

REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

VISITA VIRTUAL AO REATOR NUCLEAR DE PESQUISA IEA-R1

VIRTUAL VISIT TO THE IEA-R1 NUCLEAR RESEARCH REACTOR

VISITA VIRTUAL AL REACTOR NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN IEA-R1

Leandro Gusmão de Mello e Silva[1], Arthur Pires Julião[2], Patricia Andrea Paladino[3], Gaianê Sabundjian[4]

e61298
https://doi.org/10.63026/acertte.v6i1.298

PUBLICADO: 03/2026

RESUMO

Com o aumento da demanda de energia, há uma expectativa do crescimento de reatores nucleares no mundo. Embora o Brasil tenha dois reatores de potência e quatro reatores de pesquisa, as visitas a essas instalações são praticamente inviáveis, por questões de segurança e distância. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta de navegação amigável e educacional, por meio de realidade virtual. Utilizando um par de óculos do tipo Google Cardboard e um *smartphone*, buscou-se permitir a imersão do usuário nas instalações do reator de pesquisas IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo. Com isso, este trabalho visa contribuir para a divulgação das aplicações benéficas da tecnologia nuclear em escolas e na sociedade. Para atingir os objetivos propostos, foram utilizadas técnicas de documentação do mercado de desenvolvimento de jogos virtuais, bem como diversas ferramentas de uso gratuito para modelagem 3D, texturização, iluminação, programação, Inteligência Artificial (IA), animação e tratamento de áudio. Como resultado, foi obtido um aplicativo amigável que permite realizar uma visita virtual ao IEA-R1.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Nuclear de Pesquisa. Realidade Virtual. Desenvolvimento de Jogos. Visita Virtual. Unity 3D. Game Design.

ABSTRACT

With the increase in energy demand, there is an expectation of growth in the number of nuclear reactors worldwide. Although Brazil has two power reactors and four research reactors, visits to these facilities are practically unfeasible due to security and distance constraints. The objective of this work was to develop a user-friendly and educational navigation tool through virtual reality. Using a pair of Google Cardboard–type goggles and a smartphone, the aim was to enable user immersion in the facilities of the IEA-R1 research reactor at the Nuclear and Energy Research Institute (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN), in São Paulo. Thus, this work seeks to contribute to the dissemination of the beneficial applications of nuclear technology in schools and in society. To achieve the proposed objectives, documentation techniques from the virtual game development market were employed, as well as several free-use tools for 3D modeling, texturing, lighting, programming, Artificial Intelligence

[1] Tecnólogo em Mecânica de Precisão - Mecatrônica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Mestre em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN-USP).
[2] Bacharel em Matemática Pura pelo Instituto de Matemática e Estatística da USP (IME-USP). Bacharel em Física para Pesquisa pelo Instituto de Física da USP (IF-USP). Mestre em Matemática Pura pelo Instituto de Matemática e Estatística da USP (IMEUSP). Professor Pleno III da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP).
[3] Arquiteta e Urbanista (FAU-USP). Tecnóloga em Construção Civil (FATEC-SP). Licenciada em Matemática (IME-USP). Arte-educadora - Belas Artes. Mestrado, Doutorado e Pós doutorado em Ciências pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN - USP). Professora Pleno III da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATECSP). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Campus São Paulo) - DCM Matemática.
[4] Bacharel e Licenciada em Física pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Mestre em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-USP) e Doutora em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica de São Paulo (POLI-USP). Tecnologista Senior do IPEN/CNEN.

©2026. Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

(AI), animation, and audio processing. As a result, a user-friendly application was developed that allows users to take a virtual tour of the IEA-R1.

KEYWORDS: *Nuclear Research Reactor. Virtual reality. Game Development. Virtual Visit. Unity 3D. Game Design.*

RESUMEN
Con el aumento de la demanda de energía, existe una expectativa de crecimiento de los reactores nucleares en el mundo. Aunque Brasil cuenta con dos reactores de potencia y cuatro reactores de investigación, las visitas a estas instalaciones son prácticamente inviables, debido a cuestiones de seguridad y distancia. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una herramienta de navegación amigable y educativa, mediante realidad virtual. Utilizando un par de gafas tipo Google Cardboard y un smartphone, se buscó permitir la inmersión del usuario en las instalaciones del reactor de investigación IEA-R1 del Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), en São Paulo. De este modo, este trabajo tiene como finalidad contribuir a la difusión de las aplicaciones beneficiosas de la tecnología nuclear en las escuelas y en la sociedad. Para alcanzar los objetivos propuestos, se utilizaron técnicas de documentación del mercado de desarrollo de juegos virtuales, así como diversas herramientas de uso gratuito para modelado 3D, texturización, iluminación, programación, Inteligencia Artificial (IA), animación y tratamiento de audio. Como resultado, se obtuvo una aplicación amigable que permite realizar una visita virtual al IEA-R1.

PALABRAS-CLAVE*: Reactor Nuclear de Investigación. Realidad Virtual. Desarrollo de Juegos. Visita Virtual. Unity 3D. Diseño de Juegos.*

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda global por energia, intensificado pelas metas de descarbonização e pela busca por segurança energética, observa-se uma expectativa de crescimento do número de reatores nucleares no mundo. Nesse contexto, o Brasil insere-se como um país com potencial estratégico para expansão do setor, em razão de sua experiência operacional, domínio do ciclo do combustível e reservas de urânio (BIATY et al., 2025).

As instituições de Ciência e Tecnologia vêm desenvolvendo um papel importante para a expansão do setor nuclear no Brasil. Uma delas é o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) em São Paulo, que faz parte da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Uma das atividades exercidas pelo IPEN é gerar produtos e serviços, como fornecimento de radiofármacos, ensaios e análises de materiais e formação de recursos humanos, por meio de sua pós-graduação (IPEN, 2025)

Embora o IPEN desenvolva atividades científicas e tecnológicas de elevada relevância, a divulgação ainda é limitada, principalmente porque o acesso da população às suas instalações permanece restrito. Tal cenário foi intensificado durante a pandemia da COVID-19, período em que as visitas técnicas presenciais foram suspensas em razão das medidas de distanciamento social. Considerando também que estudantes do ensino fundamental e médio possuem acesso reduzido às instalações (IPEN, 2026), especialmente ao reator de pesquisas IEA-R1, identificou-se a necessidade de desenvolver um aplicativo em Realidade Virtual (RV) capaz de proporcionar ao usuário uma

experiência imersiva, com o objetivo de dar ao visitante a máxima sensação de presença neste tipo de instalação.

A utilização de ambientes virtuais imersivos pode representar uma ferramenta complementar na formação de estudantes, favorecendo a compreensão dos princípios físicos, operacionais e de segurança envolvidos na tecnologia nuclear. Ferramentas dessa natureza já são amplamente empregadas em simuladores nas áreas de aviação, navegação, automobilismo, defesa e medicina, evidenciando sua maturidade tecnológica e aplicabilidade em contextos educacionais e de treinamento.

O objetivo geral deste artigo é, portanto, apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta educacional em realidade virtual imersiva que permita a realização de uma visita virtual interativa ao reator nuclear de pesquisa IEA-R1, utilizando tecnologias e metodologias aplicadas ao desenvolvimento de jogos digitais. Como objetivos específicos, buscou-se modelar digitalmente as instalações do reator, implementar um ambiente virtual interativo utilizando a plataforma *Unity 3D*, e integrar a aplicação a dispositivos de baixo custo, como *Google Cardboard* e *smartphones*, de modo a ampliar sua acessibilidade.

A justificativa deste estudo fundamenta-se na limitada possibilidade de visitas presenciais, em razão de restrições de segurança e protocolos institucionais, fatores que dificultam a aproximação da sociedade e do ambiente escolar com as aplicações pacíficas da tecnologia nuclear. Nesse contexto, a realidade virtual apresenta-se como uma alternativa inovadora, acessível e pedagogicamente relevante para ampliar a disseminação do conhecimento científico e tecnológico (PALADINO et al., 2022).

Este trabalho também se propõe a contribuir para a desmistificação de preconceitos historicamente associados à energia nuclear, ao proporcionar uma experiência informativa e transparente sobre as atividades desenvolvidas no reator IEA-R1, utilizado para testes de materiais, experimentos científicos, levantamento de dados nucleares e produção de radioisótopos.

Dessa forma, o problema de pesquisa que orienta este estudo pode ser sintetizado na seguinte questão: como desenvolver uma ferramenta em realidade virtual, tecnicamente viável e educacionalmente eficaz, que possibilite a simulação imersiva das instalações do reator de pesquisa IEA-R1 e contribua para a divulgação das aplicações benéficas da tecnologia nuclear na sociedade?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Referencial Teórico partiu de uma revisão bibliográfica acerca dos principais conceitos abordados neste trabalho, considerando publicações de artigos científicos, teses, dissertações e livros relacionados ao tema.

2.1 REALIDADE VIRTUAL (RV)

Segundo LATTA e OBERG (1994), a RV pode ser definida como uma avançada interface homem-máquina, em que os participantes podem interagir com o meio, em uma simulação realista do ambiente. Entretanto, ainda que não exista fisicamente, em termos conceituais a RV é aceita como



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

verdadeira (VINCE, 1998). Além disso, é considerada uma alta tecnologia com a finalidade de convencer o usuário de que ele se encontra em outra realidade, por meio de uma nova forma de "estar" e "tocar" (PIMENTEL e TEIXEIRA, 1995). Em termos de categorização, a RV pode ser conceituada como imersiva e não imersiva, tendo como exemplo a visualização 3D em um monitor, na qual a experiência é considerada não imersiva (LESTON, 1996).

2.2 IMERSÃO, INTERAÇÃO E ENVOLVIMENTO

A RV imersiva, foco deste trabalho, exige o uso de técnicas e ferramentas para o desenvolvimento gráfico 3D, a fim de que o usuário, ao interagir com o ambiente criado, em tempo real, tenha uma pequena ou nenhuma consciência da utilização de uma interface homem-máquina (LESTON, 1996). Assim, a RV existe por meio da coexistência integrada de três fundamentos: imersão, interação e envolvimento (MORIE, 1994).

A imersão deve proporcionar a ideia do sentimento de estar dentro do ambiente (KIRNER e TORI, 2004). Para ampliar esse sentimento de imersão, utiliza-se os sensores receptivos humanos: visão, audição, tato, olfato e paladar (BEGAULT, 1994; GRADECKI, 1994).

