

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS E EXATAS
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÕES E TECNOLOGIAS

David Gabriel Beilfuss Jorge

Recriar um laboratório químico utilizando Realidade Virtual

Uberaba
2025

David Gabriel Beilfuss Jorge

Recriar um laboratório químico utilizando Realidade Virtual

Defesa apresentado ao Programa e Pós-Graduação em Inovações e Tecnologias na área de concentração “Desenvolvimento de Software”, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

Orientador(a): Prof. Dra. Mônica Hitomi Okura.

Coorientadores: Dr. Juliano Toniato e Prof. Dr. Christopher Simmons.

Uberaba

2025

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

J71r	<p>Jorge, David Gabriel Beilfuss Recriar um laboratório químico utilizando Realidade Virtual / David Gabriel Beilfuss Jorge. -- 2025. 124 f. : il.; graf.</p> <p>Dissertação (Mestrado Profissional em Inovações e Tecnologias) -- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2025 Orientadora: Prof. Dra. Mônica Hitomi Okura Coorientador: Dr. Juliano Toniato Coorientador: Prof. Dr. Christopher Simmons</p> <p>1. Realidade virtual. 2. Tecnologia educacional. 3. Ensino auxiliado por computador. 4. Tecnologia da informação. I. Okura, Mônica Hitomi. II. To- niato, Juliano. III. Simmons, Christopher. IV. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. V. Título.</p> <p>CDU 004.946:37</p>
------	--

DAVID GABRIEL BEILFUSS JORGE**RECRIAR UM LABORATÓRIO QUÍMICO UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Profissional em Inovações e Tecnologias da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 15 de dezembro de 2025

Banca Examinadora:

Dra. Mônica Hitomi Okura – Orientadora
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dra. Ana Claudia Granato Malpass
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dr. Jefferson Beethoven Martins
Instituto Federal do Triângulo Mineiro



Documento assinado eletronicamente por **MONICA HITOMI OKURA, Professor do Magistério Superior**, em 15/12/2025, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA CLAUDIA GRANATO MALPASS, Professor do Magistério Superior**, em 15/12/2025, às 15:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jefferson Beethoven Martins, Usuário Externo**, em 15/12/2025, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1625152** e o código CRC **6C703E7E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à minha orientadora e aos meus coorientadores pelo valioso suporte e orientação ao longo desta etapa tão significativa da minha vida.

Expresso minha gratidão à minha família, cujo apoio incondicional foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, manifesto minha sincera gratidão aos meus amigos, pelo companheirismo, incentivo e amizade que tornaram este percurso mais leve e especial.

Também reconheço e agradeço aos funcionários da UFTM pela assistência e pelo apoio prestados durante esta jornada.

RESUMO

Os avanços tecnológicos recentes possibilitaram o uso de dispositivos como óculos de Realidade Virtual (RV), que permitem a imersão em ambientes tridimensionais capazes de simular situações reais com segurança. A RV tem se destacado no contexto educacional por facilitar a visualização de processos complexos e permitir que os usuários interajam com equipamentos e procedimentos sem exposição a riscos. Este estudo teve como objetivo desenvolver um laboratório químico em RV voltado para o ensino, integrando modelagem tridimensional, interatividade e simulação de práticas laboratoriais. A pesquisa também envolveu a adaptação de uma linha virtual de processamento de alimentos, originalmente criada na Universidade da Califórnia em Davis, para o contexto educacional brasileiro. A eficácia do ambiente foi avaliada por meio de questionários aplicados a estudantes da UFTM. Os resultados demonstraram alta aceitação da tecnologia: 100% dos participantes afirmaram que a RV melhora a compreensão, o ensino remoto e o aprendizado presencial, enquanto mais de 80% indicaram maior interesse em buscar formação adicional quando módulos virtuais estão disponíveis. Relatos qualitativos destacaram ganho de motivação, aumento da clareza conceitual e maior engajamento, apesar de pequenos desconfortos relatados por alguns usuários. Conclui que a RV é uma ferramenta eficaz para complementar o ensino tradicional, oferecendo benefícios pedagógicos, logísticos e de segurança. Os resultados reforçam seu potencial para ampliar a compreensão de conteúdos técnicos e proporcionar experiências práticas inviáveis em ambientes reais.

