter um Mundo no Decentraland, é necessário adquirir uma espécie

---

<sup>5</sup><https://decentraland.org/builder>

de identidade no metaverso, chamada de Nome, que também é um NFT dentro da plataforma. Além do Mundo, a aquisição de um Nome traz consigo outros privilégios: um *nickname* exclusivo para o avatar e o direito à participação na governança da plataforma para votar em propostas da DAO.

### 3.3.3 O Builder e a criação de conteúdos

A construção de espaços virtuais no Decentraland é impulsionada pelo Builder, uma ferramenta de edição visual projetada pela plataforma para a criação de cenas [61]. Este recurso oferece uma variedade de pacotes temáticos para a decoração das cenas, cada um contendo diversos modelos 3D prontos para uso. Além disso, as coleções criadas para eventos na plataforma, assim como todas as decorações empregadas na cidade Genesis, podem ser facilmente incorporadas na criação de um novo espaço virtual.

O Builder também oferece a flexibilidade de importar modelos criados externamente à plataforma. Essa alternativa possibilita a concepção de coleções personalizadas que podem ser utilizadas para compor uma nova cena. Os objetos 3D importados devem estar no formato GLTF (*Graphics Library Transmission Format*) ou GLB (*Graphics Library Transmission Format Binary*). Para isso, o Decentraland recomenda o uso da ferramenta Blender<sup>6</sup>, amplamente difundida na criação de modelos tridimensionais. No entanto, qualquer outra ferramenta pode ser utilizada, desde que respeite os formatos suportados pelo Builder.

#### 3.3.3.1 Editor Web

O Decentraland oferece um Editor Web para explorar a ferramenta de construção diretamente pelo navegador (Figura 3.6), sem a necessidade de instalações extras. Esse editor simplifica a criação de cenas, permitindo uma modelagem intuitiva no estilo “arrastar e soltar”, onde o criador pode posicionar e rotacionar elementos por todo o espaço delimitado. Além disso, a ferramenta proporciona a experiência de testar a cena em tempo de desenvolvimento como um jogador, por meio do modo prévia, permitindo ao criador navegar pela cena e avaliar sua interatividade.

O Editor Web também disponibiliza um conjunto de cenas de exemplo, que podem ser utilizadas como ponto de partida e aprimoradas conforme necessário. Os usuários têm a possibilidade de importar e exportar suas próprias cenas, facilitando o compartilhamento de trabalho entre criadores. Além disso, o editor reserva um espaço dedicado para o

---

<sup>6</sup><https://www.blender.org/>

gerenciamento de cenas, permitindo que criadores publiquem seus cenários tanto na cidade Genesis quanto em outros Mundos dentro da plataforma.

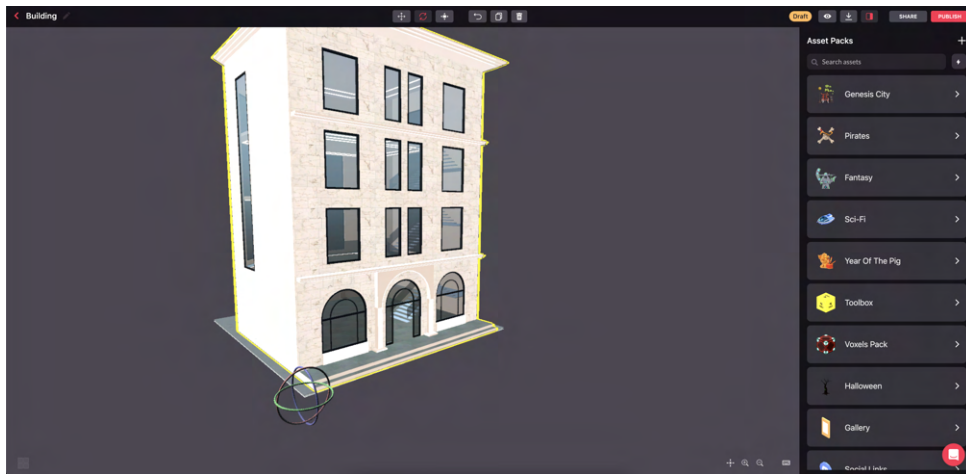


Figura 3.6: Ferramenta de construção de cenas do Decentraland em sua versão Web [61].

### 3.3.3.2 Editor Desktop

A plataforma também disponibiliza uma extensão do Builder para o editor de código Visual Studio Code (VSCode) que possui as mesmas funcionalidades da versão Web (Figura 3.7). A extensão permite a edição direta do código-fonte da cena à medida que esta é construída. Assim, oferece ao criador a oportunidade de adicionar lógicas e interações mais complexas à cena, contudo, é necessário possuir conhecimento prévio na linguagem de programação TypeScript para integrar o código com os elementos visuais.

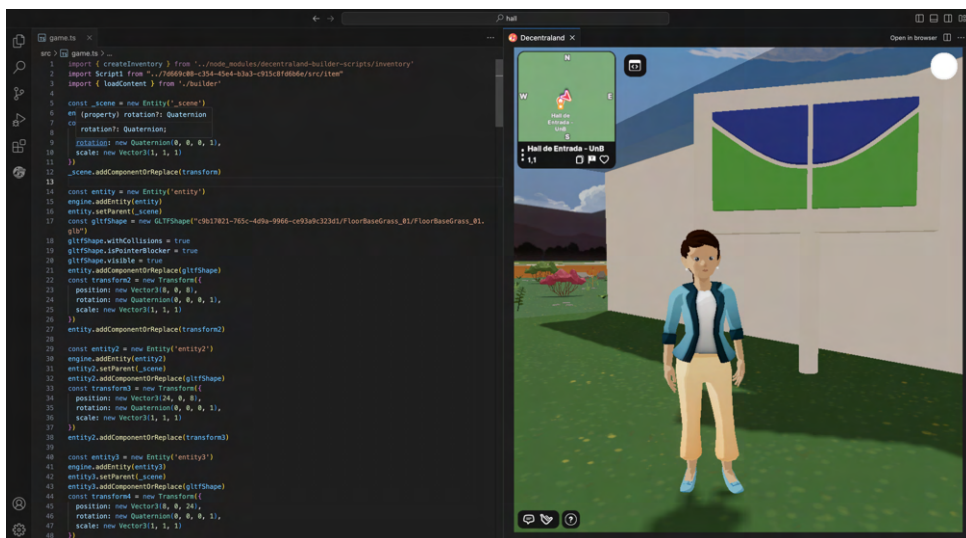


Figura 3.7: Utilizando o Editor Desktop para construção de cenas no Decentraland.

Toda cena no Decentraland é, em suma, um código-fonte na linguagem de programação TypeScript que define as posições dos elementos 3D e as lógicas que os controlam. A fim de facilitar o desenvolvimento, o Decentraland disponibiliza um *Software Development Kit* (SDK), para manipular o código-fonte e executar as cenas, mesmo *offline*. Atualmente, existem duas versões de SDK, uma legada (v6) que não recebe mais atualizações da plataforma no entanto ainda é suportada, e outra mais recente (v7) que conta com novos recursos e melhorias de usabilidade, performance e portabilidade. A utilização do SDK permite explorar as possibilidades mais avançadas na criação de conteúdos, como a inclusão de interações com objetos, navegação, criação de interfaces 2D, conexão com serviços externos, etc.

### 3.3.3.3 NPCs e Inteligência artificial

Em atualização recente, o Decentraland introduziu os *Non-Player Characters* (NPCs) no ambiente virtual da plataforma. Os NPCs são personagens não controlados que podem enriquecer experiências virtuais à medida que respondem às ações de jogadores reais e interagem com o ambiente de forma programada, contribuindo para a narrativa e a dinâmica do jogo [72]. Na praça Genesis, o hall principal conta com NPCs interativos, que caminham “livremente” pelo espaço e eventualmente conversam por áudio e texto com usuários reais, como demonstrado na Figura 3.8.



Figura 3.8: NPC “Dodge” caminhando pelo hall da praça Genesis.

No Decentraland, os NPCs também podem ser potencializados por IA, permitindo customizar o comportamento, a personalidade e as respostas de cada personagem não

jogável. A plataforma disponibiliza uma biblioteca completa, e de código aberto, para criação de NPCs interativos e dinâmicos. A modelagem 3D de um novo NPC pode ser realizada em ferramentas já comentadas anteriormente, como o Blender, seguindo os formatos suportados pelo Decentraland. No entanto, também possível utilizar a partir da plataforma InWorld<sup>7</sup>, que já possui integração com o Decentraland e oferece a possibilidade de criar personagens inclusive por *prompt*.

Os NPCs da praça Genesis também servem como guias para o metaverso de Decentraland: sugerem lugares para serem visitados, contam curiosidades e fornecem informações sobre atividades que acontecem na plataforma. Ao se aproximar e interagir com um deles, uma caixa de diálogo é aberta e, a partir de então, é possível conversar com os personagens (Figura 3.9).



Figura 3.9: Interagindo com o NPC “Simone” na praça Genesis.

Em contexto educacional, a capacidade de criar um NPC personalizado e aprimorado por IA no Decentraland, capaz de assumir qualquer forma física, está alinhada com a necessidade de desenvolver agentes pedagógicos, conforme apontado por [31], que poderiam acompanhar jogadores reais (estudantes) em sua trajetória dentro do metaverso.

### 3.3.3.4 Criação de vestuários

Grande parte da economia do Decentraland gira em torno dos vestuários. Os vestuários na plataforma são desenvolvidos e comercializados por criadores de conteúdo e utilizados para personalizar os avatares no metaverso [66]. A plataforma disponibiliza um manual

<sup>7</sup><https://inworld.ai>

completo sobre a criação de vestuário e *emotes* (animações para o personagem) customizados. Os itens de vestuários são divididos em categorias, como elementos para a cabeça, tronco, braços, pernas, pés e mãos. Além disso, cada item possui uma raridade, que denota a quantidade máxima de vezes que este pode ser gerado.

Ao andar pela cidade Genesis é comum visualizar painéis que exibem vestuários criados por *designers* digitais (Figura 3.10). Isso é possível pois cada vestuário também é um NFT, que pode ser exibido nas cenas de seus proprietários como forma de divulgação.



Figura 3.10: Vestuário sendo divulgado em uma parcela da cidade Genesis.

### 3.3.3.5 Missões

Ainda sobre a criação de conteúdo, o Decentraland disponibiliza um sistema de desenvolvimento de missões, onde os participantes devem executar uma sequência de tarefas no metaverso para alcançar um determinado objetivo e potencialmente ganhar uma recompensa. Assim como ocorre ao se registrar e entrar no mundo virtual de Decentraland pela primeira vez, onde uma missão apresenta os passos iniciais e os comandos básicos, as missões podem ser desenhadas para gerar conteúdos interativos nas cenas e estimular a exploração dos espaços 3D. Existem diversos exemplos, alguns deles bastante sofisticados, de missões por toda a cidade Genesis, os quais jogadores podem ganhar NFTs como prêmio pela conclusão de uma ou mais missões. Além dos servidores oficiais, todo o conjunto de ferramentas para a concepção de missões também pode ser configurado para projetos locais [61]. No entanto, este *kit* de desenvolvimento de missões está disponível apenas para a versão 7 do SDK.