No caso da interação, é necessário que as ações do usuário se manifestem em tempo real no ambiente, evitando-se atrasos que lhe causem desconforto. Segundo WATSON et al. (1997), para o ser humano, tais atrasos são admissíveis na ordem de 100 milissegundos. Além disso, o uso de técnicas como, por exemplo, a texturização de objetos e inserção de sons específicos permitem aumentar a sensação de realismo, e consequentemente, de interação (ARAÚJO, 1996).

Já a ideia de envolvimento está ligada ao grau de motivação do usuário em relação a uma determinada atividade. Esse envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir um filme, ou ativo, quando a pessoa participa de um jogo com algum parceiro. A RV tem potencial para os dois tipos de envolvimento, permitindo assim que o usuário explore um ambiente virtual e também, o mundo virtual dinâmico. Assim, a RV pode ser categorizada de acordo com o envolvimento do usuário: passiva, exploratória ou interativa (ADAMS, 1994).

Na RV passiva, o usuário não interfere na exploração do ambiente, que é feita automaticamente. Já na RV exploratória, o usuário dirige a exploração, mas sem reação do ambiente. Enquanto na RV interativa o usuário dirige a exploração, sendo que a cada ação do usuário as entidades virtuais do ambiente podem responder e reagir em tempo real (ADAMS, 1994).

2.3 HISTÓRICO

O uso de passeios virtuais pode ser considerado como forma de entretenimento e diversão. Contudo, passeios virtuais já foram largamente utilizados para instruir funcionários de empresas em zonas de alto risco à saúde ou em ambientes em que a situação atmosférica é impossível de ser reproduzida em uma simulação, como gravidade zero ou pressão atmosférica no fundo do oceano (RHEINGOLD, 1991).



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

A RV tem um histórico de utilização por empresas em campos como: venda e marketing, manutenção e planejamento, automação de projetos, concepção e visualização de dados, e treinamento e simulação (LESTON, 1996).

O desenvolvimento da RV continua crescendo ao longo dos anos, inclusive com o apoio de grandes grupos, como *Google, Microsoft, Samsung*, entre outros. A todo momento, surgem novas aplicações da RV nas mais variadas áreas do conhecimento e de maneira bastante diversificada (STATISTA, 2024).

Um exemplo de passeio virtual que pode ser considerado bem-sucedido é o que foi implementado pela Agência Espacial Federal Russa (Roscosmos) em 2005. Antes de ser realizada uma viagem de manutenção rotineira à *International Space Station* (ISS), os técnicos russos responsáveis passaram por uma série de viagens virtuais com óculos de realidade virtual. Os astronautas ficavam amarrados a uma cadeira suspensa e utilizavam um manche para controlar os propulsores na realidade virtual, simulando como se estivessem realizando a tarefa de se moverem entre a Soyuz (nave espacial soviética) e a ISS para fazer o reparo. O passeio virtual ensinou aos técnicos sobre a cautela que se deve ter em um meio sem gravidade e resistência do ar (GUDILIN et al., 2006).

No campo da arquitetura, por exemplo, o uso de sistemas computacionais e *softwares* específicos permite a elaboração de projetos com visualização tridimensional interativa, possibilitando a navegação virtual pelos ambientes projetados e a análise de diferentes perspectivas espaciais antes da execução física da obra (PENTEADO, 1995). Tal recurso amplia a capacidade de avaliação técnica e estética dos projetos, além de favorecer a tomada de decisão por parte de clientes e profissionais envolvidos.

No âmbito militar, a tecnologia também tem sido empregada para fins de treinamento. A *British Aerospace* desenvolveu uma cabine de simulação de aeronave de combate destinada à capacitação de cadetes britânicos, configurando-se como uma aplicação típica da RV em ambientes de alta complexidade operacional (KALAWSKY, 1993).

Mais recentemente, observa-se a consolidação da RV em projetos de elevada sofisticação tecnológica, como a parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Microsoft* para o desenvolvimento do *software OnSight*. Integrado à tecnologia vestível *HoloLens*, o sistema permite a interação virtual com o ambiente marciano a partir de dados e imagens reais coletados pelo *rover Curiosity*, evidenciando o potencial da RV para apoiar atividades científicas avançadas e ampliar as possibilidades de análise e exploração remota (JPL-NASA, 2015).

Já no contexto nuclear, estudos anteriores já exploraram a aplicação de visitas virtuais não imersivas no setor. Em 2016, Ângelo Cnop, então discente do Instituto de Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IEN/UFRJ), desenvolveu um sistema de navegação digital para o Reator Argonauta, implementando uma simulação de visita virtual às suas instalações. Embora a solução proposta não tenha sido concebida para utilização com dispositivos de RV imersiva, o sistema apresentou resultados satisfatórios e foi bem avaliado pelos profissionais vinculados ao reator,



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

evidenciando o potencial dessas ferramentas como instrumentos de apoio à divulgação e compreensão das atividades nucleares (CNOP, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente item descreve os materiais e métodos adotados para o desenvolvimento da ferramenta de visita virtual ao reator de pesquisa IEA-R1. Inicialmente, apresenta-se uma caracterização técnica e funcional do reator, relevante para a modelagem do ambiente virtual. Em seguida, são detalhadas as ferramentas computacionais utilizadas no desenvolvimento do aplicativo. Por fim, descrevem-se os procedimentos de planejamento e documentação do desenvolvimento do projeto de construção do ambiente virtual.

3.1 DESCRIÇÃO DO REATOR IEA-R1

O reator IEA-R1, cujo objetivo principal é ser utilizado em pesquisas, fica cercado por uma piscina, sendo a água o moderador e o refrigerante do núcleo. Possui elementos de grafite e berílio que atuam como refletores. Na Figura 1, é apresentada a vista do saguão e da piscina do reator.



Figura 1: Vista do saguão e da piscina do reator IEA-R1. Fonte: Autores, 2022.

Nas primeiras décadas, o reator atuou a uma potência de 2 MW, mas atualmente pode atingir até 5 MW. Em 16 de setembro de 1957 ocorreu a sua primeira criticalidade e, passada a fase de testes e comissionamento, iniciou-se a sua operação a 2 MW em ciclos de oito horas, cinco vezes por semana (IPEN, 2022).

De 1993 em diante, o IEA-R1 começou a operar a 3,5 MW, em ciclos de sessenta e quatro horas contínuas por semana, tendo a capacidade de irradiar materiais com fluxos de até $8,5x10^{13}$ nêutrons/cm^2.s para nêutrons térmicos. Já para nêutrons rápidos e epitérmicos, o fluxo era da ordem de 10^{13} nêutrons/cm^2.s, sendo que sua matriz estava disposta em um arranjo de 24 elementos combustíveis padrões, cuja fabricação era feita pelo próprio IPEN. De posse do certificado ISO 9001,



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

a partir de 2002, o IPEN passou a ter habilitação para a "Operação e Manutenção do Reator IEA-R1 e Prestação de Serviços de Irradiação" (IPEN, 2022).

O núcleo do reator IEA-R1 é bastante versátil, permitindo irradiações de longa duração em 144 posições, divididas em 15 elementos de irradiação. Para irradiações curtas, com duração de até cinco minutos, um sistema pneumático leva e traz automaticamente a cápsula de alumínio com o material a ser irradiado até a posição de irradiação. Outro recurso presente no reator são os nove tubos de irradiação horizontal, que recebem o nome de "*Beam Holes*". Estes, são capazes de fornecer feixes de nêutrons, permitindo o seu uso em pesquisas das áreas da física nuclear, física de estado sólido, pesquisas em terapia de câncer por captura de nêutrons em boro (do inglês, *Boron Neutron Capture Therapy* - BNCT) e neutrongrafia.

3.2 FERRAMENTAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O conceito de passeio virtual adotado neste estudo ultrapassa a simples navegação por imagens exibidas em tela bidimensional. Propõe-se a utilização de recursos de RV capazes de proporcionar maior nível de imersão ao usuário, permitindo uma experiência mais próxima da percepção espacial real das instalações do reator nuclear. Para tanto, buscou-se uma interface de visualização por meio de óculos de realidade virtual, associada a dispositivos móveis compatíveis (*smartphones)*.

No processo de construção do ambiente virtual, foi utilizada uma câmera profissional para captura de imagens em alta definição, a fim de garantir fidelidade visual na modelagem dos espaços. Adicionalmente, foi empregado um dispositivo de captação de áudio, uma vez que o passeio virtual conta com narração explicativa realizada por um operador do reator, agregando caráter didático à aplicação.

3.2.1 INTERFACES DE VISUALIZAÇÃO

Para assegurar um nível satisfatório de imersão durante a visita virtual, tornou-se necessária a utilização de uma interface específica de visualização em realidade virtual. Neste trabalho, optou-se pela tecnologia *Google Cardboard* em virtude de sua acessibilidade econômica e facilidade de utilização. Com custo aproximado de R$ 30,00, o dispositivo permite a implementação de experiências imersivas utilizando um *smartphone* acoplado à estrutura.

O *Google Cardboard* foi desenvolvido pela *Google* como uma plataforma de entrada para experiências em realidade virtual móvel. O sistema consiste em uma estrutura de papelão rígido equipada com duas lentes convexas, responsáveis por gerar a percepção estereoscópica e simular a profundidade espacial semelhante à visão humana, conforme apresentado na Figura 2. O *smartphone* é inserido na parte frontal do dispositivo, funcionando como tela e unidade de processamento da aplicação.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

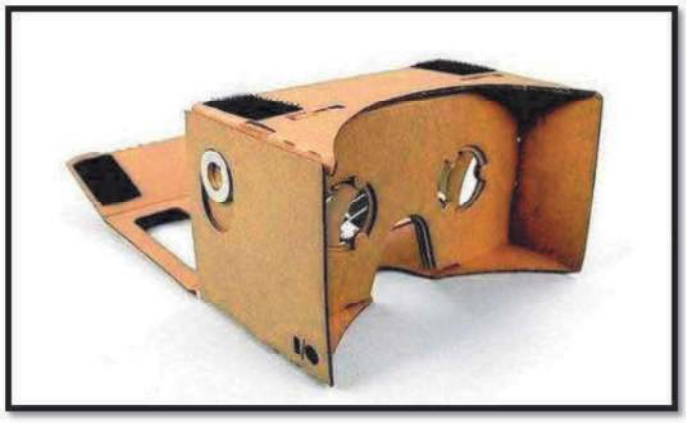


Figura 2: *Cardboard* de papelão. Fonte: Google Inc., 2022.

A *Google* disponibiliza ainda um Kit de Desenvolvimento de *Software* (*Software Development Kit* - SDK) para os sistemas operacionais Android e iOS, permitindo a criação de conteúdos em RV tanto para aplicações móveis quanto para ambientes *web*. Entre as principais vantagens do sistema destacam-se o baixo custo, a ampla compatibilidade e a possibilidade de disseminação em contextos educacionais e científicos (GOOGLE INC., 2022).

Após o lançamento do produto pela *Google* em 2014, surgiram diversos modelos no mercado feitos com materiais plásticos e acessórios. Entre eles, um que se destaca é o *Gear VR* da *Samsung*, desenvolvido para ser usado com os celulares da família *Galaxy SX*.

3.2.2 *SOFTWARES* UTILIZADOS

Os *softwares* selecionados para as diferentes etapas do desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos com base em suas funcionalidades técnicas e na compatibilidade com ambientes de realidade virtual. Além disso, são ferramentas de livre acesso ou disponibilizadas em versões acadêmicas, o que garantiu a viabilidade econômica do projeto e facilita sua aplicação em contextos educacionais.

Autodesk 3DS Max

A opção escolhida para a modelagem 3D e texturização da estrutura predial, objetos, máquinas, painéis e demais componentes interativos do ambiente foi o Autodesk 3DS Max, também conhecido como 3DS Max. O 3DS Max é um *software* desenvolvido para trabalhos com modelagem 3D, renderização, animação e composição 3D. Utilizado para a criação de jogos ou videogames, animações usadas no cinema e televisão e para a visualização elaborada de projetos 3D, o 3DS Max é um dos mais populares programas de modelagem e animação 3D de prateleira (*off the shelf*) acessíveis ao grande público. Uma licença de estudante para uso completo e gratuito desta ferramenta pode ser adquirida por meio do cadastro do usuário e do fornecimento das informações de matrícula na instituição de ensino, no site da Autodesk (AUTODESK INC., 2022).

Mixamo Fuse V1.3

O Mixamo Fuse, também conhecido como Fuse, é um aplicativo orientado a dados para modelagem e texturização de personagens 3D. Devido à facilidade que oferece na modelagem e desenvolvimento de personagem, foi escolhido para esta finalidade. A versão inicial foi desenvolvida no grupo de pesquisa de Vladlen Koltun na Universidade de Stanford, com Siddhartha Chaudhuri como arquiteto-chefe e programador. A Mixamo continuou o desenvolvimento no Fuse adicionando, entre outros recursos, a montagem de malha sem costura, o suporte de textura inteligente em colaboração com o Allegorithmic, uma biblioteca de roupas, a otimização de malha e todo o conteúdo presente no Fuse. O Fuse é um aplicativo universal de criação de personagens com conteúdo expansível. Hoje, este *software* foi adquirido pela Adobe e não é mais gratuito, por isso, para este trabalho foi utilizada a última versão gratuita, com *download* disponível por meio do site da Steam, que é uma plataforma voltada para desenvolvedores de jogos digitais (STEAM, 2022).

Mixamo Animations (Adobe)

Embora a Adobe tenha comprado o Mixamo Fuse, o site da Mixamo foi mantido de forma gratuita. O site fornece os serviços *online* para *rigging*, que é uma adição de uma espécie de esqueleto, como “ossos” do personagem, e que são utilizados no processo para que o algoritmo calcule a animação da malha 3D. São fornecidos também diversos tipos de movimentos de *rigging* pré-animados, como andar, dançar, atirar, entre outros, que podem ser aplicados no modelo dos personagens exportados do Fuse. Para ter acesso a esta ferramenta, basta se cadastrar gratuitamente no site da Mixamo. Esta ferramenta foi utilizada para criar as animações do personagem e após salvas, foram utilizadas pela programação durante a visita para dar maior realismo aos movimentos do personagem 3D (MIXAMO, 2022).

Krita 5.0

O Krita é um aplicativo multiplataforma gratuito e de código aberto que oferece uma solução para criar e editar arquivos de imagens. O projeto Krita foi iniciado pela comunidade KDE em 1998. O KDE é uma comunidade internacional que trabalha em conjunto para criar *softwares* livres e de código aberto para usuários de todo o mundo. O Krita é distribuído de acordo com os termos da Licença Geral Pública GNU e seu *download* pode ser feito gratuitamente em seu site oficial (KRITA, 2022).

Na Figura 3 é apresentado um exemplo do mapa de textura da mesa de controle do reator, criado com o auxílio do Krita. O Krita foi utilizado neste projeto para manipulação de imagens e na criação de texturas e montagem dos mapas de textura que são usados para renderizar os modelos 3D.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928



Figura 3: Mapa de textura utilizado para renderização da mesa do reator. Fonte: Autores, 2022.

Audacity 3.1

O Audacity é um programa multiplataforma, livre e de código aberto, para gravar e editar sons. O Audacity é distribuído de acordo com os termos da Licença Geral Pública GNU e seu *download* pode ser feito gratuitamente em seu site oficial (AUDACITY, 2022). O Audacity foi utilizado para editar os sons gravados nas instalações do reator com a finalidade de reproduzi-los no ambiente virtual. Também foi utilizado para equalizar os arquivos de áudio produzidos pela leitura das falas do personagem com a tecnologia de voz neural.

Speech Studio - Azure

A Microsoft Azure é uma plataforma destinada à execução de serviços e aplicativos, baseada em conceitos da computação em nuvem. Esta plataforma disponibiliza diversas ferramentas para auxiliar o desenvolvimento de aplicações na nuvem. Entre estas ferramentas encontra-se o Speech Studio. Esse aplicativo permite sintetizar a voz humana com diferentes estilos de fala e tons emocionais, por meio da leitura de textos com uma Inteligência Artificial (IA) de voz. Com o uso destas vozes neurais pré-construídas, é possível simular a fala humana de maneira natural. Com isso, foi possível produzir as falas de diálogo do personagem instrutor e das leituras das perguntas da visita. Para se ter acesso gratuito a esta ferramenta, é necessário fazer um cadastro no site da "Azure para Estudantes" e fornecer informações sobre sua instituição escolar (AZURE, 2022).

Unity 2019.1.6f1

Um *Game Engine* é uma biblioteca ou pacote de funcionalidades que tem a finalidade de facilitar o desenvolvimento de um jogo; assim, nem tudo precisa ser programado a partir do zero. A *engine* possibilita a criação de aplicativos e *games* multiplataformas interativos, possuindo

compatibilidade com diversos sistemas operacionais, computadores, consoles, dispositivos móveis, navegadores e plataformas de RV.

No mercado, existem diversos motores que, inicialmente, foram criados para um título original e posteriormente tiveram sua estrutura de programação disponibilizada para a construção de outros jogos. Dentre as mais conceituadas versões gratuitas para desenvolvedores de pequeno porte está a opção de motor de jogo Unity. A Unity Technologies é a empresa que administra o motor (*engine*) gráfico Unity.

O Unity 3D fornece uma ferramenta completa para o desenvolvimento do *game* que pode ser convertido para qualquer plataforma. O acesso ao Unity 3D é gratuito para estudantes ou empresas que tenham um faturamento anual inferior a 100 mil dólares. Além disso, existe uma vasta documentação, modelos, texturas, códigos e treinamentos gratuitos e pagos para desenvolvedores. O seu *download* pode ser realizado em sua página oficial (UNITY, 2019).

O Unity foi escolhido no início deste trabalho, na versão Unity 2019.1.6f1 (64-bit), sendo mantida até o final por questões de compatibilidade. O programa foi utilizado para modelar, renderizar imagens 2D e 3D, e criar um sistema de colisões do jogador, personagem e objetos, utilizando sua *engine* de física, que permite simular as propriedades da física no mundo virtual. Permitiu, também, trabalhar com as animações, sons, IA do personagem e proveu suporte à linguagem C#, facilitando a programação do jogo em si, conforme apresentado na Figura 4.

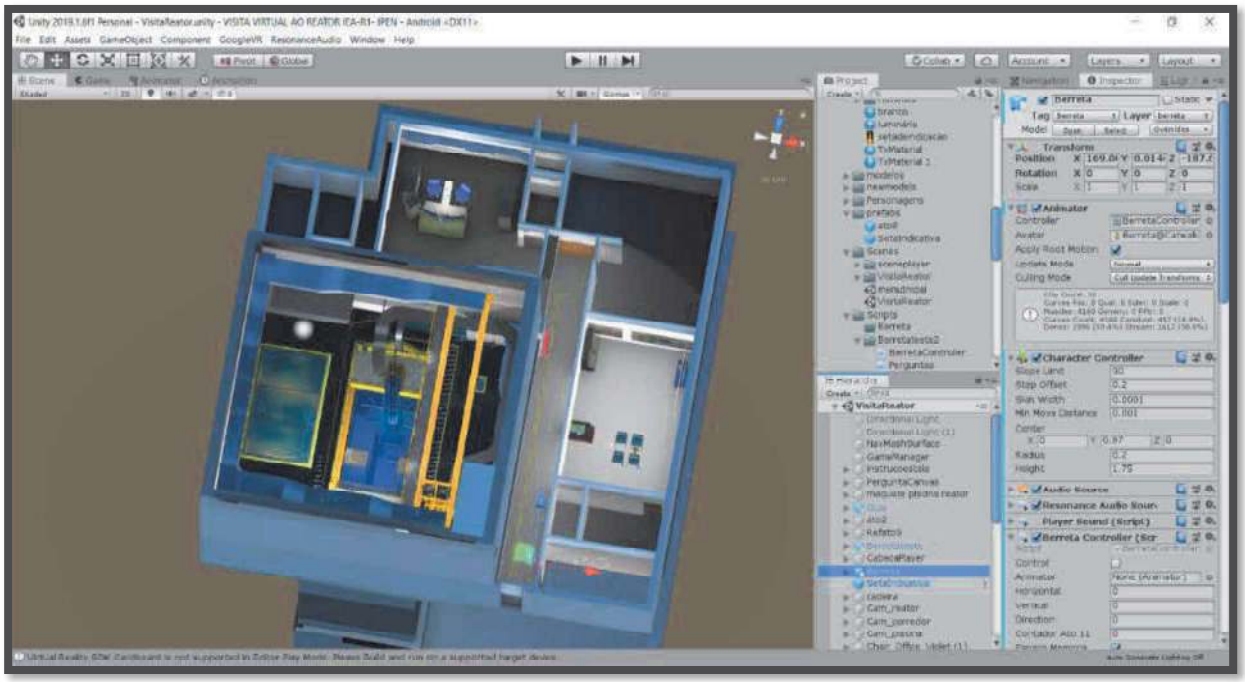


Figura 4: Interface do Unity 2019.1.6f1. Fonte: Autores, 2022.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

3.3 PLANEJAMENTO E DOCUMENTAÇÃO

O trabalho de desenvolvimento do aplicativo de realidade virtual para as visitas técnicas ao reator IEA-R1, foi dividido em cinco etapas, descritas a seguir:

3.3.1 Etapa 1 – Elaboração do *Game Design*

Nesta etapa foi elaborado um documento inicial para definir aspectos relacionados ao jogo. Para isso, foi necessário responder a questões como: como seria a visita, qual o enredo, quais os personagens, quais personagens ou objetos teriam algum tipo de inteligência artificial, entre outras.