### 3.3.4 Arquitetura

O Decentraland dispõe de uma arquitetura geral composta por três módulos principais: a rede Catalyst, o World Explorer e o CLI. Cada módulo é formado por um conjunto de elementos essenciais para o funcionamento da plataforma, como demonstrado na Figura 3.11.

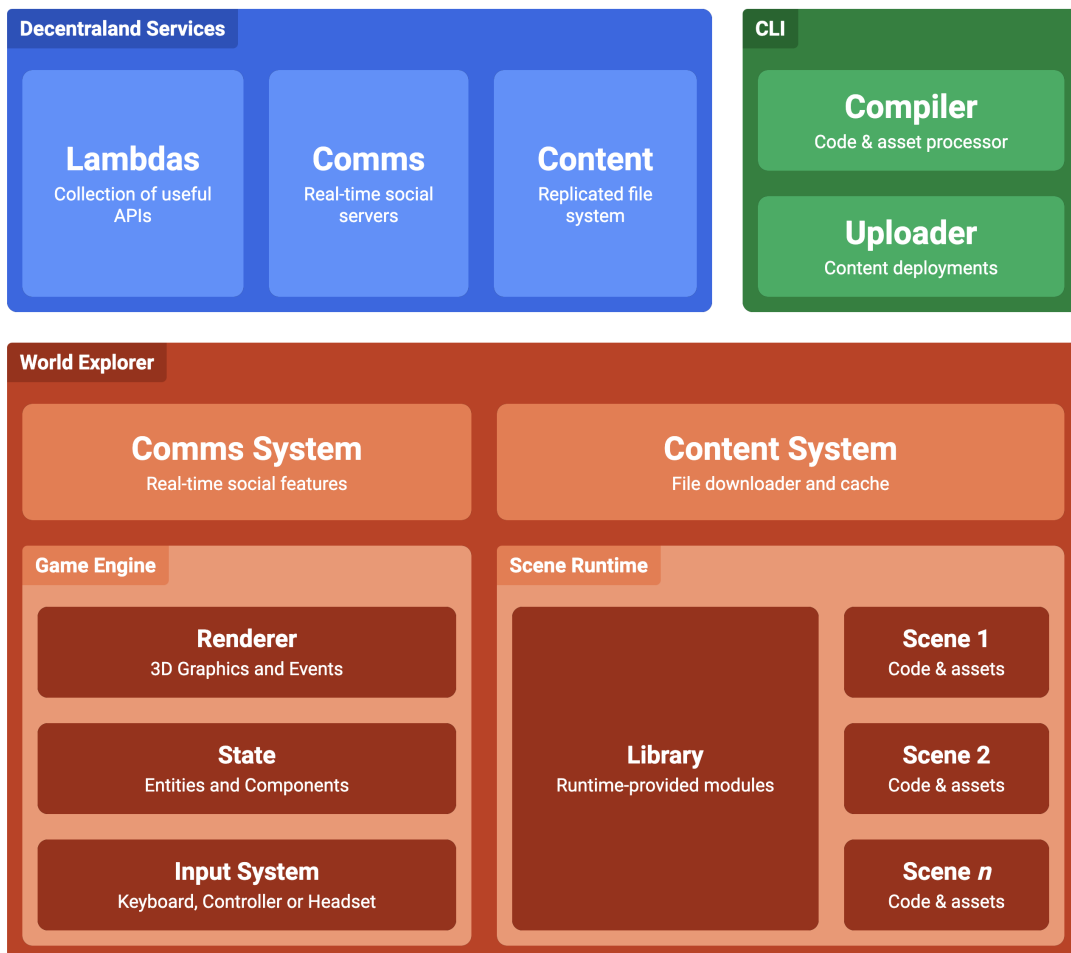


Figura 3.11: Representação geral da arquitetura do Decentraland [61].

#### 3.3.4.1 Rede Catalyst

A rede Catalyst se refere a um grupo de servidores distribuídos que hospedam e fornecem serviços essenciais por API. Cada servidor, chamado de nó Catalyst, tem a incumbência de agrupar diferentes serviços. Estes serviços funcionam como a espinha dorsal do Decentraland: gerem o armazenamento descentralizado do conteúdo necessário ao World Explorer, orquestram as comunicações P2P, realizam operações na *blockchain*, etc. Através da rede Catalyst, a plataforma também disponibiliza, de forma transparente, serviços

que fornecem informações sobre o tráfego de transações, viabilizando análises sobre o comportamento dos jogadores, as atividades econômicas e engajamento da comunidade na plataforma, como amplamente explorado em [59].

Entre os serviços oferecidos pelo nó Catalyst está o *Archipelago*, um serviço que agrupa automaticamente os jogadores em *clusters*, com base na proximidade. O *Archipelago* transfere os jogadores entre ilhas à medida que exploram e se movem em relação aos outros, além de gerenciar a criação de novas ilhas conforme necessário. Ao distribuir os jogadores, esse serviço evita a sobrecarga dos servidores e garante que as ilhas não fiquem superlotadas nem vazias demais [61].

#### **3.3.4.2 Command Line Interface (CLI)**

O CLI é um conjunto de utilitários que auxilia os criadores de conteúdo. Este componente disponibiliza comandos para criação e execução local de cenas, além de viabilizar a implantação de cenas nos servidores Catalyst.

#### **3.3.4.3 World Explorer**

Também conhecido como *client*, o World Explorer é a interface do Decentraland. Por meio do *client*, os jogadores podem entrar no metaverso e explorar as criações de outros usuários. Este componente possui uma coleção de subsistemas que viabilizam a comunicação entre os diversos serviços do nó, entre eles destacam-se o Comms System, o Game Engine e o Scene Runtime [61]. O Comms System possibilita que jogadores se comuniquem por *chat* de texto e voz no mundo virtual de Decentraland. Já o Game Engine é encarregado de processar os gráficos 3D e controlar todos os componentes e entidades de uma cena. Por sua vez, o Scene Runtime representa um ambiente isolado para desenvolver, testar e experimentar cenas, sem afetar a segurança de outros serviços.

#### **3.3.4.4 Propriedade de um nó Catalyst**

Devido à sua característica de código aberto, o Decentraland permite que qualquer pessoa contribua com a plataforma, seja no desenvolvimento de novas funcionalidades e correção de *bugs*, seja como criador de conteúdo, construindo cenas, vestuários e *emotes* (animações para o avatar). No entanto, também é possível colaborar para o crescimento da rede Catalyst ao criar um nó Catalyst próprio. Isso permite que novos usuários tenham mais possibilidades para entrar e explorar o mundo virtual.

Os servidores do ecossistema Decentraland estão implantados em instâncias *t2.xlarge* da plataforma Amazon AWS, que conta com 4vCPUs e 16 GB RAM, além de possuir um sistema de armazenamento de 2 TB [61]. Conseqüentemente, para que novos nós ingressem



à rede Catalyst, é importante que suas especificações de *hardware* estejam alinhadas às dos demais servidores, uma vez que o nó será utilizado por quaisquer membros da comunidade para entrar no Decentraland. Além disso, é necessário passar pelo processo de pedido de aprovação da DAO para participar da rede, no qual é permitido, também, angariar fundos em MANA para cobrir as despesas de infraestrutura e de gestão.

Um servidor local não precisa necessariamente ser construído para se integrar à rede Catalyst; ele pode ser personalizado para atender às necessidades específicas de um projeto. Ainda assim, é recomendado seguir as especificações técnicas citadas anteriormente para garantir um desempenho satisfatório.

Criar uma instância local possibilita controlar todos os serviços de um nó Catalyst. O *Content System* dessa nova instância pode armazenar colecionáveis personalizados, como camisetas, chapéus e *emotes*. Além disso, o nó local permite a construção em um espaço similar à cidade Genesis, e o limite de construção é determinado pela capacidade de armazenamento do servidor, permitindo a criação de cenas mais amplas e detalhadas. Servidores locais podem se comunicar facilmente: um jogador que ingressa no metaverso por um nó “x” pode navegar para um nó “y” com apenas um clique. Dessa forma, é possível estabelecer uma integração substancial entre diversos projetos locais.

Ao configurar um servidor local, ele poderá receber todas as atualizações dos nós Catalyst oficiais, aprovados pela DAO. No entanto, as novas implementações realizadas no servidor local e as informações geradas localmente não serão enviadas para as instâncias oficiais [61]. Isso permite que o servidor local mantenha sincronia de conteúdo, mas também possua um ambiente isolado, não vinculado à rede Catalyst.

### 3.3.4.5 Decentraland ECS

As cenas tridimensionais no Decentraland são baseadas em uma arquitetura denominada Entidades, Componentes e Sistemas (ECS) [61]. Esse é um padrão utilizado pelos motores de jogos, que permite fácil acoplamento e escalabilidade (Figura 3.12).

No Decentraland ECS, todos os objetos visíveis e invisíveis são entidades, que representam as unidades básicas dos elementos de uma cena e servem como um agrupador de componentes. Por sua vez, componentes destinam-se a armazenar características de uma entidade, como cor, formato, textura e comportamento. Entretanto, componentes não possuem a capacidade de alterar os valores salvos, responsabilidade que fica a cargo dos sistemas (Figura 3.13). Sistemas são funções desacopladas e independentes dos componentes e entidades. Estas operações são executadas a cada ciclo de atualização da cena, alterando o que será exibido.

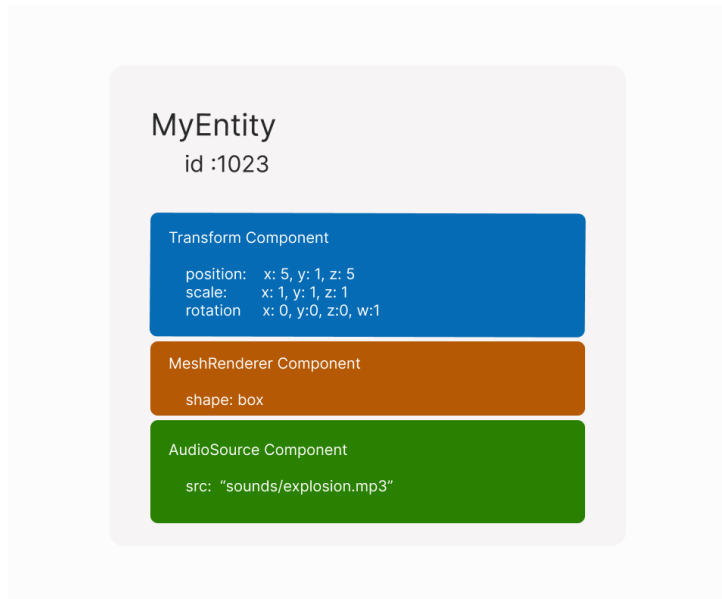


Figura 3.12: Representação de uma entidade no ECS [61].