Para responder essas perguntas e desenhar a estrutura geral da visita virtual, foi feito o acompanhamento das visitas presenciais realizadas com estudantes de pós-graduação ao reator de pesquisa IEA-R1 e que foram guiadas por técnicos do IPEN, conforme apresentado na Figura 5.

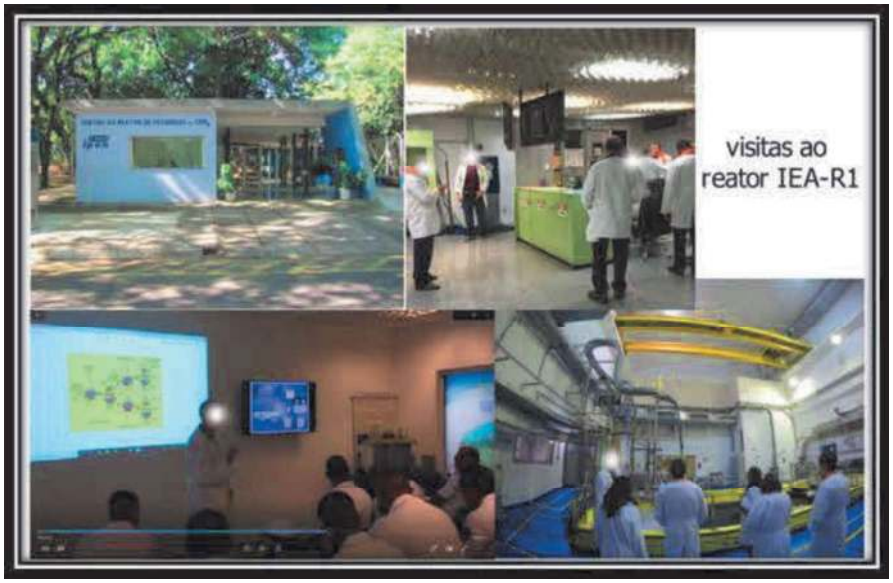


Figura 5: Exemplo das etapas da visita. Fonte: Autores, 2022.

As visitas foram filmadas e todo seu conteúdo foi utilizado para criar um roteiro didático para a visita virtual. Com base nos dados coletados foi desenvolvido o documento do *Game Design* que serviu para dar uma visão inicial aos participantes do projeto, dar suporte para definir os recursos e ações necessárias para viabilizar o projeto e para elaborar o documento de *Level Design* (Etapa 2), que foi usado como guia para criação da visita virtual. O documento do *Game Design* pode ser acessado no link: https://drive.google.com/file/d/1Ny489NPYgqpsO_ATbHTCG_KDuKfG9MUM/view?usp=sharing

3.3.2 Etapa 2 – *Level Design*

A etapa de *Level Design*, foi composta por duas ações. A primeira ação produziu um documento que foi elaborado com base nas informações e dados coletados durante as visitas ao Reator IEA-R1, utilizando as orientações iniciais do documento de *Game Design.* Também foi



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

levantado o maior número de informações pertinentes e relevantes para se criar um conteúdo orientativo para a elaboração do aplicativo. Nesse documento, foram definidos os níveis e o fluxo de cada etapa da visita virtual (Figura 6), com instruções detalhadas para auxiliar os profissionais que geralmente seriam requisitados para desenvolver projetos de *games*, na programação e construção de todos os atores e ativos, tais como: modeladores, animadores, criadores de textura e mapeamento, produtores de áudio e programadores.

Alguns dos principais tópicos abordados neste documento são: tipos de tecnologia usadas no jogo, enredo, níveis e fluxo do jogo, detalhamento dos personagens, suas falas, objetivos e ações, detalhamento para construção dos ambientes, objetos, menus, entre outros. O documento do *Level Design* pode ser acessado no link: https://drive.google.com/file/d/1LVaq6YOrW10AprQK09D6vA9KocnrdAPK/view?usp=sharing

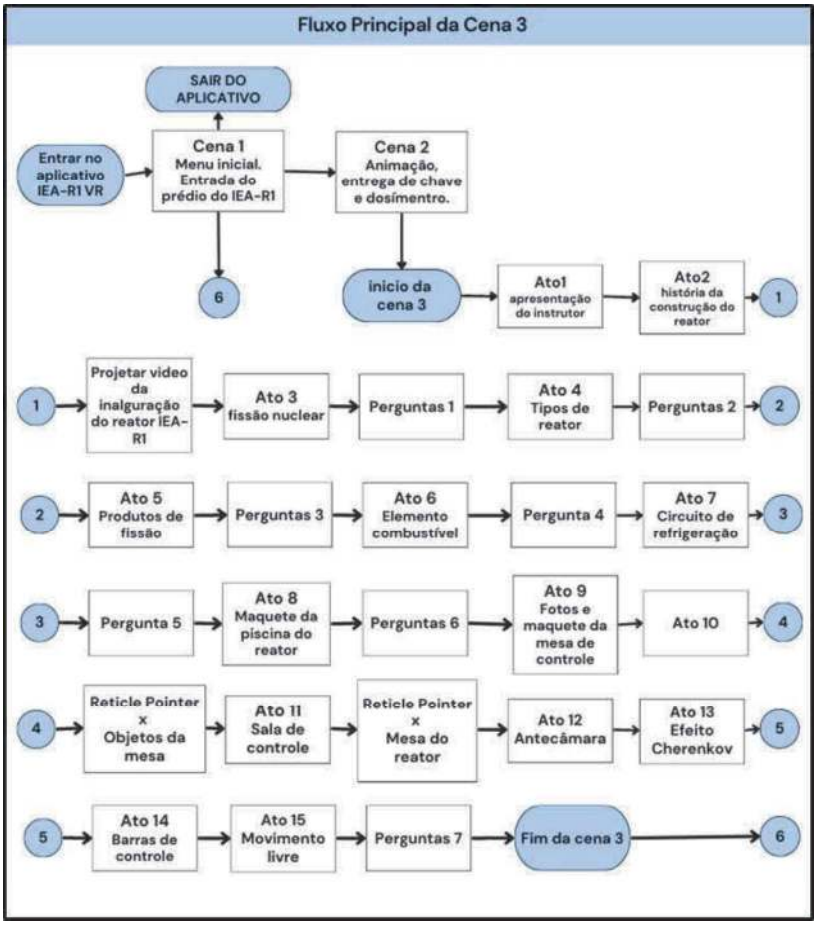


Figura 6: Fluxo Principal da Cena 3. Fonte: Autores. 2022.

A segunda ação da etapa de *Level Design* consistiu em seguir as orientações descritas neste documento, para a produção de todo conteúdo 3D. Para isso, foram utilizados os *softwares* de modelagem e tratamento de imagem descritos no item anterior para criar virtualmente os ambientes,



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

objetos, personagens e demais componentes 3D. Também foram produzidas diversas fotografias digitais de todo ambiente do IEA-R1, para a criação de texturas e mapas de texturas, utilizados na renderização dos modelos 3D.

A seguir, são fornecidos alguns exemplos práticos das ações desenvolvidas no processo de criação e modelagem do *Level Design*.

O 3DS Max foi utilizado para a modelagem de toda estrutura predial e objetos das instalações do reator. Para isso, utilizou-se o conceito de modelagem *low poly* que consiste na técnica de construir o objeto 3D com o mínimo de polígonos possíveis. Isso permitiu viabilizar o processamento de placa de vídeo necessário para renderizar os modelos em tempo real durante a execução do *game*, devido ao tipo de console utilizado para a visita (celular), previamente definido no documento.

Para criar a estrutura predial e a piscina do reator foi utilizada a planta arquitetônica do andar, desenhada em metros, na escala 1:1. O arquivo de extensão DWG foi importado para o 3DS Max, para um *layer* não editável, e foi sendo utilizado como referência para modelagem das paredes do prédio e estrutura da piscina do reator. Utilizou-se o comando *"rectangle"* para redesenhar a espessura das paredes e *"extrude"* para fornecer sua altura, permitindo a criação de uma parede 3D, conforme apresentado na Figura 7. Para a textura da parede, foi utilizada a textura padrão (*Wall Paint*) disponível no "*Autodesk Material Library*" do 3DS Max.

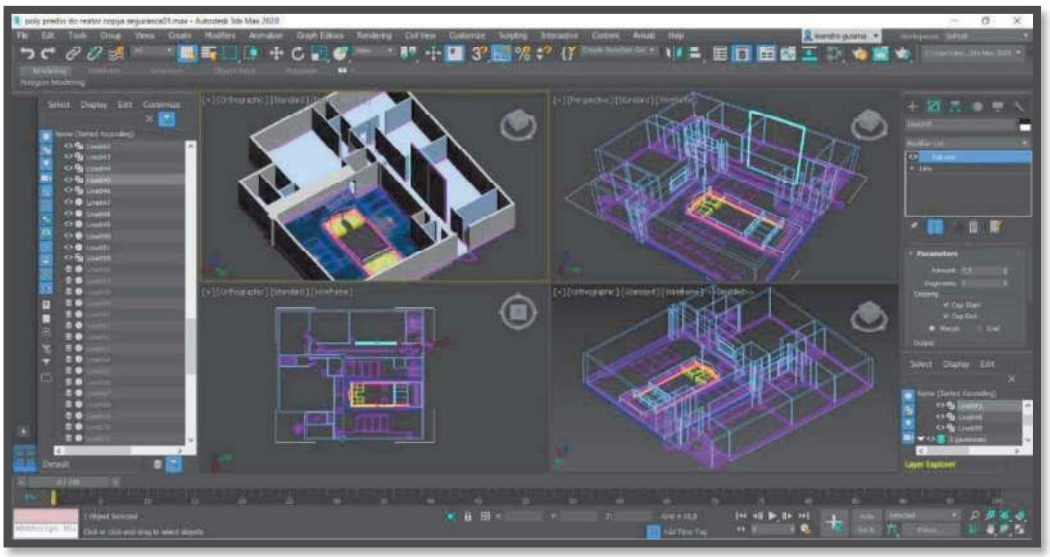


Figura 7: Criação dos ambientes virtuais. Fonte: Autores, 2022.