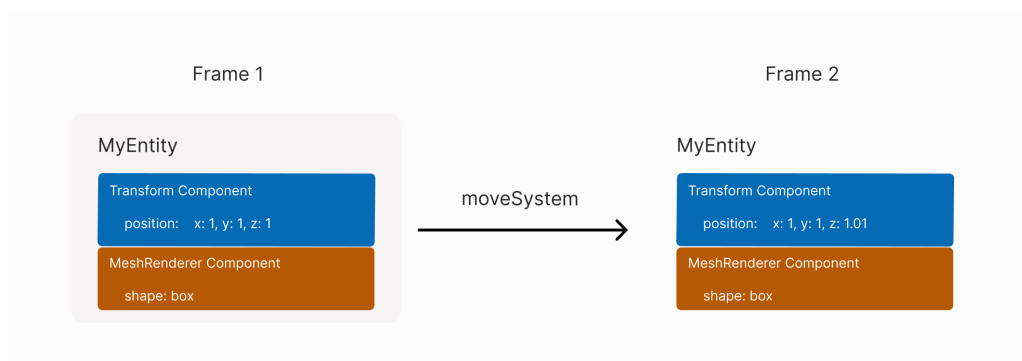


Figura 3.13: Funcionamento de um sistema no ECS [61].

A *engine* do jogo é responsável por gerenciar todo o ECS da cena. Ela não apenas determina quais entidades serão renderizadas, mas também coordena a interação dos jogadores com o ambiente e controla a execução dos sistemas.

O ECS possibilita a criação de componentes e sistemas personalizados, adicionando comportamentos e características específicas às entidades da cena, como a criação de IAs, NPCs e lógicas mais avançadas [61]. Em suma, o ECS é o padrão utilizado no desenvolvimento de experiências virtuais no metaverso do Decentraland, concedendo maior flexibilidade e controle sobre os elementos que compõem uma cena.

### 3.3.5 Decentraland DAO

Tal como descreve [60], a Decentraland DAO é uma Organização Autônoma Descentralizada que controla contratos inteligentes e ativos da plataforma. De acordo com [73], uma

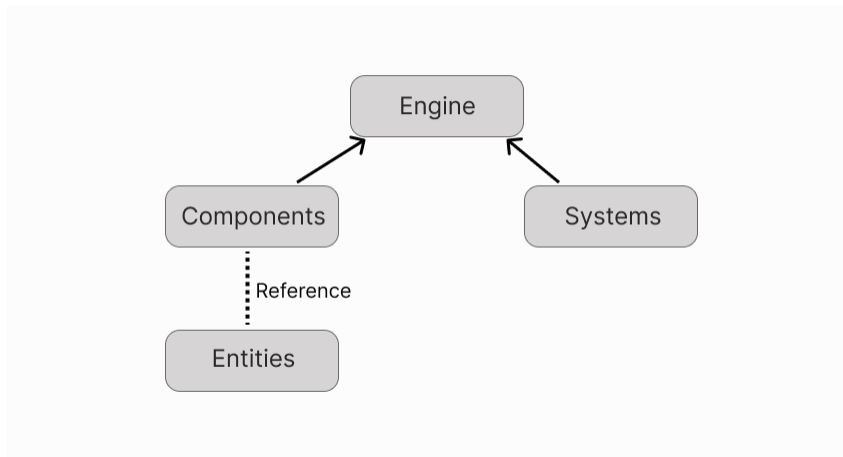


Figura 3.14: Representação do ECS [61].

DAO opera conforme as regras de regulamentação estabelecidas pelas partes envolvidas e visa promover a autogestão e a autogovernança de um projeto.

As operações de uma DAO são geridas por meio de contratos inteligentes: programas baseados em *blockchain* que executam, verificam e fazem cumprir termos contratuais sem a necessidade de intermediários [74]. No Decentraland, jogadores que possuem MANA ou LAND têm o direito de participar da DAO e votar em atualizações de políticas da plataforma por meio da interface de governança, tornando a gestão do mundo virtual aberta à comunidade.

A DAO gerencia os principais contratos inteligentes da plataforma, incluindo os nós Catalyst que fazem parte da rede, os pontos de interesse na cidade Genesis e as políticas gerais de negociação no *marketplace*.

### 3.3.6 *Marketplace* e negociações

Decentraland possui um espaço na plataforma onde é possível realizar negociações e gerenciar ativos digitais. No *marketplace*, os jogadores podem comprar e alugar LAND na cidade Genesis, além de precificar e vender seus espaços no mundo virtual [61]. Peças de vestuário e *emotes* para o avatar também estão entre os ativos que podem ser transacionados na loja virtual. Segundo [75], a personalização do avatar no metaverso é uma das atividades mais populares entre os usuários e representa um dos principais fatores de intenção de compra nos ambientes virtuais. Para além de simples acessórios, os criadores de conteúdo desenvolvem itens personalizados que contribuem para expressar a individualidade de jogadores, como cadeiras de rodas e próteses ortopédicas, que também podem ser encontrados no *marketplace* da plataforma (Figura 3.15).

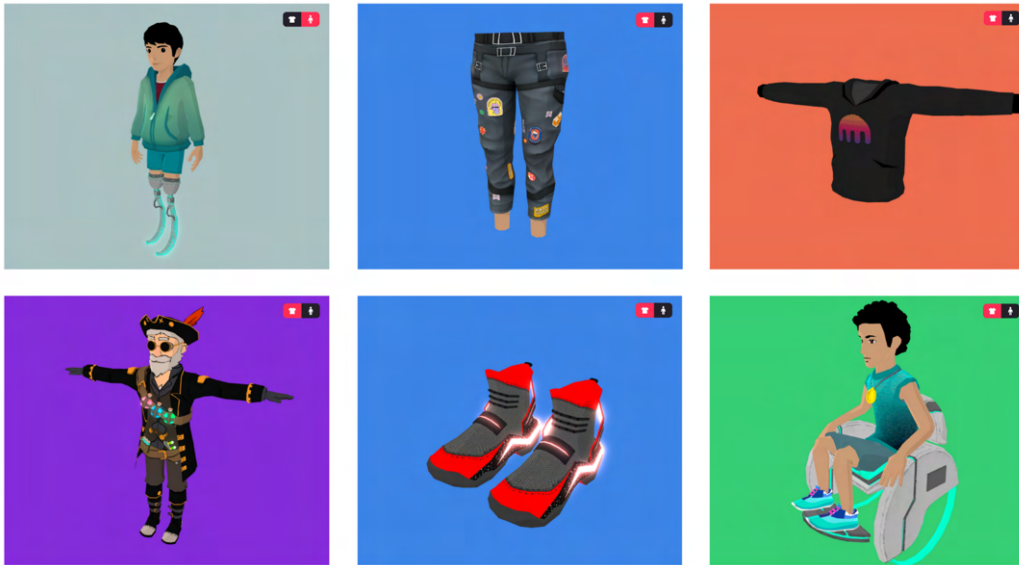


Figura 3.15: Vestuários disponíveis no *marketplace* para customização de avatar. Fonte: <https://decentraland.org/marketplace>.

### 3.3.7 Manifesto Decentraland

Desde 2022, o Decentraland lança anualmente seu Manifesto, um documento que descreve estratégias, objetivos e novidades que serão trabalhadas ao longo do ano. Em 2024, a plataforma tem desenvolvido um novo *client*, mais performático e imersivo, que seja adaptável para dispositivos móveis e VR. Ferramentas para os criadores também estão sendo aprimoradas para facilitar a produção de conteúdo no mundo virtual. Novos métodos de *login* também estarão disponíveis este ano, com o objetivo de reduzir as barreiras de entrada de novos usuários. Como parte dos esforços realizados pela plataforma este ano, em maio foi realizado na Argentina o primeiro encontro presencial da comunidade. O evento foi marcado pela apresentação das novas funcionalidades que o time técnico está desenvolvendo para o segundo semestre.

Portanto, nota-se que o Decentraland tem se consolidado como uma plataforma robusta, que oferece um conjunto de ferramentas para criação e personalização de experiências virtuais. Destacando-se por ser *open source* e descentralizada, o Decentraland se alinha às necessidades deste trabalho.

# Capítulo 4

## Concepção e prototipagem do LMB no metaverso

Este capítulo detalha o processo de concepção e prototipagem do LMB no metaverso. Primeiramente, discutimos a visão inicial e as etapas preliminares do desenvolvimento (4.1). Na Seção seguinte (4.2), exploramos as fases práticas do projeto, onde descrevemos a elaboração dos ambientes virtuais, o processo de estruturação da interface e a exibição dos recursos educacionais. Ao final, fazemos uma análise comparativa entre a plataforma já estabelecida na Web plana e o LMB no metaverso, abordando as vantagens e limitações da versão em ambiente virtual. Neste capítulo, procuramos oferecer uma visão clara e detalhada de cada etapa do desenvolvimento do LMB no metaverso, evidenciando os desafios e as soluções encontradas ao longo do processo.

### 4.1 Concepção e prototipagem do LMB no metaverso

A fim de realizar uma exploração inicial do Decentraland, deu-se início aos trabalhos com o objetivo de identificar as capacidades e limites da plataforma. Exploramos o Builder para a construção de cenas, o CLI para a compilação e execução de projetos e o World Explorer para explorar o mundo virtual e navegar pelas cenas criadas. Para isso, optamos por utilizar o SDK 6, uma vez que essa versão oferece uma documentação mais abrangente e fornece mais exemplos de uso e personalização de cenas.

A primeira cena desenvolvida através do Editor Web (Figura 4.1) tinha como objetivo compreender o funcionamento do Builder e o processo de criação de espaços 3D no Decentraland. A plataforma disponibiliza um conjunto de cenas de exemplo para personalizar, além de listar cenas públicas criadas por outros jogadores, que também podem ser clonadas e editadas.

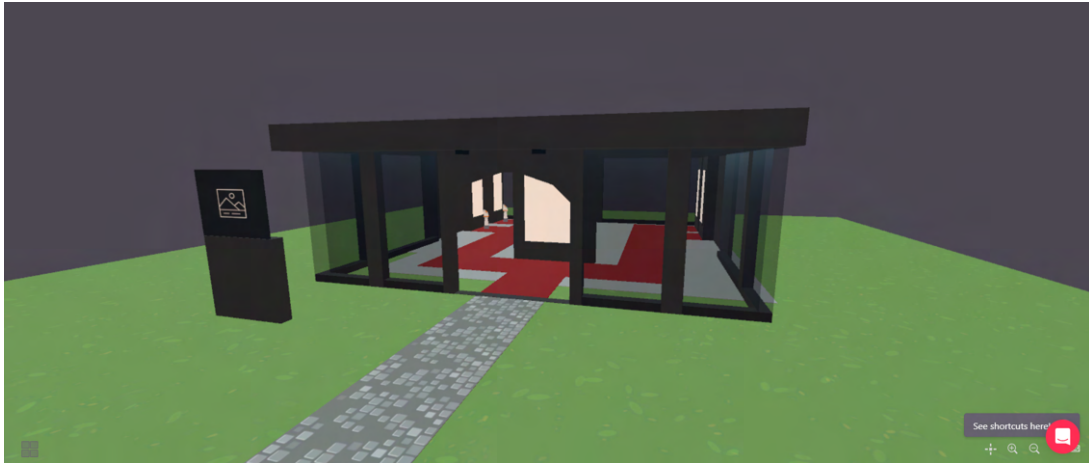


Figura 4.1: Primeira cena criada utilizando o Editor Web do Decentraland.