Para a modelagem 3D dos objetos, também foi utilizado o conceito *low poly*, onde a malha é a mais simples possível e os pequenos relevos são trabalhados utilizando os recursos de *bumping* nos mapas de textura, para simular pequenos relevos na superfície do material, sem a necessidade de utilizar mais polígonos nas malhas 3D.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

Um exemplo dessa técnica pode ser visto na modelagem dos *racks* de monitoramento da sala de controle. Após construir uma caixa retangular com o comando "*box*", converteu-se a estrutura para um elemento chamado "*Editable Poly*", isso permitiu modelar a caixa adicionando e apagando as arestas, vértices e faces da mesma até ela adquirir os contornos externos básicos do *rack*, conforme apresentado na Figura 8.

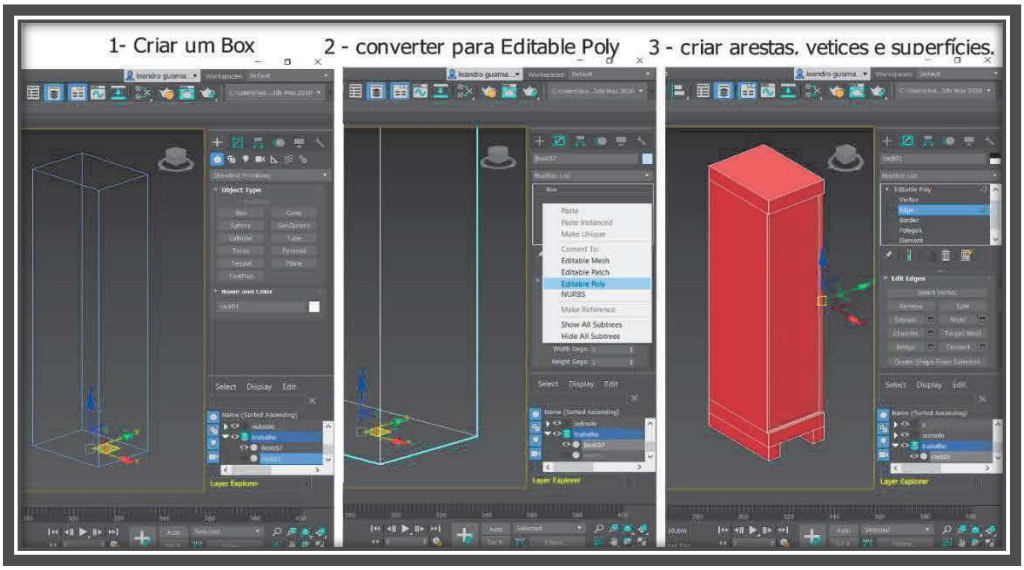


Figura 8: Modelagem 3D dos objetos e equipamentos. Fonte: Autores, 2022.

Com a forma básica do *rack* modelada, adicionou-se um modificador chamado "*Unwrap* UVW", que permite criar um mapa das superfícies do *rack* em formato JPG, conforme a Figura 9.

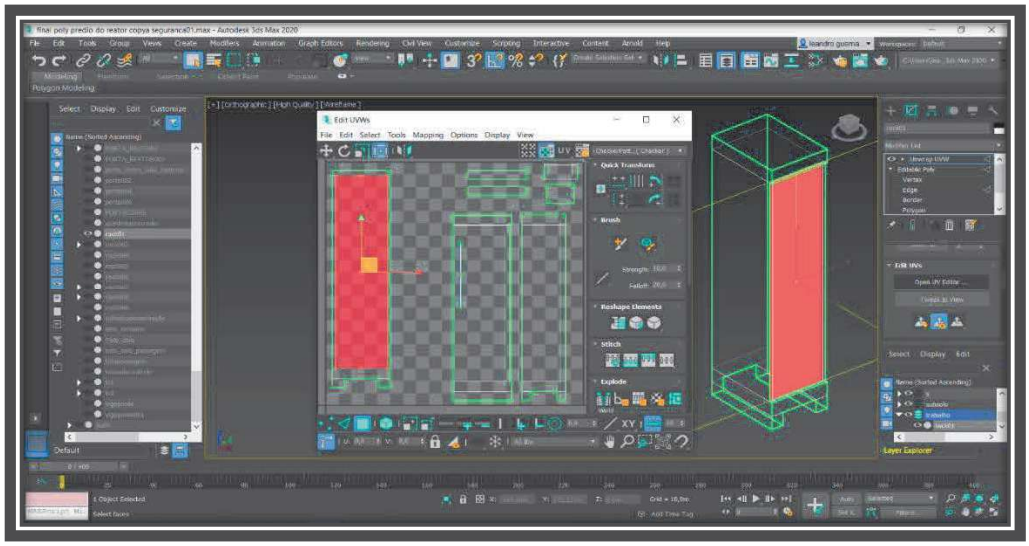


Figura 9: Mapa das superfícies criado com o modificador "*Unwrap UVW*". Fonte: Autores, 2022.

Com isso, foi possível abri-lo no editor de imagens Krita, e texturizar cada face com as fotos digitais do *rack* original, gerando assim um mapa de textura que foi usado para criar um material com



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

o qual o *rack* foi renderizado, conforme apresentado na Figura 10. Assim, não foi necessário modelar cada painel digital, nem pequenos detalhes do *rack*.

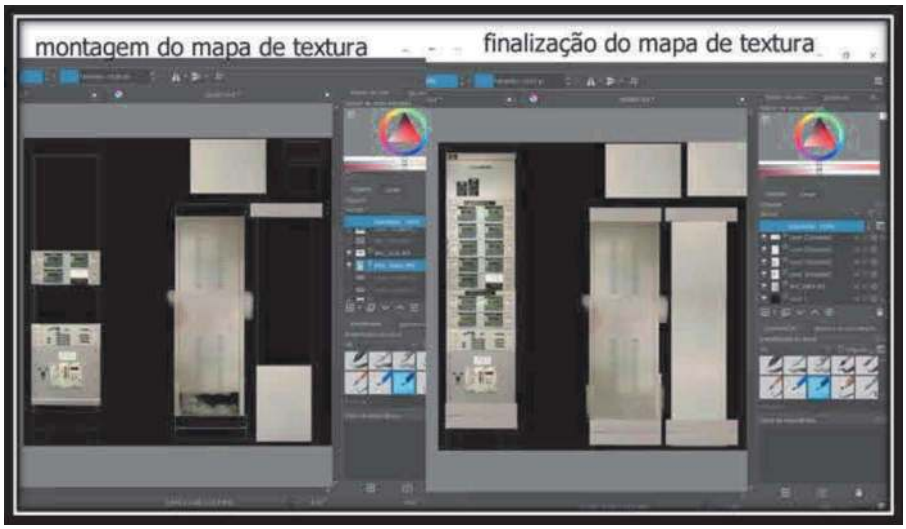


Figura 10: Utilização do Krita para a texturização do mapa utilizando fotos digitais. Fonte: Autores, 2022.

Para um maior realismo, ainda com o auxílio do Krita, foi gerada outra imagem chamada "*Normal Map*", a partir da imagem original do mapeamento, porém em tons de cinza. Quando essa imagem foi adicionada no canal de *bump* no editor de materiais, as diferenças de luz e sombra foram utilizadas para produzir um efeito de relevo na textura, aumentando o realismo do *rack*, conforme apresentado na Figura 11.

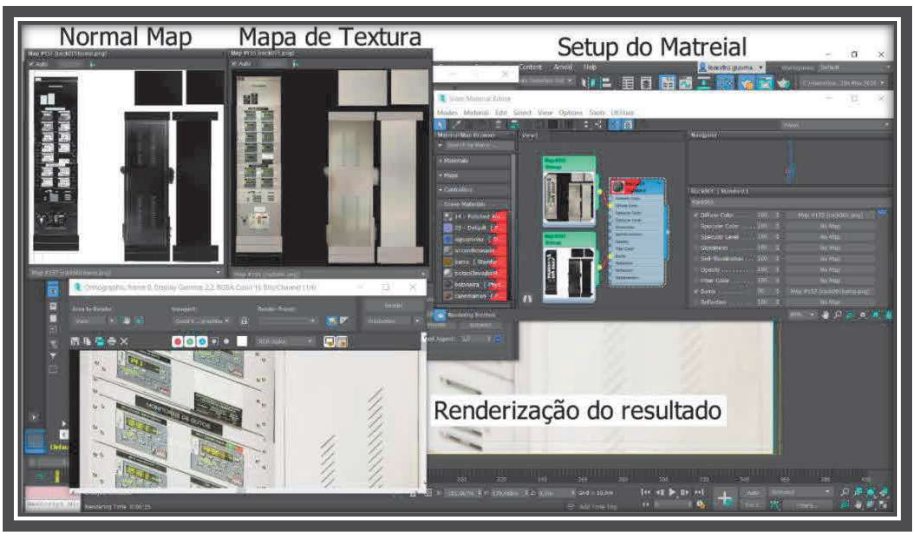


Figura 11: *Normal Map*, Mapa de Textura, *setup* do material e renderização do resultado. Fonte: Autores, 2022.

Outra parte importante do desenvolvimento do *Level Design* foi a modelagem do personagem, na qual, seguindo as orientações do documento, apenas o personagem instrutor foi modelado. Assim,

foram tomadas como referências as visitas presenciais realizadas, e para homenagear toda equipe de técnicos do reator que colaboraram com o trabalho, foi escolhido um dos operadores para servir de modelo para o personagem (Figura 12). Utilizando as ferramentas do Fuse foi possível produzir um personagem semelhante à foto de referência.

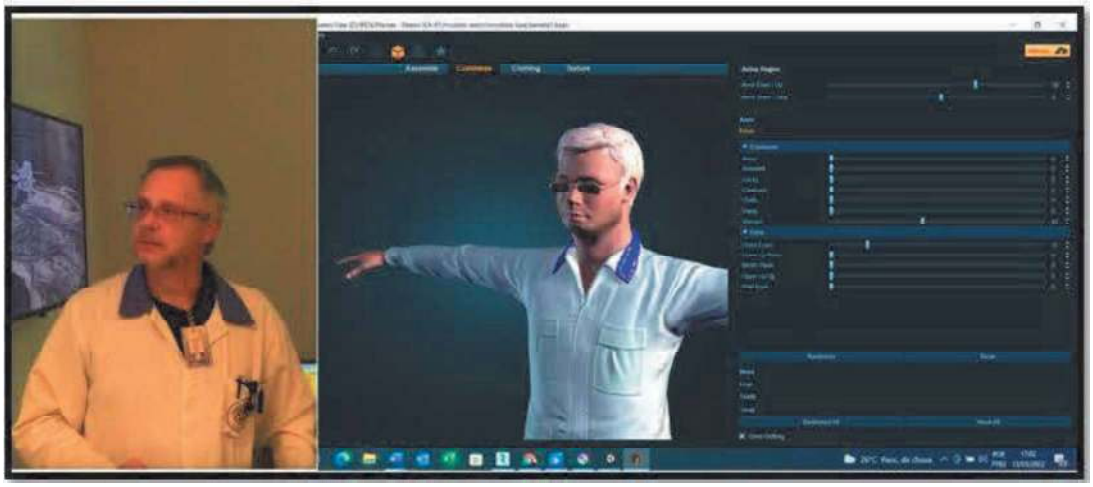


Figura 12: Modelagem do personagem instrutor Dr. Berreta com o Fuse. Fonte: Autores. 2022.

Orientando-se pelo documento de *Level Design*, foi feito o *upload* do modelo do personagem instrutor, criado no Fuse, para o site da Mixamo. Utilizando essa ferramenta, foi possível criar automaticamente um sistema de *rigging* (esqueleto) para o personagem. Também foi possível salvar as animações, que foram utilizadas durante o desenvolvimento da visita virtual, sendo seis animações para as falas do personagem, uma para o personagem parado e outra para o personagem andando, conforme apresentado na Figura 13.

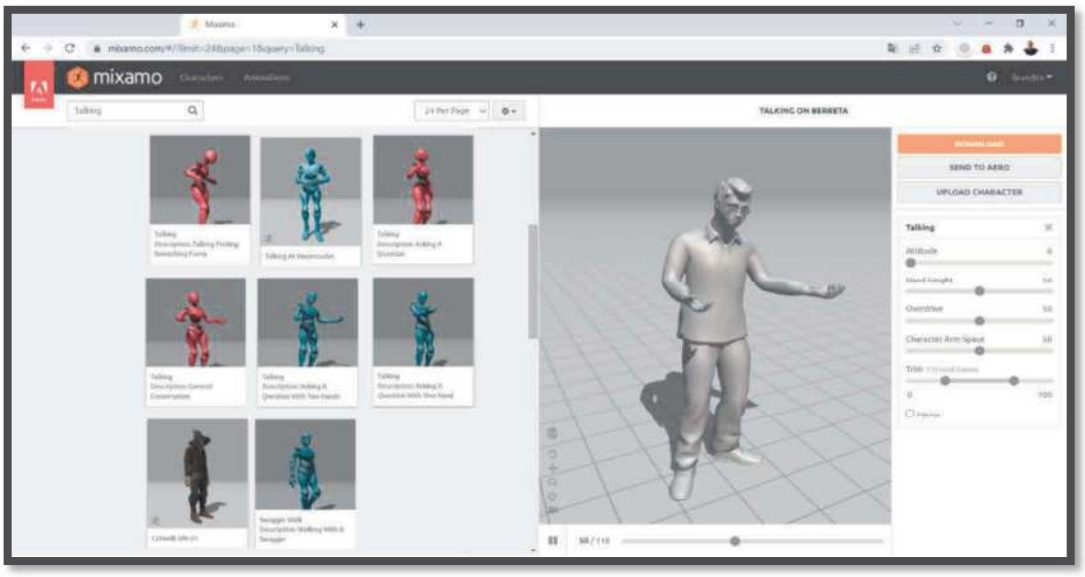


Figura 13: Animações do personagem instrutor Dr. Berreta com o Fuse. Fonte: Autores, 2022.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

3.3.3 Etapa 3 – *Game Engine*

Esta etapa consistiu em reunir no motor de jogo (*engine*) escolhido todos os ativos que foram criados. Objetivou-se então desenvolver os níveis do *game*, programar os objetos e os personagens do jogo, bem como sua mecânica, orientando-se pelo documento de *Level Design*.

Nesta fase do projeto, foi utilizado o Engine Unity 2019, que fornece uma plataforma para a criação do *game*, com todas as ferramentas para montagem do ambiente 3D e recursos de programação necessários para a construção de sua mecânica.

Basicamente, a etapa do *Game Engine* caminhou em duas frentes: a montagem e construção dos níveis e fases, e a programação de toda a mecânica e funcionamento do *game.* A montagem e construção dos níveis e fases são descritas a seguir.

Software Development Kit* (SDK) do *Google Cardboard

Primeiramente foi realizado o *download* do SDK do *Google Cardboard* GVR v1.200.1 para Unity 2019.3 (GITHUB, 2022), conforme apresentado na Figura 14.

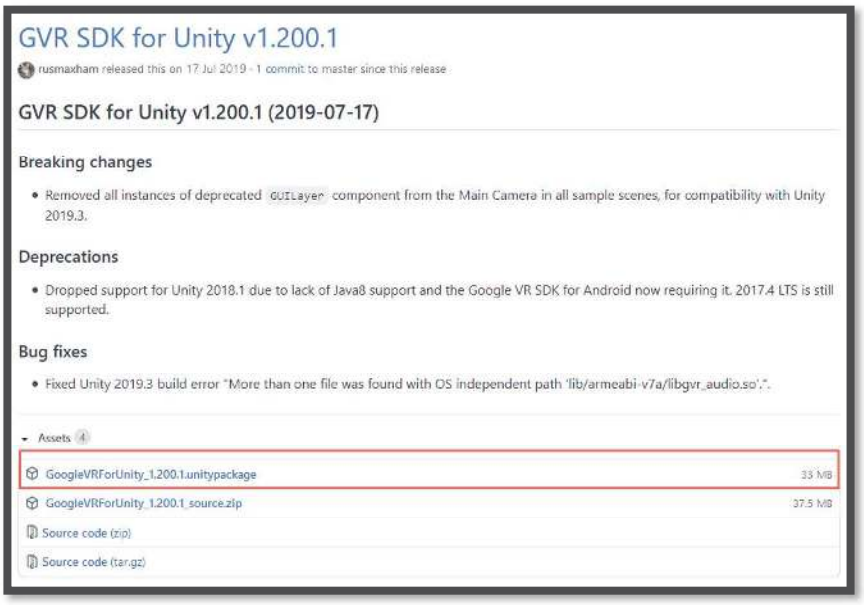


Figura 14: SDK do *Google Cardboard* para Unity (Github, 2022).

Em seguida, foi aberto um projeto novo no Unity e o pacote foi instalado na área de trabalho do Editor, a fim de se utilizar os *prefabs* deste pacote, que contém *scripts* capazes de programar a mecânica da RV para os óculos do *Google Cardboard*.

O *prefab* "*GvrEditorEmulator*", por exemplo, permite que o RV seja testado direto no editor, simulando o movimento da cabeça, para os lados, para cima e para baixo, ao segurar a tecla "Alt" e mover o mouse. Já a inclinação da cabeça pode ser simulada segurando-se a tecla "Ctrl" e movendo o mouse.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

Já para a criação de um apontador (*Reticle Pointer*), que permite que o usuário escolha objetos ou acione botões, foi utilizado o *prefab "GvrPointerPhysicsRaycaster",* que associado à câmera do usuário, emite um *Raycast*, uma espécie de raio *laser* invisível que sai da visão do usuário e colide com objetos, permitindo identificar os objetos interativos. Como esse raio é invisível, foi utilizado o *prefab "GvrReticlePointer"*, que associado à câmera, fornece uma mira, um ponto no centro da visão do usuário que acompanha o movimento da câmera. Essa mira, ao encontrar um objeto interativo transforma-se em um anel, permitindo identificá-lo. Foi ainda necessário utilizar o *prefab "GvrEventSystem"*, que contém os scripts e componentes necessários para que a aplicação reconheça as interações da RV. Assim, qualquer objeto que possua o componente do Unity, o chamado *"Event Trigger"*, pode ser reconhecido pela mira (*Reticle Pointer*) e executar uma função programada, utilizando interações com o objeto do tipo *"Pointer Enter", "Pointer Exit", "Pointer Down"*, entre outras.

Configuração inicial do Unity

Em seguida, foi feita a configuração do arquivo de projeto para uma aplicação Android (*File – Build Settings – Switch Platform*). Em "*Player Settings*", dentre as várias configurações, foi habilitado o recurso de "*Virtual Reality Supported*", e escolhida a opção "*Cardboard*", para que a imagem da câmera do *game*, que é a visão do usuário, pudesse ser controlada pelo movimento da cabeça dele, utilizando os sensores de movimento do celular. Isso também permite a divisão da tela do celular em duas, gerando uma imagem estéreo da RV.

Também foi criada a estrutura de pastas para a organização dos arquivos que foram carregados no Unity, conforme apresentado a seguir:

Modelos

Todos os modelos 3D construídos no 3DS Max foram exportados no formato FBX e importados no Unity, na pasta "Modelos", para a montagem dos cenários do reator IEA-R1, descrito na "Cena 3" do documento de *Level Design* (Figura 15).