O uso intuitivo contribuiu para o rápido entendimento do editor de cenas. Em poucos minutos, finalizamos a criação do primeiro espaço tridimensional e fomos capazes de testá-lo através da prévia que o Builder oferece. Adicionamos também itens interativos, como painéis e totens inteligentes, que executavam ações predeterminadas. Após o sucesso dessa primeira etapa, criamos mais alguns exemplos e exportamos os arquivos para analisar o conteúdo gerado. Como dito anteriormente, uma cena é essencialmente um projeto Node.js<sup>1</sup> escrito em TypeScript, que tem como dependências os pacotes decentraland (CLI) e decentraland-ecs (pacote para manipulação de entidades, componentes e sistemas), disponíveis no repositório Node Package Manager (NPM)<sup>2</sup>.

Já executando localmente, com o SDK 6 modificamos o conteúdo de painéis e textos, analisamos o funcionamento da navegação para outros pontos do mapa, a interação de jogadores com os objetos da cena, a criação de interfaces 2D, a manipulação dinâmica de elementos na *engine*, etc. Apoiados pela documentação oficial, a execução dessa fase inicial foi importante para o planejamento das próximas etapas do projeto.

Conforme apresentado em 3.1, o Lourdes Brasil representa um repositório de artefatos educacionais cadastrados pelos alunos da UnB que serve, em resumo, para consulta de material didático por categorias. No entanto, sua busca simples e estática não oferece maiores capacidades de interação com os materiais e as informações armazenadas, tampouco permite a integração com outros sistemas.

Para criar uma experiência mais dinâmica, visando a exploração de artefatos por espaços 3D no Decentraland, e mantendo o objetivo do Lourdes Brasil, iremos construir cenas que representem categorias e subcategorias de artefatos. Por exemplo, uma cena que agrega opções de diferentes níveis educacionais teria um grupo de elementos interativos

---

<sup>1</sup><https://nodejs.org/>

<sup>2</sup><https://www.npmjs.com/>

que permitiriam navegar para um espaço contendo os artefatos do nível educacional escolhido. Portanto, o desenvolvimento do repositório no metaverso contemplou os seguintes elementos:

1. Três cenas de base para o projeto;
2. Duas categorias possíveis para navegação: Nível Educacional (subcategorias Ensino Fundamental, Ensino Médio, Ensino Técnico e Ensino Superior) e Disciplina (subcategorias Português, Matemática, Física e Biologia); e
3. Servidor *backend* responsável por controlar as navegações dos jogadores e os conteúdos disponíveis em cada cena.

## 4.2 Construindo o LMB no metaverso

### 4.2.1 Criação das cenas

A primeira cena construída para iniciar a implementação do Lourdes Brasil no Decentraland tem dimensões de 2x2 parcelas e é identificada como Hall de Entrada (Figura 4.2). Este é o ponto de entrada do projeto, por onde a pessoa usuária terá acesso aos dois tipos de navegação propostos. Como parte da personalização da cena, utilizamos um *outdoor* com a identidade visual da UnB, criado em trabalho anterior [31].

Internamente, este espaço contém 12 itens inteligentes, sendo 6 botões e 6 imagens. Os botões servem como gatilho de navegação para outra cena, e cada um tem uma imagem que descreve para qual categoria o botão irá direcionar. As imagens, também nas cores da instituição, foram criadas na ferramenta de *design* gráfico Figma<sup>3</sup>.



Figura 4.2: Cena que representa o Hall de Entrada do LMB no metaverso.

---

<sup>3</sup><https://www.figma.com/>

Ao baixar a cena e executá-la através do CLI, podemos testar o projeto de forma *offline*, fora de um servidor Catalyst. O espaço no modo *offline* é exatamente o mesmo da cidade Genesis, e, por padrão, um novo projeto baixado do Editor Web é definido para ser implantado na coordenada (0,0). Neste momento optamos por manter as configurações iniciais da cena.

Inicialmente, utilizamos o Editor Web para criar e editar novas cenas quando necessário. No entanto, a edição da cena por meio do Editor Desktop (extensão VSCode) torna as alterações mais rápidas e menos trabalhosas, uma vez que não há necessidade de carregar ou baixar a cena novamente, como na primeira alternativa. Outro ponto positivo dessa abordagem é que as modificações realizadas no Editor Desktop atualizam automaticamente o código-fonte. Em vista disso, as construções passaram a ser feitas utilizando a versão Desktop do Builder.

A segunda cena (Figura 4.3) também possui dimensões de 2x2 parcelas, contendo 15 itens inteligentes, sendo 8 botões e 7 imagens. Adicionamos um botão especificamente para que a pessoa jogadora possa voltar à cena anterior mais facilmente. Denominado como Salão, este ambiente possibilita à pessoa jogadora escolher entre as subcategorias disponíveis a partir da categoria selecionada na cena anterior.

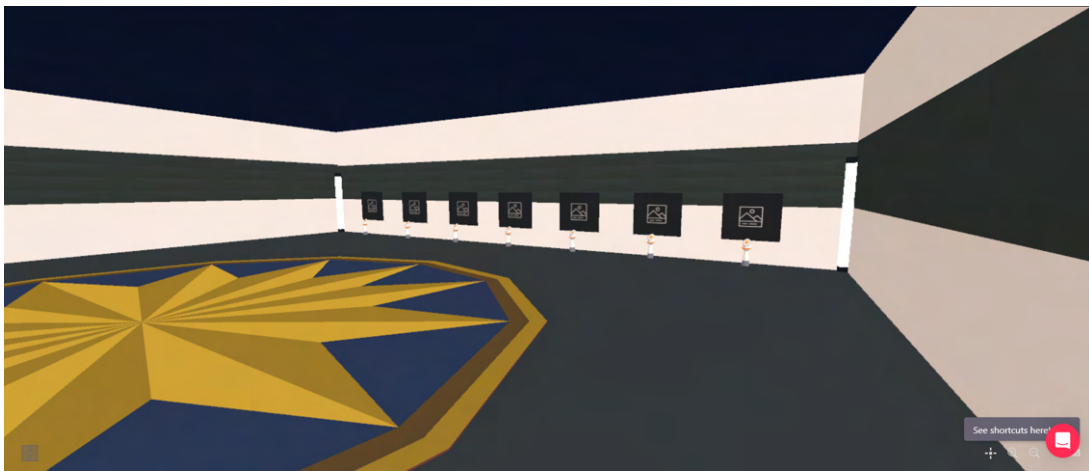


Figura 4.3: Segunda cena construída, denominada Salão, contém as subcategorias da opção escolhida pelo jogador.

A última cena, denominada Biblioteca (Figura 4.4), serve como o ponto central de interações do usuário. Este ambiente é composto por um edifício de 2 andares, cada andar contendo 10 corredores. Cada corredor é designado para reunir artefatos específicos, organizados de acordo com a letra correspondente do alfabeto. A construção da Biblioteca foi particularmente desafiadora devido à sua complexidade: a inclusão de uma grande quantidade de itens inteligentes tornou o processo de desenvolvimento especialmente tra-



balhoso, mesmo utilizando o Editor Desktop. Externamente, foram adicionados à cena dois botões que permitem à pessoa usuária voltar para o Salão ou para o Hall de Entrada.



Figura 4.4: Protótipo dos corredores da Biblioteca.

Nos corredores da Biblioteca, adicionamos um item inteligente (Figura 4.5) que não está disponível entre os pacotes temáticos do Builder, mas sim no repositório de exemplos que o Decentraland disponibiliza no GitHub<sup>4</sup> para consulta. A Estante de Leitura é um item fundamental nessa cena, pois é esse objeto que, quando clicado, permite à pessoa jogadora abrir uma interface 2D que contém informações sobre o artefato que se deseja ler. Foi necessário realizar pequenas modificações na Estante de Leitura em uma ferramenta *online* de edição de arquivos GLB, para remover detalhes menos relevantes para esse objeto na cena em questão.

Outro detalhe relevante adicionado à cena é um painel em frente a cada corredor. Esse painel é responsável por exibir a letra do alfabeto que inicia o nome dos artefatos daquele corredor, além de listar os nomes dos artefatos presentes no corredor. Ademais, como cada corredor foi projetado para exibir no máximo 11 artefatos por vez, adicionamos setas direcionais para a esquerda e direita no painel, que servem como forma de paginação dos artefatos. Quando a pessoa jogadora clicar na seta para a direita, os próximos 11 artefatos serão apresentados no corredor dinamicamente.

A paginação nesse contexto é particularmente importante devido ao fato de que uma mesma letra pode conter diversos artefatos cadastrados. Como o SDK nos possibilita escrever código TypeScript para personalizar o comportamento do ECS, foi possível implementar toda essa lógica diretamente no código-fonte da cena. Assim, pode-se verificar se

<sup>4</sup><https://github.com/decentraland>



Figura 4.5: Item inteligente utilizado para abrir um artefato.

uma entidade está adicionada à *engine* e, caso esteja, removê-la e adicionar uma entidade diferente. Dessa forma, é possível alterar os artefatos dos corredores programaticamente.

Finalizadas as três cenas, foi necessário reuni-las em um mesmo contexto para que a pessoa jogadora possa navegar entre os diferentes espaços. No Decentraland, cada cena é um projeto independente, executado em um contexto isolado com seus próprios arquivos de configuração e código-fonte. Contudo, a execução simultânea dessas cenas é possível graças ao Workspace disponibilizado pela plataforma. Disponível tanto no SDK 6 quanto no 7, o Workspace permite agrupar múltiplas cenas em um único projeto, proporcionando uma capacidade avançada na criação de experiências virtuais.

Após a inclusão das cenas no arquivo `dcl-workspace.json`, que define quais projetos irão compartilhar o mesmo contexto, foi necessário alterar as configurações de cada cena. Como todos os projetos de cenas são definidos por padrão para serem executados na coordenada (0, 0), é preciso estabelecer em qual ponto do mapa cada cena será executada para evitar sobreposição de conteúdo e *bugs*. No arquivo `scene.json` de cada projeto, estipulamos não apenas essa coordenada inicial, mas também o ponto exato dentro dos limites da cena onde o jogador deve “nascer” e para onde a câmera deve estar direcionada ao ser teletransportado para a cena.

#### 4.2.2 Projeto de navegação e apresentação do conteúdo selecionado

Um projeto local também serve como um pequeno ambiente multijogador, fora da rede Catalyst. Ao executar a cena com o CLI, o projeto abrirá o *client* do Decentraland no navegador, permitindo que a cena seja explorada localmente. Caso o jogador tenha uma

conta Decentraland vinculada a uma carteira digital Metamask<sup>5</sup> e a extensão Metamask esteja instalada no navegador, o perfil do jogador será carregado mesmo *off-chain*. No entanto, nos casos em que nenhuma carteira está disponível, o jogador entra na cena como convidado, com um avatar padrão. Se outra aba do navegador for aberta no mesmo endereço, outro convidado aparecerá na cena e assim sucessivamente, como demonstrado na Figura 4.6.