Ao importar os modelos para o Unity, foi necessário fazer a associação dos materiais aos modelos e ajustes. Também foi ativada a opção "*Generate Lightmap UVs"* para que o modelo ficasse preparado para receber os mapas de luz.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

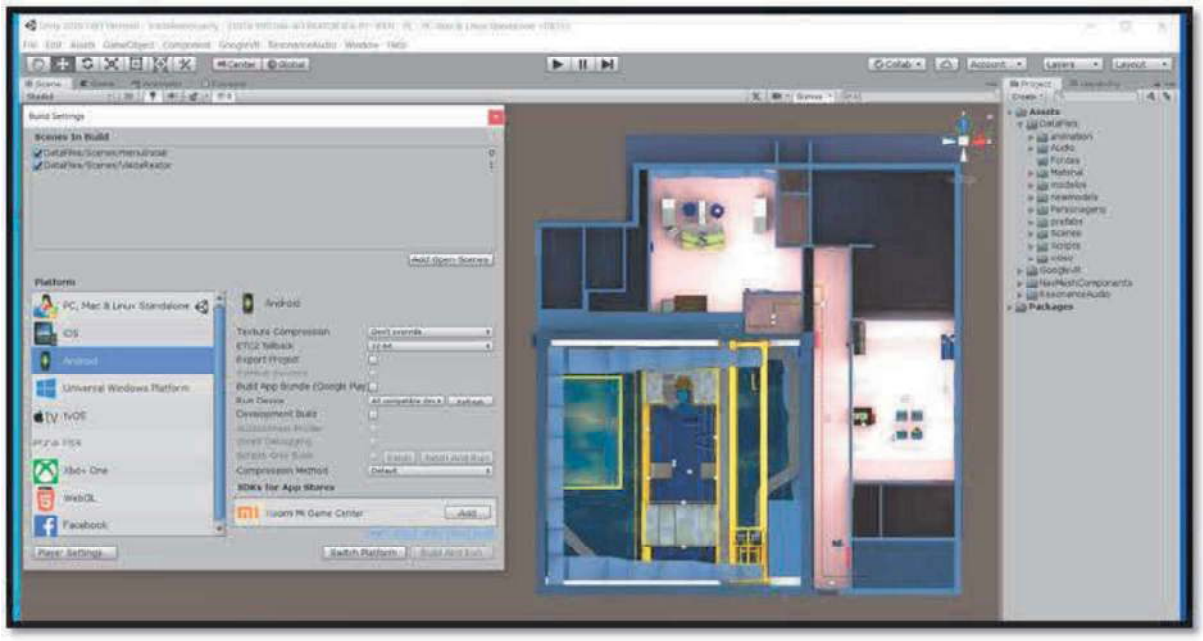


Figura 15 – Configuração da plataforma Android, estruturação de pastas e modelos importados. Fonte: Autores, 2022.

Personagem e animações

Todos os modelos do personagem instrutor, com suas respectivas animações, que foram geradas no site da Mixamo, foram importados para a pasta “Personagens”. Tanto as animações de movimentação *(“Iddle”*, “Andar”) como as de gestos explicativos, foram replicadas em 0, 90, 180 e 270 graus. Também foram feitas as relações de transações entre as animações usando o Animator e o comando “*Blend Tree*”. Isso permitiu associar as animações a variáveis, que foram usadas para executá-las por meio da programação.

Para o deslocamento do personagem, a animação “Andar” foi responsável por permitir o deslocamento do modelo pelo ambiente, já que a animação modifica a posição do modelo para frente a cada vez que é repetida. Já para a mudança da direção no deslocamento, bastou executar a transição entre as variantes, 0, 90, 180 e 270 graus, que foram criadas.

Áudios e vídeos

Todos os arquivos de áudio (com extensão MP3), incluindo as falas e os efeitos sonoros, foram salvos na pasta “Audio” e os arquivos de vídeo (com extensão MP4), usados nas explicações do instrutor, foram salvos na pasta “Video”. Esses arquivos foram associados a vetores para serem executados via programação.

Iluminação

Para cada ambiente do jogo foi criada uma "*Area Light*", de forma que este tipo de luz permitisse pré-calcular a iluminação dos modelos estáticos, como paredes e objetos sem movimentos, criando um mapa de textura de iluminação. Assim, é possível economizar processamento na execução do *game*, pois o *hardware* não precisa calcular a iluminação em tempo de execução.

IA do personagem

Para a IA do personagem, utilizou-se um recurso do Unity chamado "*NavMashSurface*" que permite calcular uma malha de coordenadas delimitando os espaços livres por onde o personagem pode se movimentar. Esse recurso também possui uma série de comandos que possibilitaram programar o modelo do personagem para ir em direção a um ponto específico do ambiente durante seu deslocamento, seja este estático ou móvel.

Recurso de som espacial

Para criar um efeito mais realista dos sons, foi baixado um *package* (pacote de recursos) chamado "*ResonanceAudio*", que possui uma série de comandos que permitem simular o som 3D. Ou seja, é possível delimitar um raio de ação para o som que está sendo emitido por um objeto, de modo que este som aumenta ou diminui conforme o usuário se aproxima ou se afasta dele.

A programação de toda a mecânica, o funcionamento do *game* e os principais aspectos da programação do *game* (implementação da física dos objetos, programação do jogador, programação do instrutor, programação dos menus de perguntas, programação da tela de projeção, programação dos objetos interativos da mesa azul, programação da mesa de controle e scripts auxiliares), podem ser vistos de forma detalhada em SILVA (2023).

3.3.4 Etapa 4 – Produção de Áudio

Esta etapa consistiu em capturar todos os elementos sonoros utilizados no jogo, envolvidos na visita e definidos no documento do *Level Design*, desde diálogos até sons ambientes. Alguns dos elementos sonoros definidos para uso no desenvolvimento do *game* foram: sons de passos do instrutor e portas automáticas, som do contador Geiger da antecâmara, som ambiente do saguão da piscina do reator e as falas dos diálogos, produzidos com o gerador de voz neural Speech Studio.

O critério para se obter os sons foi usar o método mais simples e acessível, por exemplo, para o som de passos do instrutor recorreu-se a bibliotecas de efeitos sonoros que podem ser encontrados na internet (FREESOUND, 2022). Essas bibliotecas disponibilizam arquivos de sons de efeitos sonoros de diversos tipos em formato MP3, e que podem ser usados gratuitamente sob a licença "CC0 1.0 *Universal (CC0 1.0) Public Domain Dedication*" ou outro tipo de licença com permissão de uso.

Para captar o som do contador Geiger e do ambiente da piscina do reator foi utilizado um celular iPhone 6 para gravar o som diretamente no local. Para o som da porta de correr, foi utilizado o

mesmo celular, porém, o som captado foi produzido movimentando-se uma janela de correr. Todos os sons descritos anteriormente foram editados com o *software* Audacity, que foi utilizado para normalizar o volume e cortar os sons no tamanho necessário para o uso no formato MP3.

Os diálogos foram sintetizados pelo gerador de voz neural Speech Studio e salvos em formato WAV. Posteriormente, esses arquivos de voz foram editados com o *software* Audacity, onde adicionou-se um efeito "*reverb*", que simula a reverberação do som de uma sala pequena, e "*normalize*", que padroniza o volume do som, para que todas as falas possuam o mesmo nível de volume

3.3.5 Etapa 5 – *Game Test*

Esta etapa teve como objetivo garantir a qualidade e o funcionamento do produto gerado. Diversos testes foram realizados durante o desenvolvimento, sempre com o foco em detecção de *bugs*, correção de erros de implementação e oportunidade de melhoria.

Durante os testes, observou-se que o aplicativo para celular ainda estava funcionando com lentidão devido à baixa capacidade de processamento dos aparelhos, por isso, como proposta para trabalhos futuros, é sugerida uma otimização em diversos itens, como modelos, arquivos de mídia e luzes, com a finalidade de diminuir a necessidade de processamento.

Embora a visita ainda não estivesse com todas as fases totalmente desenvolvidas, foi possível realizar um teste com um grupo de alunos do curso de Reatores de Potência do IPEN, no terceiro trimestre de 2021. Neste curso, os alunos não puderam visitar o reator presencialmente devido à pandemia da COVID-19, então, foi a visita virtual foi sugerida. A visita foi executada em um monitor de computador por meio de uma videoconferência pelo Zoom. Assim, nesta ocasião, conseguiu-se uma avaliação preliminar da aceitação do produto pelo público-alvo, onde todos os participantes tiveram uma ótima aceitação da experiência.

4 RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados obtidos do desenvolvimento do aplicativo.

Os ambientes das instalações do IEA-R1, que fazem parte do percurso da visita no IPEN, foram modelados com grande fidelidade às instalações originais, a fim de proporcionar aos usuários uma imersão a mais próxima da realidade possível. O alto nível de precisão, proporção, detalhamento e texturas pode ser observado nas imagens dos ambientes modelados para a visita virtual por meio das Figura 16 e 17.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