Figura 4.6: Ao abrir o endereço da cena, que está sendo executada, em duas abas diferentes do navegador, dois convidados aparecem na cena.

O SDK oferece uma série de funcionalidades avançadas para a construção de cenas no Decentraland. Ele permite controlar todas as respostas do ambiente de acordo com as interações da pessoa jogadora. Por padrão, as pessoas usuárias podem se ver e interagir diretamente, mas cada uma interage com o ambiente de forma independente, ou seja, as alterações no ambiente não são compartilhadas entre elas. Portanto, é possível implementar ações personalizadas nos itens inteligentes para possibilitar a navegação entre cenas e a exploração dos conteúdos.

#### 4.2.2.1 Navegação

No Workspace, onde múltiplas cenas são carregadas em um mesmo ambiente, podemos teletransportar um jogador, em resposta a um clique em um item inteligente (Figura 4.7), para qualquer ponto do mapa, inclusive para outras cenas (Figura 4.8). No entanto, o Decentraland não oferece a capacidade de compartilhar informações durante o teletransporte do jogador, uma vez que os módulos das cenas coexistem, mas não formam um projeto único. Isso também significa que não é possível controlar a navegação entre

---

<sup>5</sup><https://metamask.io/>

as cenas apenas pelo *frontend* — a parte da aplicação que interage diretamente com o usuário e é visível —, pois, ao navegar da cena x para a cena y, esta última não conseguiria compreender qual categoria foi escolhida anteriormente por determinado usuário. Portanto, a fim de ampliar as possibilidades de integração, propomos o controle dessas navegações a partir de um *backend* — a parte da aplicação que não é visível para o usuário e é responsável pelas regras de negócio —. Ao gerenciar as navegações externamente ao *frontend*, viabilizamos a composição de múltiplas cenas e exploramos novas possibilidades de personalização por meio de serviços externos.



Figura 4.7: Escolhendo categoria “Ensino Fundamental” na cena 2.

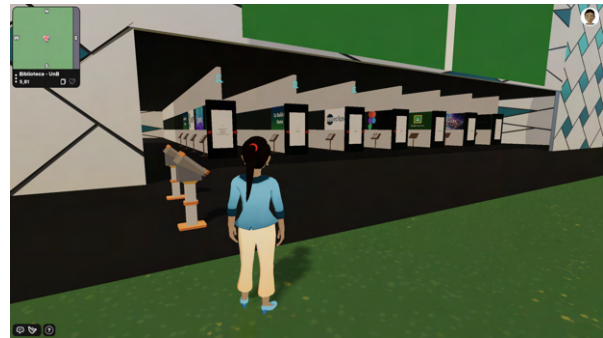


Figura 4.8: Explorando, na cena 3, a categoria selecionada.

A informação que identifica e diferencia uma pessoa jogadora da outra é o `userId` da sua sessão. Se há uma carteira digital vinculada, o `userId` é especificamente o endereço dessa carteira. Caso contrário, um identificador no formato Universally Unique Identifier (UUID) de 128 *bits* é gerado aleatoriamente [61]. Logo, para viabilizar a navegação entre as cenas, é necessário salvar o identificador da sessão e a categoria que o jogador escolheu. Assim, ao navegar, outra requisição irá recuperar a categoria escolhida a partir do identificador, possibilitando exibir o conteúdo apenas da categoria escolhida.

É importante destacar que o `userId` se mantém inalterado durante o teletransporte do usuário; porém, caso haja um recarregamento da página por qualquer motivo, seja falta de Internet ou por escolha do usuário, outro identificador de sessão será gerado, não permitindo recuperar as informações de navegação já salvas até que outra navegação seja refeita desde o início. A Figura 4.9 representa um diagrama de sequência do serviço de navegação, desde a interação do jogador com a interface até a persistência de sua escolha no *backend*.

O *backend* foi construído com as tecnologias Node.js (versão 18.12.0 LTS), Express.js<sup>6</sup> (versão 4.18.2) e Typescript (versão 5.3.3), comumente utilizadas para a criação de servidores web. O Express.js é um *framework* que oferece uma série de recursos para a

<sup>6</sup><https://expressjs.com/>

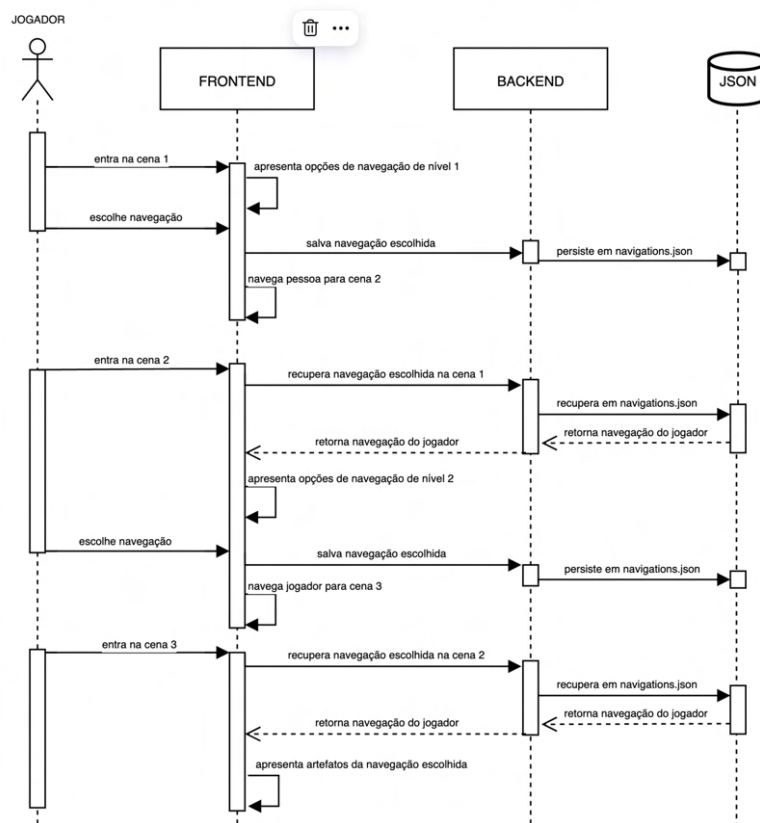


Figura 4.9: Diagrama de sequência do serviço de navegação.

construção de APIs que seguem o padrão de arquitetura *Representational State Transfer* (REST). Nesse contexto, foram criados inicialmente dois *endpoints* para o serviço de navegação, definidos e detalhados na tabela a seguir.

Método HTTP	<i>Endpoint</i>	<i>Body</i>	Atribuição
POST	/navigation/create	<pre>{   "userId": string,   "parentType": string,   "type": string }</pre>	Registrar uma navegação de determinado usuário.
GET	/navigation/:userId/read	-	Consultar navegação de determinado usuário.

Tabela 4.1: Especificação dos *endpoints* para navegação.

Os parâmetros que são enviados para o servidor para registrar uma nova navegação podem assumir diferentes valores de acordo com a cena para qual a pessoa usuária deseja navegar, como demonstrado na Tabela 4.2. Após a requisição a um dos *endpoints* acima, uma operação será realizada no arquivo `navigations.json` localizado no próprio servidor, responsável por armazenar as navegações criadas. Salvar as informações em um arquivo

no formato JavaScript Object Notation (JSON) permite uma validação mais rápida da proposta, uma vez que sua manipulação é simplificada.

Cena	<i>parentType</i>	<i>type</i>
Hall de Entrada	<i>default</i>	<i>default</i>
Salão	<i>default</i>	nivel_educacional
		disciplina
Biblioteca	nivel_educacional	ensino_fundamental
		ensino_medio
		ensino_tecnico
		ensino_superior
	disciplina	portugues
		matematica
		fisica
		biologia

Tabela 4.2: Possíveis valores que os parâmetros *parentType* e *type* podem assumir durante a navegação para uma das cenas.

#### 4.2.2.2 Conteúdo

O sistema de navegação implementado é fundamental, pois possibilita a disponibilização de conteúdo. Com a informação da navegação escolhida pela pessoa jogadora, podemos exibir apenas os artefatos da categoria selecionada. De forma similar aos *endpoints* de navegação, podemos viabilizar o cadastro, a leitura, a edição e a exclusão de artefatos diretamente a partir da API. Dessa forma, permitimos a manipulação do conteúdo sem a necessidade de interromper a execução do *frontend*. Para esse projeto, implementamos apenas a possibilidade de controlar os artefatos, o que não impede que novas funcionalidades sejam desenvolvidas futuramente, como a criação de novas categorias por API.

A apresentação do artefato no Lourdes Brasil segue o formato de uma página wiki convencional, geralmente composta por seções como descrição, cenário de uso, *site* oficial e referências. O Decentraland oferece a capacidade de criar interfaces completas e altamente customizáveis, permitindo adicionar imagens, textos e componentes clicáveis, estilizá-los e adicionar ações diversas. Portanto, para a versão do LMB no metaverso, propomos a criação de uma interface 2D semelhante a um livro digital (Figura 4.10), permitindo que a pessoa jogadora navegue entre as seções e visite o *site* oficial.

Para viabilizar a construção do livro digital, precisamos criar uma sintaxe padrão para o cadastro e a edição de artefatos. Esse padrão permite que o conteúdo seja tratado adequadamente no *frontend*, separando as seções por página. De forma similar ao HyperText Markup Language (HTML) em uma página *web*, onde *tags* são utilizadas para separar

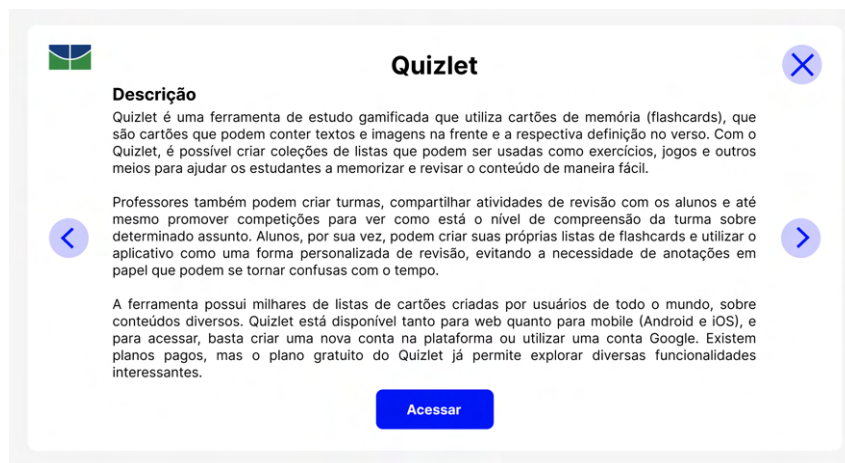


Figura 4.10: Protótipo do livro digital de um artefato no metaverso.

e identificar partes específicas do conteúdo, criamos marcadores para facilitar a manipulação de informações de um novo artefato. O marcador `section` delimita uma seção do livro digital. Todo o conteúdo inserido dentro de uma `section` será exibido em uma página do livro digital, ou seja, cada página do livro é uma `section`. O marcador `title` representa o título da seção, e cada seção pode ou não ter um título. Já o marcador `text` é utilizada para definir trechos de texto dentro da seção. Outro separador criado é o `br`, que serve como quebra de linha no conteúdo, especialmente entre os marcadores do tipo `text`.

Com isso, no *frontend* conseguimos extrair, por meio de expressões regulares, as informações do conteúdo de um artefato, de forma que possamos posicioná-las nos locais pré-definidos na interface. A título de exemplo, o conteúdo da primeira página do protótipo apresentado anteriormente pode ser definido da seguinte forma:

```
<section>
  <title>Descrição</title>
  <text>
    Quizlet é uma ferramenta de estudo gamificada que utiliza cartões
    de memória (flashcards), que são cartões que podem conter textos
    e imagens na frente e a respectiva definição no verso. Com o
    Quizlet, é possível criar coleções de listas que podem ser usadas
    como exercícios, jogos e outros meios para ajudar os estudantes
    a memorizar e revisar o conteúdo de maneira fácil.
  </text>
  <br>
  <br>
  <text>
```

Professores também podem criar turmas, compartilhar atividades de revisão com outros alunos e até mesmo promover competições para ver como está o nível de compreensão da turma sobre determinado assunto. Alunos, por sua vez, podem criar suas próprias listas de flashcards e utilizar o aplicativo como uma forma personalizada de revisão, evitando a necessidade de anotações em papel que podem se tornar confusas com o tempo.

</text>

<br>

<br>

<text>

A ferramenta possui milhares de listas de cartões criadas por usuários de todo o mundo, sobre conteúdos diversos. Quizlet está disponível tanto para web quanto para mobile (Android e IOS), e para acessar, basta criar uma nova conta na plataforma ou utilizar uma conta Google. Existem planos pagos, mas o plano gratuito do Quizlet já permite explorar diversas funcionalidades interessantes.

</text>

</section>

Em cada cena, disponibilizamos uma quantidade definida de itens inteligentes, que serão utilizados sob demanda, à medida que novos conteúdos são adicionados. No *backend*, a pasta `content` hospeda três arquivos no formato JSON, cada arquivo armazenando informações necessárias para cada uma das cenas do *frontend*. Os arquivos `content-level-1.json` e `content-level-2.json` contêm os textos que serão exibidos em cada botão da cena, o tipo de navegação e as imagens que são exibidas acima de cada botão. Esse conjunto de informações para as duas primeiras cenas não é alterável.

A pasta `content` contém ainda o arquivo `content-level-3.json`, responsável por armazenar os dados de cada artefato. Sua estrutura é significativamente maior, em que cada subcategoria possui um conjunto de 26 listas, uma para cada letra do alfabeto, que separa os artefatos por sua letra inicial. Essa organização também possibilita a paginação dos múltiplos artefatos nos corredores da terceira cena. A Figura 4.11 demonstra o processo de consulta de conteúdos nos arquivos JSON a partir das interações e da escolha da pessoa jogadora.

Estabelecido o modelo de construção de páginas de um artefato e o esquema de armazenamento, implementamos quatro novos *endpoints* na API que executam operações específicas no arquivo `content-level-3.json`, detalhados na Tabela 4.3. Para o cadastro



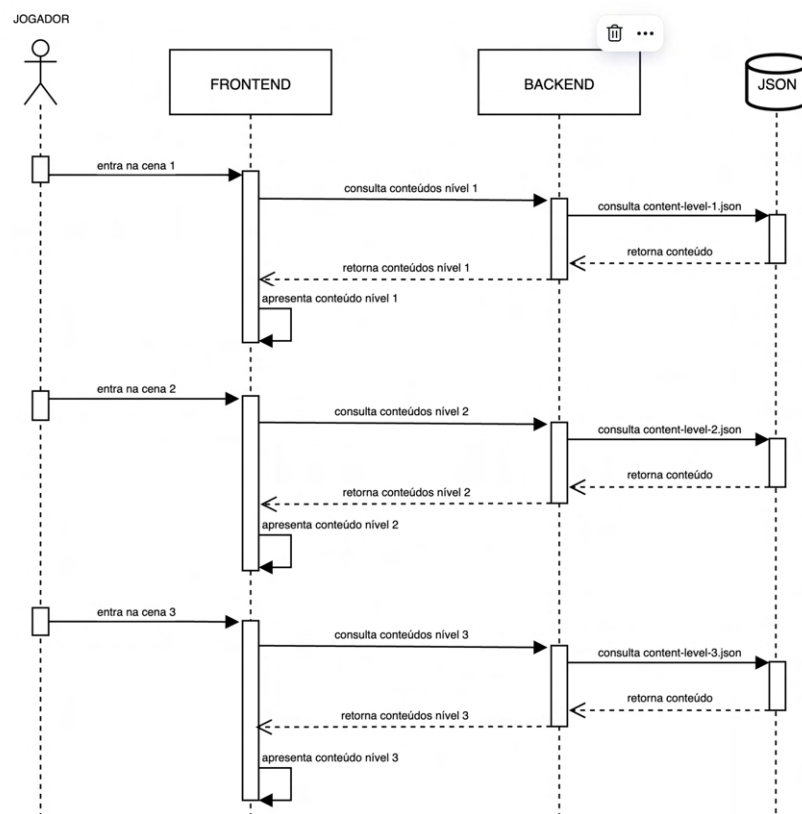


Figura 4.11: Diagrama de sequência do serviço de conteúdo.

de um novo recurso educacional, é necessário fornecer uma imagem (URL), que será adicionada à cena para identificação do artefato. Outra informação necessária nessa etapa é o *link* oficial ou a referência para o recurso, de forma que a pessoa visitante possa acessá-lo externamente.

Para validar as implementações realizadas, foram cadastrados um conjunto de artefatos catalogados nos quatro últimos semestres da disciplina IAE da UnB. Com isso, foi possível avaliar o funcionamento integrado das três cenas, o serviço de navegação, a disponibilização do conteúdo e as interações com os artefatos cadastrados (Figura 4.12 e Figura 4.13).

### 4.3 Análise comparativa

Observados os três elementos contemplados no escopo de desenvolvimento do repositório de artefatos educacionais no Decentraland, apresentados anteriormente, é evidente que nem todas as funcionalidades existentes no LMB foram implementadas na versão do repositório no metaverso.



Figura 4.12: Interação da pessoa jogadora com um dos artefatos da Biblioteca.

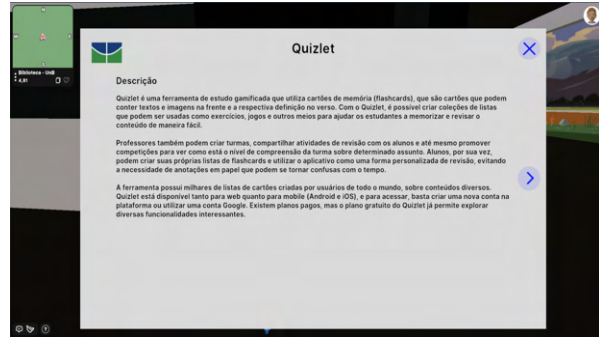


Figura 4.13: Interface 2D de um artefato na Biblioteca.

Como discutido anteriormente, o LMB provê semântica aos artefatos indexados. Ao utilizar o SMW, o Lourdes Brasil possibilita a exportação desses dados, que são particularmente úteis para a visualização da ontologia construída. A versão do repositório no metaverso desenvolvida neste trabalho não disponibiliza anotações semânticas das páginas criadas. O repositório virtual também não possui um sistema de autenticação próprio, diferente da versão na Web plana. Além disso, a versão virtual do repositório ainda não permite a inclusão de imagens ou vídeos nas páginas do livro digital de um artefato.

A ausência de tais recursos, no entanto, deve-se ao fato de não terem sido foco deste trabalho. A plataforma oferece amplo suporte para a construção e personalização dos pontos mencionados anteriormente: as informações dos artefatos podem ser enriquecidas (por meio de *input* da pessoa usuária), permitindo o desenvolvimento de uma ontologia externa; um sistema de *login* também pode ser desenvolvido utilizando a mesma estratégia adotada para a integração com o *backend* construído (comunicação HTTP); e os elementos visuais de um recurso educacional catalogado podem ser inseridos e exibidos tanto nas interfaces 2D quanto diretamente na cena como parte do ambiente.

Para além da Web 2D, o repositório no metaverso agrega em interatividade. A navegação pelos espaços 3D permite desenvolver experiências imersivas e dinâmicas para a disciplina. Essa perspectiva possibilita transformar tarefas individuais em trabalhos coletivos, onde dois ou mais alunos podem explorar e discutir em conjunto dentro de um ambiente virtual colaborativo, que possibilita tornar o processo de aprendizagem ainda mais enriquecedor. Ao ver um artefato indexado por ele mesmo e apresentado em um ambiente tridimensional aberto, o estudante pode se sentir mais pertencido e motivado à continuar contribuindo para construção de um conhecimento compartilhado.

A comunicação por *chat* e áudio disponível por padrão no Decentraland também fornece uma alternativa válida para a integração discente-docente no cotidiano das atividades acadêmicas.

O uso de tecnologias mais modernas para a construção do repositório no ambiente

Método HTTP	<i>Endpoint</i>	<i>Body</i>	Atribuição
POST	/content/create	{ "parentType": string, "type": string, "title": string, "content": string, "image": string, "link": string }	Cadastrar um novo artefato.
GET	/content/read	-	Recuperar artefatos cadastrados.
PATCH	/content/update	{ "parentType": string, "type": string, "title": string, "content": string, "image": string, "link": string }	Atualizar informações de um artefato.
DELETE	/content/delete	{ "parentType": string, "type": string, "title": string }	Excluir um artefato cadastrado.

Tabela 4.3: Especificação dos *endpoints* para manipulação dos artefatos.

virtual do Decentraland também viabiliza a aplicação de estratégias de integração contínua (CI) e entrega contínua (CD). Dessa forma, o desenvolvimento de novas cenas ou a implementação de outras funcionalidades pode ocorrer sem interferir na disponibilidade do serviço já implantado.

Outro ganho significativo da proposta no metaverso é a fácil interoperabilidade entre serviços. Ao disponibilizar a comunicação com aplicações externas, torna-se possível a integração com soluções desenvolvidas no projeto SmartUnB.ECOS ou ainda com sistemas já presentes no cotidiano dos alunos como AprenderUnB e o SIGAA. Assim, informações externas podem ser recuperadas e exibidas no mundo virtual construído.

# Capítulo 5

## Conclusão

No atual contexto educacional, o uso de tecnologias modernas para apoio à aprendizagem ainda se mostra tímido. Em muitos casos, a integração de tecnologias modernas é praticamente inexistente, especialmente no ensino superior, onde sistemas (ainda na Web plana) com interações limitadas predominam tanto nas relações entre discentes quanto entre estudantes e professores.