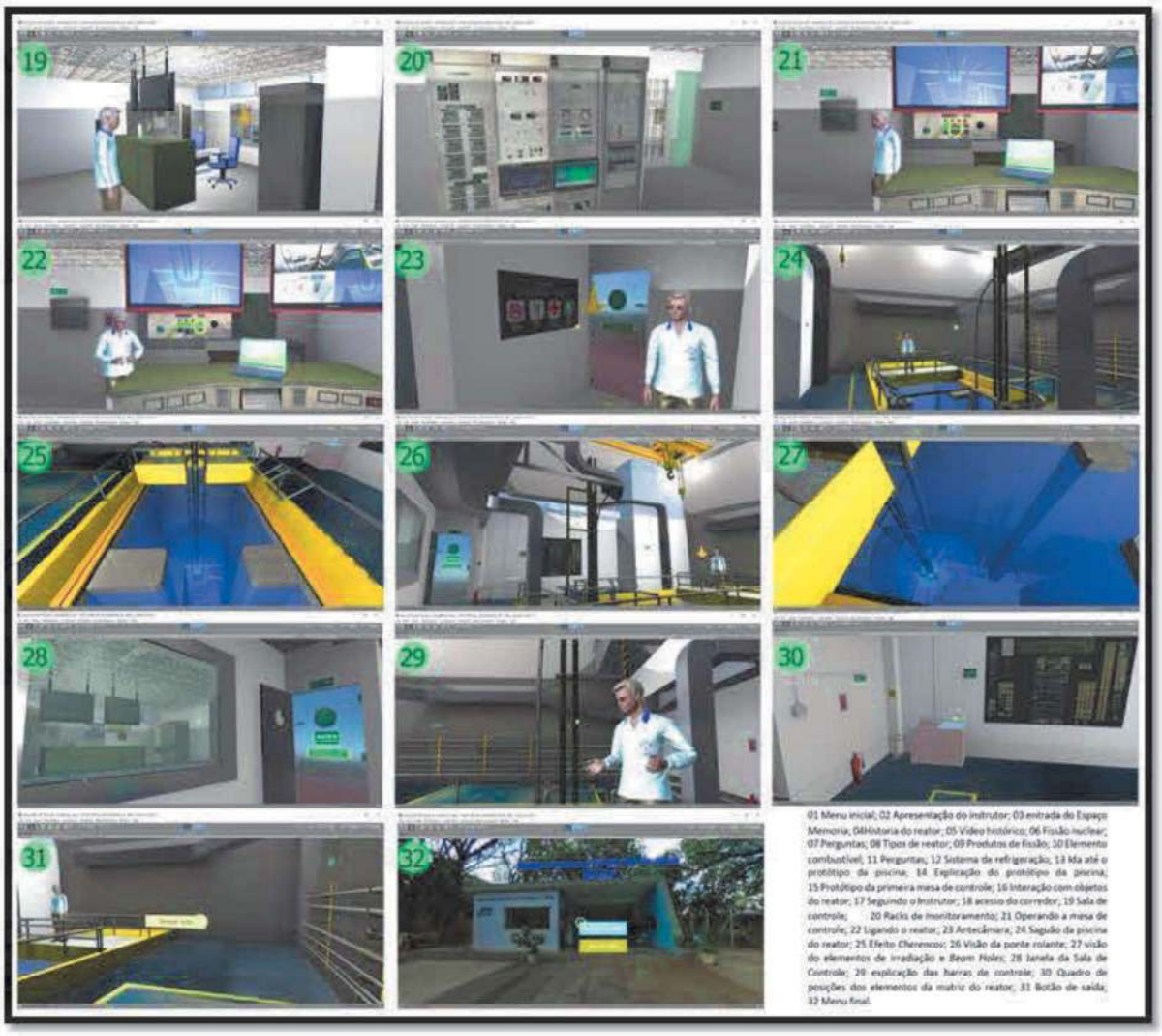


01 (Cena 1) Menu inicial; 02 (início da Cena 3) Apresentação do instrutor; 03 Entrada do Espaço Memória; 04 História do reator; 05 Vídeo histórico; 06 Fissão nuclear; 07 Perguntas; 08 Tipos de reator; 09 Produtos de fissão 10 Elemento combustível; 11 Perguntas; 12 Sistema de refrigeração; 13 Ida até o protótipo da piscina; 14 Explicação do protótipo da piscina; 15 Protótipo da primeira mesa de controle; 16 Interação com objetos do reator; 17 Seguindo o Instrutor; 18 Acesso do corredor;

Figura 16: Sequência de telas da visita virtual. Fonte: Autores, 2022



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928



19 Sala de controle; 20 Racks de monitoramento; 21 Operando a mesa de controle; 22 Ligando o reator; 23 Antecâmara; 24 Saguão da piscina do reator; 25 Efeito Cherenkov; 26 Visão da ponte rolante; 27 Visão dos elementos de irradiação e beam holes; 28 Janela da Sala de Controle; 29 Explicação das barras de controle; 30 Quadro de posições dos elementos da matriz do reator; 31 Botão de saída; 32 Menu final.

Figura 17: Sequência de telas da visita virtual, continuação da Figura 16. Fonte: Autores, 2022

O resultado foi a obtenção de uma ferramenta virtual didática para o ensino a distância, na área da tecnologia nuclear, que pode ser amplamente utilizada por qualquer pessoa de posse de um *smartphone* com acelerômetro, giroscópio e sistema Android, e um óculos de papelão ou plástico tipo *Google Cardboard*. Esses equipamentos são de fácil acesso, sendo também possível realizar a visita virtual utilizando um computador com sistema Windows.

O *game* em funcionamento pode ser visto na filmagem disponibilizada no endereço: https://www.youtube.com/watch?v=lrNRbMC1ol4.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

É possível baixar o aplicativo IEAR1 VR alfa10.apk para sistema Android e instalá-lo em um *smartphone* com giroscópio e acelerômetro, para realizar a visita virtual, no *link*: https://drive.google.com/file/d/1OWYOc22KpUCAm3UYHBUsaAnEpQkfPARb/view.

5 CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi atingido, ou seja, foi desenvolvida uma ferramenta amigável e educativa de navegação, por meio de realidade virtual, que permitiu realizar uma visita virtual e interativa ao reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do IPEN.

Embora o aplicativo para celular tenha sido desenvolvido neste trabalho, no entanto, a capacidade de processamento dos celulares ainda impede que o aplicativo seja executado satisfatoriamente. Um desafio enfrentado e que se pretende resolver em trabalhos futuros é deixar o aplicativo mais leve para que se torne viável a sua utilização na plataforma de celular.

Este trabalho também se propôs a abordar todas as etapas de um desenvolvimento de *game*, desde o planejamento, o projeto, a pesquisa, o enredo, a criação do conteúdo, suas documentações para o desenvolvimento, obtenção dos recursos tecnológicos, produção de *design*, programação, produção de áudio, até a criação de uma versão preliminar (alfa), jogável, para testagem. Todas essas etapas propostas foram alcançadas com êxito.

É importante destacar que a produção de um *game* envolve diversos profissionais de áreas diferentes como escritores, *designers*, programadores, artistas, sonoplastas, produtores e seus assistentes, entre outros, e que os custos envolvidos com o pagamento desses profissionais e *softwares* necessários são altíssimos, porém, o desafio de desenvolver a visita virtual ao reator com apenas o trabalho de uma pessoa e utilizando recursos de *softwares* gratuitos, foi realizado com sucesso.

Os benefícios deste trabalho poderão ser usufruídos por educadores e alunos, de diversas partes do Brasil e do mundo, que não conseguem ter acesso às instalações do reator IEA-R1, devido à distância, à pandemia ou quaisquer outros motivos. Este trabalho também poderá ser utilizado como referência e material orientativo, para se construir um aplicativo educativo semelhante e de baixo custo.

REFERÊNCIAS

ADAMS, L. **Visualização e realidade virtual**. São Paulo: Makron Books, 1994. p. 255-259.

ARAÚJO, R. B. **Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual**. 1996. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

AUDACITY. **Download Audacity**. 2022. Disponível em: https://www.audacityteam.org/. Acesso em: 10 jan. 2025

AUTODESK INC. **3ds Max Free** Trial. 2022. Disponível em: https://www.autodesk.com/ . Acesso em: 10 jun. 2025.

AZURE. **Crie gratuitamente na nuvem com o Azure for Students**. 2022. Disponível em: https://azure.microsoft.com/ . Acesso em: 10 jan. 2026.

BEGAULT, D. R. **3-D sound for virtual reality and multimedia**. Cambridge, MA: Academic Press, 1994.

BIATY, F. P.; JULIÃO, A. P.; PALADINO, P. A.; SABUNDJIAN, G. Perspectivas sobre a construção de reatores nucleares no Brasil. **Revista Científica Acertte**, v. 5, n. 11, p. e511285, 2025. Disponível em: https://acertte.org/acertte/article/view/285 . Acesso em: 24 fev. 2026.

CNOP, A. C. **Simulação virtual de visita técnica no reator Argonauta para fins de divulgação científica.** 2016. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, 2016.

FREESOUND. **Footsteps_Squeaky Sneakers on marble tile.wav.** 2022. Disponível em: https://freesound.org/ . Acesso em: 10 jan. 2025.

GITHUB. **GVR SDK for Unity v1.200.1**. 2022. Disponível em: https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases. Acesso em: 24 fev. 2026.

GOOGLE INC. **Google Cardboard**. 2022. Disponível em: https://arvr.google.com/cardboard/. Acesso em: 12 dez. 2025.

GRADECKI, J. **The virtual reality construction kit.** New York: John Wiley & Sons, 1995. 340 p.

GUDILIN, V.; SLABKIY, L. **Ракетно-космические системы (История. Развитие. Перспективы)**. 2017. Disponível em: <https://www.revolvy.com/main/index.php?s=Sputnik%201>. Acesso em: 10 out. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Reator IEA-R1.** Disponível em: https://www.gov.br/ipen/pt-br/centros-de-pesquisa/centro-dos-reatores-de-pesquisa . Acesso em: 20 out. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Áreas de Pesquisa**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ipen/pt-br/pesquisa-e-desenvolvimento/areas-de-pesquisa. Acesso em: 20 fev. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Visitas Técnicas**. 2026. Disponível em: https://www.gov.br/ipen/pt-br/assuntos/visitas-tecnicas/copy_of_agende-a-sua-visita . Acesso em: 20 fev. 2026.

JPL-NASA. NASA, **Microsoft collaboration will allow scientists to "work on Mars"**. Jet Propulsion Laboratory. California, 21 jan. 2015. Disponível em: https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4451 . Acesso em: 20 jan. 2026.

KALAWSKY, R. S. **The science of virtual reality and virtual environments**. Wokingham: Addison-Wesley, 1993. 405 p.

KIRNER, C.; TORI, R. **Realidade virtual: conceitos e tendências**. São Paulo: SBC, 2004.

KRITA. **Download Krita 5.0.2.** 2022. Disponível em: https://krita.org/. Acesso em: 24 fev. 2022.

LATTA, J. N.; OBERG, D. J. A conceptual virtual reality model. **IEEE Computer Graphics & Applications**, 1994. p. 23-29.

LESTON, J. Virtual reality: the IT perspective. **The Computer Bulletin**, v. 38, n. 3, p. 12-13, 1996.

MIXAMO. Mixamo animations. 2022. Disponível em: https://www.mixamo.com/ . Acesso em: 10 jan. 2022.

MORIE, J. F. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment. **Computer Graphics**, v. 28, n. 2, p. 135-138, 1994.

PALADINO, P. A.; BIATY, F. P.; JULIÃO, A. P.; SABUNDJIAN, G. PLATAGAM: a videogame structured as a didactical material for divulgation of some of the benefits of the Gamma Radiation produced in the Cobalt-60 Multipurpose Irradiator at IPEN's facilities. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 10, n. 3A, 2022.

PENTEADO, S. O mundo da quinta dimensão. **Informática Exame,** n. 111, p. 55-56, 1995.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality –** through the new looking glass. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

RHEINGOLD, H. **Virtual reality**. New York: Simon & Schuster, 1991.

SILVA, L. G. M. **Visita virtual ao reator nuclear de pesquisa IEA-R1**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) **–** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

STATISTA. **AR & VR – Worldwide**: Revenue. 2024. Disponível em: https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide#revenue . Acesso em: 24 fev. 2026.

STEAM. **Fuse**. 2022. Disponível em: https://store.steampowered.com/ . Acesso em: 12 dez. 2022.

UNITY. **Comece a criar hoje com a versão gratuita do Unity**. 2019. Disponível em: https://unity.com/ . Acesso em: 15 dez. 2024.

VINCE, J. **Essential virtual reality fast**. Berlin: Springer, 1998. 174 p.

WATSON, B.; SPAULDING, V.; RIBARSKY, W. Evaluation of the effects of frame time variation on VR task performance. In: **IEEE Virtual Reality Annual Symposium (VRAIS 97)**. 1997. p. 38-44.