Em contraste aos ambientes educacionais na Web tradicional, o metaverso surge como uma alternativa promissora, que oferece novas perspectivas para aprendizagem, tanto formal como informal, por meio de experiências imersivas. Dessa forma, pode expandir a maneira como o conhecimento é construído e compartilhado dentro e fora da sala de aula. A construção de espaços tridimensionais em um ambiente de metaverso não apenas viabiliza uma aprendizagem exploratória, como também incentiva a interação e a colaboração entre alunos.

Aos docentes, essa abordagem oferece novas possibilidades para enriquecer os processos de ensino, permitindo a criação de ambientes de aprendizagem mais envolventes e adaptáveis ao contexto dos estudantes.

### 5.1 Objetivos alcançados

Em vista do surgimento de plataformas de metaverso, este trabalho teve como objetivo construir um repositório de recursos educacionais no metaverso para a disciplina IAE da UnB, como alternativa ao projeto já consolidado Lourdes Brasil, e que serve como um projeto piloto para a expansão de ambientes virtuais no contexto acadêmico.

Abordamos as características e limitações dos atuais RREAs e os formatos tradicionais de armazenamento de artefatos educacionais. Investigamos como tecnologias imersivas podem ser aplicadas no contexto educacional e em museus virtuais, especialmente em resposta ao cenário pandêmico de 2019, que impulsionou a adoção de tecnologias emergentes

e a evolução das estratégias das instituições históricas frente à evolução tecnológica. Em seguida, exploramos de forma abrangente as possibilidades, os recursos oferecidos e os limites da plataforma Decentraland.

Com isso, desenvolvemos o protótipo de um ambiente 3D imersivo e dinâmico que permite a exploração de artefatos educacionais catalogados pelos próprios estudantes da UnB. Implementamos cenas interativas dentro da plataforma Decentraland, integrando o *frontend* do repositório com um *backend* que gerencia o conteúdo e a navegação, proporcionando uma experiência imersiva e personalizada aos usuários. Por fim, avaliamos comparativamente a versão do repositório no metaverso em relação à versão tradicional na Web 2D, identificando as vantagens e oportunidades de melhoria.

## 5.2 Trabalhos futuros

Em sintonia com o SmartUnB.ECOS, vislumbramos incentivar, com este trabalho, o uso do Decentraland para a criação da interface do projeto. Como mencionado anteriormente, muito há para ser explorado, oferecendo insumos para que trabalhos futuros expandam as descobertas já realizadas e contribuam para o ecossistema da instituição. Já em andamento, projeto local realizado pelos colegas do curso de Computação Octávio Augusto C. Silva e Lorenzo Martins Lazzarin, orientados pela Prof.a Dr.a Germana Menezes da Nóbrega contempla o desenvolvimento de gêmeos digitais de prédios da UnB no Decentraland. Além disso, entre as ações possíveis de serem exploradas futuramente, destacamos:

- Nó Catalyst: criação de um servidor Catalyst que possa hospedar NFTs educacionais e vestuários personalizados para o contexto da UnB;
- Autenticação: sistema de *login* para gestão de informações do jogador. Ou em uma perspectiva mais ampla, uma integração com as plataformas já utilizadas em âmbito acadêmico para acesso de informações no metaverso de forma transparente;
- Mochila: em complemento ao item anterior, a criação de uma mochila para armazenar itens pertencentes à pessoa jogadora (*badges*, vestuários, tarefas, etc.), conforme discutido em [31], pode ser atendida através da criação de interfaces que seriam populadas com informações externas;
- Agente pedagógico apoiado por IA: conforme abordado na Seção 3.3, um NPC impulsionado por inteligência artificial poderia ser criado para acompanhar a pessoa jogadora em sua exploração ao mundo virtual.

Dessa forma, este trabalho contribui para a exploração e adoção de tecnologias inovadoras no campo educacional, incentivando a continuidade e expansão de pesquisas e projetos futuros.

# Referências

- [1] Turnbull, Darren, Ritesh Chugh e Jo Luck: *Transitioning to e-learning during the covid-19 pandemic: How have higher education institutions responded to the challenge?* Education and Information Technologies, 26(5):6401–6419, September 2021, ISSN 1573-7608. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10633-w>. 1
- [2] Nóbrega, Germana, Gabriel Silva e Thiago Silva: *Um projeto estruturante para orientações de tcc em cursos de computação: que oportunidades para ihc?* Em *Anais do XIII Workshop sobre Educação em IHC*, páginas 19–24, Porto Alegre, RS, Brasil, 2022. SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/weihc/article/view/22854>. 1, 2
- [3] Braga, Juliana (editor): *Objetos de Aprendizagem Volume 1 – Introdução e Fundamentos*. Editora UFABC, 2014. 5
- [4] RISK, USEATYOW: *Draft standard for learning object metadata*. IEEE standard, 1484(1), 2002. 5
- [5] Weibel, Stuart, John Kunze, Carl Lagoze e Misha Wolf: *Dublin core metadata for resource discovery*. Relatório Técnico, 1998. 5
- [6] Amiel, Tel, Michael Orey e Richard West: *Recursos educacionais abertos (rea): modelos para localização e adaptação*. ETD-Educação Temática Digital, 12:112–125, 2011. 6
- [7] Medeiros, Rodrigo, Marcos Doarte, José Viterbo, Cristiano Maciel e Clodis Boscarioli: *Uma análise comparativa entre repositórios de recursos educacionais abertos para a educação básica*. Em *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 213–224. SBC, 2021. 6
- [8] Ferreira, Kristina Desirée Azevedo, Camila Pacheco, Julio Corcino Rodrigues Mota Junior, Marina Lupepo, Nathália Savione Machado e Núria Pons Vilardell Camas: *Recursos educacionais abertos: uma revisão da literatura*. Brazilian Journal Of Development, 7(5):50299–50315, 2021. 7
- [9] Amiel, Tel, Priscila Gonsales e Debora Sebriam: *Recursos educacionais abertos no brasil: 10 anos de ativismo*. Em *EmRede - Revista de Educação a Distância*, 5(2):246–258, jul. 2018. <https://www.aunirede.org.br/revista/index.php/emrede/article/view/346>. 7

- [10] Mystakidis, Stylianos: *Metaverse*. Encyclopedia, 2(1):486–497, 2022, ISSN 2673-8392. <https://www.mdpi.com/2673-8392/2/1/31>. 7, 13
- [11] Panagiotidis, Panagiotis: *Virtual reality applications and language learning*. International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education, 12(2):4447–4455, 2021. 8
- [12] Athar, Ali, Shah Mahsoom Ali, Md Ariful Islam Mozumder, Sikandar Ali e Hee Cheol Kim: *Applications and possible challenges of healthcare metaverse*. Em *2023 25th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, páginas 328–332. IEEE, 2023. 8
- [13] Siddiqui, Muhammad Shoaib, Toqeer Ali Syed, Adnan Nadeem, Waqas Nawaz e Ahmad Alkhodre: *Virtual tourism and digital heritage: an analysis of vr/ar technologies and applications*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(7), 2022. 8
- [14] Hammady, Ramy, Minhua Ma e Carl Strathearn: *Ambient information visualisation and visitors' technology acceptance of mixed reality in museums*. Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), 13(2):1–22, 2020. 8
- [15] Barbieri, Loris, Fabio Bruno e Maurizio Muzzupappa: *Virtual museum system evaluation through user studies*. Journal of Cultural Heritage, 26:101–108, 2017. 8
- [16] Lima, Diana Farjalla Correia: *O que se pode designar como museu virtual segundo os museus que assim se apresentam*. 2013. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:186998541>. 8
- [17] Styliani, Sylaiou, Liarokapis Fotis, Kotsakis Kostas e Patias Petros: *Virtual museums, a survey and some issues for consideration*. Journal of Cultural Heritage, 10(4):520–528, 2009, ISSN 1296-2074. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207409000880>. 8
- [18] Sylaiou, Stella, Katerina Mania, Athanasios Karoulis e Martin White: *Exploring the relationship between presence and enjoyment in a virtual museum*. International journal of human-computer studies, 68(5):243–253, 2010. 9
- [19] European Museum Organisations, Network of: *Nemo report on the impact of covid-19 on museums in europe*, 2020. [https://www.ne-mo.org/fileadmin/Dateien/public/NEMO\\_documents/NEMO\\_COVID19\\_Report\\_12.05.2020.pdf](https://www.ne-mo.org/fileadmin/Dateien/public/NEMO_documents/NEMO_COVID19_Report_12.05.2020.pdf), Accessed: 2024-06-11. 9
- [20] UNESCO: *Museums around the world in the face of covid-19*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373530>, acesso em 22.06.2024. 9
- [21] Irizarry, Miranda: *Technological reshaping of traditional museum roles: Digitization and the emergence of virtual museums in the age of covid-19*. Beyond Boundaries, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12588/750>. 9



- [22] Loaiza Carvajal, Daniel Alejandro, María Mercedes Morita e Gabriel Mario Bilmes: *Virtual museums. captured reality and 3d modeling*. Journal of Cultural Heritage, 45:234–239, 2020, ISSN 1296-2074. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207420303551>. 9
- [23] Bevilacqua, Marco Giorgio, Michele Russo, Andrea Giordano e Roberta Spallone: *3d reconstruction, digital twinning, and virtual reality: Architectural heritage applications*. Em *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, páginas 92–96, 2022. 9
- [24] Spallone, R., F. Lamberti, M. Guglielminotti Trivel, F. Ronco e S. Tamantini: *3d reconstruction and presentation of cultural heritage: Ar and vr experiences at the museo d’arte orientale di torino*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVI-M-1-2021:697–704, 2021. <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVI-M-1-2021/697/2021/>. 9
- [25] Da Nóbrega, Germana M., Gutemberg G. de Araújo e Fernando W. Cruz: *Towards collaborative ontology construction for learning computer science in education*. Em *2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, páginas 305–307, 2021. 11
- [26] Fernanda Lima, Germana Nóbrega e: *Aprendizagem da informática na educação por questionamento e modelagem a partir da web*. Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 8(1):843, 2019, ISSN 2316-8889. <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/wcbie/article/view/9034>. 11
- [27] Wang, Yuntao, Zhou Su, Ning Zhang, Rui Xing, Dongxiao Liu, Tom H. Luan e Xuemin Shen: *A survey on metaverse: Fundamentals, security, and privacy*. IEEE Communications Surveys amp; Tutorials, 25(1):319–352, 2023, ISSN 2373-745X. <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2022.3202047>. 13, 14, 15
- [28] Lee, Lik Hang, Tristan Braud, Pengyuan Zhou, Lin Wang, Dianlei Xu, Zijun Lin, Abhishek Kumar, Carlos Bermejo e Pan Hui: *All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda*, 2021. <https://arxiv.org/abs/2110.05352>. 13
- [29] Wang, Hang, Huansheng Ning, Yujia Lin, Wenxi Wang, Sahraoui Dhelim, Fadi Farha, Jianguo Ding e Mahmoud Daneshmand: *A survey on the metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges*. IEEE Internet of Things Journal, 10(16):14671–14688, 2023. 13
- [30] Rahman, Khandaker Raiyan, Sholaiman Khan Shitol, Md Sohidul Islam, Kh. Tanveer Iftexhar e Pranto Saha: *Use of metaverse technology in education domain*. Journal of Metaverse, 3(1):79–86, 2023. 13
- [31] Azevedo Juvito, Lucas de e Rodrigo Teixeira Soares: *A metaversidade chega ao campus: possibilidades e desafios do metaverso para educação superior*. Monografia (Graduação em Computação - Licenciatura). Universidade de Brasília (UnB), 2023. 13, 23, 33, 47

- [32] López-Belmonte, Jesús, Santiago Sánchez, Antonio Moreno Guerrero e Georgios Lampropoulos: *Metaverse in education: a systematic review*. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 23:1–25, janeiro 2023. 13
- [33] Dionisio, John David N., William G. Burns III e Richard Gilbert: *3d virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities*. *ACM Comput. Surv.*, 45(3), jul 2013, ISSN 0360-0300. <https://doi.org/10.1145/2480741.2480751>. 13
- [34] Kemp, Jeremy e Daniel Livingstone: *Putting a Second Life "Metaverse" Skin on Learning Management Systems*. Em Kemp, Jeremy e Daniel Livingstone (editores): *Proceedings of the Second Life Education Workshop at SLCC*, páginas 13–18, San Francisco, 2006. 14
- [35] Collins, Chris: *Looking to the future: Higher education in the metaverse*. *Educause Review*, 43(5):50–52, 2008. 14
- [36] Dominguez-Noriega, Santiago, J Enrique Agudo, Paula Ferreira e Mercedes Rico: *Language learning resources and developments in the second life metaverse*. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 3(5):496–509, 2011. 14
- [37] Tlili, Ahmed, Ronghuai Huang, Boulus Shehata, Dejian Liu, Jialu Zhao, Ahmed Hosny Saleh Metwally, Huanhuan Wang, Mouna Denden, Aras Bozkurt, Lik Hang Lee, Dogus Beyoglu, Fahriye Altinay, Ramesh C. Sharma, Zehra Altinay, Zhisheng Li, Jiahao Liu, Faizan Ahmad, Ying Hu, Soheil Salha, Mourad Abed e Daniel Burgos: *Is metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis*. *Smart Learning Environments*, 9(1):24, 2022, ISSN 2196-7091. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00205-x>. 15
- [38] Zhang, X., Y. Chen, L. Hu e Y. Wang: *The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics*. *Frontiers in Psychology*, 13:1016300, 2022. 15
- [39] Díaz, Jairo Eduardo Márquez, Camilo Andrés Domínguez Saldaña e Camilo Alberto Rodríguez Ávila: *Virtual world as a resource for hybrid education*. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(15):pp. 94–109, Aug. 2020. <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/13025>. 15
- [40] Suh, Woong e Seongjin Ahn: *Utilizing the metaverse for learner-centered constructivist education in the post-pandemic era: An analysis of elementary school students*. *Journal of Intelligence*, 10(1), 2022, ISSN 2079-3200. <https://www.mdpi.com/2079-3200/10/1/17>. 15
- [41] Han, Jining, Geping Liu e Yuxin Gao: *Learners in the metaverse: A systematic review on the use of roblox in learning*. *Education Sciences*, 13(3), 2023, ISSN 2227-7102. <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/3/296>. 15
- [42] Hwang, Gwo Jen e Shu Yun Chien: *Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: An artificial intelligence perspective*. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3:100082, 2022, ISSN 2666-920X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X22000376>. 15

- [43] Lin, Hong, Shicheng Wan, Wensheng Gan, Jiahui Chen e Han Chieh Chao: *Metaverse in education: Vision, opportunities, and challenges*. Em *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, páginas 2857–2866. IEEE, 2022. 15
- [44] Sutikno, Tole e Asa Ismia Bunga Aisyahrani: *Non-fungible tokens, decentralized autonomous organizations, Web 3.0, and the metaverse in education: From university to metaversity*. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 17(1):1–15, 2023. 15
- [45] Wang, Minjuan, Haiyang Yu, Zerla Bell e Xiaoyan Chu: *Constructing an education metaverse ecosystem: A new and innovative framework*. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(6):685–696, 2022. 15
- [46] Benjamins, Richard, Yaiza Rubio Viñuela e Chema Alonso: *Social and ethical challenges of the metaverse*. *AI and Ethics*, 3(3):689–697, 2023, ISSN 2730-5961. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00278-5>. 15
- [47] Dudley, John, Lulu Yin, Vanja Garaj e Per Ola Kristensson: *Inclusive immersion: a review of efforts to improve accessibility in virtual reality, augmented reality and the metaverse*. *Virtual Reality*, 27(4):2989–3020, 2023, ISSN 1434-9957. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00850-8>. 15
- [48] Abendschein, Robin, Shital Desai e Arlene J. Astell: *Towards accessibility guidelines for the metaverse : A synthesis of recommendations for people living with dementia*. Em *Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'23) : Workshop "Towards an Inclusive and Accessible Metaverse"*, 2023. <https://sites.google.com/view/accessiblemetaverse>. 15
- [49] Capatina, Alexandru, Nina Jane Patel, Kiril Mitrov, Dragos Sebastian Cristea, Adrian Micu e Angela Eliza Micu: *Elevating students' lives through immersive learning experiences in a safe metaverse*. *International Journal of Information Management*, 75:102723, 2024. 15
- [50] Karami, Ahmad Fahmi, Hani Nurhayati e Yunifa Miftachul Arif: *Design and evaluation of maliki v-lab: A metaverse-based virtual laboratory for computer assembly learning in higher education*. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(6), 2024. 15
- [51] López-Belmonte, Jesús, Santiago Pozo-Sánchez, Antonio José Moreno-Guerrero e Georgios Lampropoulos: *Metaverse in education: a systematic review*. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 23(73), 2023. 15
- [52] Machado, Luís Antônio Licks Missel, Teresinha Letícia da Silva, Liane Margarida Rockenbach Tarouco e Fabrício Herpich: *Metaverso para educação em desenvolvimento sustentável*. Em *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 536–547. SBC, 2023. 15
- [53] Damasceno, Adson, Pamela Soares, Ismayle Santos, Jerffeson Souza e Francisco Oliveira: *Assistive technology for distance education in metaverse-based environment: A rapid review*. *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, páginas 693–706, 2023. 15

- [54] Vieira, Erberson Evangelista e Francisco Petrônio Alencar de Medeiros: *Estado da arte sobre a educação em ambientes imersivos do metaverso*. Revista Brasileira de Informática na Educação, 31:1248–1269, 2023. 15
- [55] Classe, Tadeu Moreira de, Ronney Moreira de Castro, Eduardo Gomes de Oliveira e Edmar Welington Oliveira: *Uso de metaverso em avaliações formativas híbridas*. Em *Anais do XXXI Workshop sobre Educação em Computação*, páginas 384–395. SBC, 2023. 15
- [56] Araujo, Fernanda CS, Adriana Vivacqua e Juliana BS França: *Desenvolvendo competências computacionais no ensino fundamental: Integração do pensamento computacional e do metaverso no ambiente educacional*. Em *Anais Estendidos do XIX Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, páginas 1–6. SBC, 2024. 15
- [57] Classe, Tadeu Moreira de e Ronney Moreira de Castro: *Metaverso: Ambiente de colaboração e aprendizado em aula híbrida*. Em *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, páginas 16–29. SBC, 2023. 15
- [58] Lemos, Lúcia: *Nova era da arte do ensino de saúde, da medicina e de suas práticas: aplicações do metaverso*. Em *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, páginas 613–622. SBC, 2022. 15
- [59] Luo, Junliang, Simone Casale-Brunet, Barbara Guidi, Marco Mattavelli e Xue Liu: *Unveiling social aggregation in the decentraland metaverse platform*. Em *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, páginas 419–427, 2023. 16, 18, 26
- [60] Guidi, Barbara e Andrea Michienzi: *Social games and blockchain: exploring the metaverse of decentraland*. Em *2022 IEEE 42nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW)*, páginas 199–204, 2022. 16, 18, 28
- [61] Decentraland: *Decentraland documentation*, 2024. <https://docs.decentraland.org/>, Accessed: 2024-05-31. 16, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 38
- [62] Ordano, Esteban, Ariel Meilich, Yemel Jardí e Manuel Araoz: *Decentraland: A blockchain-based virtual world*. Decentraland, White Paper, 2017. 16, 17
- [63] Times, The Irish: *Making a killing in virtual real estate*. <https://www.irishtimes.com/business/personal-finance/making-a-killing-in-virtual-real-estate-1.3528861>, acesso em 14.04.2024. 17
- [64] Güven, İlkim e Tuğçe Ercan: *Determining factors of virtual land value: The case of decentraland*. International Technology and Design Symposium, 2022. 17, 18
- [65] Decentraland: *Decentraland announces public launch*, 2020. <https://decentraland.org/blog/announcements/decentraland-announces-public-launch>, Accessed: 2024-07-12. 17
- [66] Trujillo, Amaury e Clara Bacciu: *Toward blockchain-based fashion wearables in the metaverse: the case of decentraland*. páginas 653–657, 2023. 18, 23

- [67] Dolce Gabbana: *Dolce gabbana enters the metaverse*, 2021. <https://world.dolcegabbana.com/news/dolcegabbana-enters-the-metaverse>, Accessed: 2024-04-11. 18
- [68] Vogue Business: *Tommy hilfiger to launch first-of-its-kind multi-metaverse hub*, 2023. <https://www.voguebusiness.com/technology/tommy-hilfiger-to-launch-first-of-its-kind-multi-metaverse-hub>, Accessed: 2024-04-13. 18
- [69] Forbes Brasil: *Metaverse fashion week confirma 20 marcas e prevê edição histórica*, 2023. <https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/02/metaverse-fashion-week-confirma-20-marcas-e-preve-edicao-historica/>, Accessed: 2024-07-12. 18
- [70] Yench, Christopher: *Spatial heterogeneity and non-fungible token sales: Evidence from decentraland land sales*. Finance Research Letters, 58:103628, 2023, ISSN 1544-6123. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612323000028>. 18
- [71] Goldberg, Mitchell, Peter Kugler e Fabian Schär: *Land valuation in the metaverse: Location matters*. Available at SSRN 3932189, 2021. 18
- [72] Warpefelt, H. e H. Verhagen: *A model of non-player character believability*. Journal of Gaming & Virtual Worlds, 9(1):39–53, 2017. 22
- [73] Wang, Shuai, Wenwen Ding, Juanjuan Li, Yong Yuan, Liwei Ouyang e Fei Yue Wang: *Decentralized autonomous organizations: Concept, model, and applications*. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 6(5):870–878, 2019. 28
- [74] Zou, Weiqin, David Lo, Pavneet Singh Kochhar, Xuan Bach Dinh Le, Xin Xia, Yang Feng, Zhenyu Chen e Baowen Xu: *Smart contract development: Challenges and opportunities*. IEEE transactions on software engineering, 47(10):2084–2106, 2019. 29
- [75] Bleize, Daniëlle NM e Marjolijn L Antheunis: *Factors influencing purchase intent in virtual worlds: a review of the literature*. Journal of Marketing Communications, 25(4):403–420, 2019. 29