Palavras-chave: Realidade virtual na educação, Tecnologia educacional, Tecnologia da informação, Ensino auxiliado por computador.

ABSTRACT

Recent technological advancements have enabled the use of devices such as Virtual Reality (VR) headsets, which allow immersion in three-dimensional environments capable of safely simulating real-world situations. VR has become prominent in the educational context for facilitating the visualization of complex processes and allowing users to interact with equipment and procedures without exposure to risks. This study aimed to develop a VR-based chemical laboratory for teaching, integrating three-dimensional modeling, interactivity, and simulation of laboratory practices. The research also involved adapting a virtual food processing line, originally created at the University of California, Davis, to the Brazilian educational context. The effectiveness of the environment was evaluated through questionnaires administered to UFTM students. The results demonstrated high acceptance of the technology: 100% of participants stated that VR improves comprehension, remote teaching, and in-person learning, while more than 80% indicated greater interest in seeking additional training when virtual modules are available. Qualitative reports highlighted increased motivation, greater conceptual clarity, and increased engagement, despite minor discomforts reported by some users. It concludes that VR is an effective tool to complement traditional teaching, offering pedagogical, logistical, and safety benefits. The results reinforce its potential to broaden the understanding of technical content and provide practical experiences that are not feasible in real-world environments.

Keywords: virtual reality; laboratory; software; 3d modeling; chemical equipment.

Lista de figuras

Figura 1 – Conceito de realidade em sequência.....	1
Figura 2 – Ivan Sutherland usando o Ultimate Display.....	2
Figura 3 – Esquema do funcionamento do Videoplace.....	3
Figura 4 - Um capacete de piloto para o simulador de sistemas aerotransportados visualmente acoplados (VCASS) é usado por um engenheiro na cabine do VCASS.....	4
Figura 5 – Virtual Boy com controle.....	5
Figura 6 – Google Cardboard com um Iphone 6s na fenda do visor.....	5
Figura 7 – Primeiro modelo do Playstation VR.....	6
Figura 8 – Execução do programa Virtual Substation.....	8
Figura 9 - Captura da tela do software MedChem VR no modo "Faça um Quiz".....	13
Figura 10 – Criando uma molécula no VRChem.....	14
Figura 11 – Esquema básico de funcionamento do A-Frame.....	15
Figura 12 – DOM usado para acessar objetos em páginas da web com, por exemplo, Javascript.....	19
Figura 13 – Modelo teórico das relações entre imersão em RV, experiência de fluxo e benefícios cognitivos.....	24
Figura 14 – Exemplo de um modelo 3d de um béquero moldado dentro do Blender.....	25
Figura 15 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 1996.....	26
Figura 16 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 2007.....	27
Figura 17 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 2020.....	27
Figura 18 – Modelos presentes do site Sketchfab.....	28
Figura 19 – Informações básicas do modelo “Chemistry Glassware”.....	31
Figura 20 – Informações adicionais do modelo “Chemistry Glassware”.....	32
Figura 21 – Modelo 3d do ambiente da Linha de Processamento de Leite.....	33
Figura 22 – Modelo 3d do encanamento da Linha de Processamento de Leite.....	34
Figura 23 – Modelo 3d das descrições dos equipamentos e líquidos.....	34
Figura 24 – Modelo 3d do chão do ambiente da Linha de Processamento de Leite.....	35
Figura 25 – Modelo 3d completo da Linha de Processamento de Leite.....	35
Figura 26 – Reajuste das telas do programa Linha de Processamento de Leite.....	36
Figura 27 – Programa sem a implementação da tela de carregamento.....	37
Figura 28 – Programa com a tela de carregamento.....	38
Figura 29 – Posição dos sons do ambiente.....	39

Figura 30 – Esquema do volume dos sons.....	39
Figura 31 – Código do som ambiente.....	40
Figura 32 – Programa de Linha de Processamento de Leite versão para celulares.....	42
Figura 33 – Mostrando o funcionamento do programa dentro do celular.....	43
Figura 34 – Mostrando a navegação do programa dentro do celular.....	43
Figura 35 – Código do funcionamento dos botões da versão de Linha de Processamento para celulares.....	44
Figura 36 – Código do funcionamento dos teletransportes da versão de Linha de Processamento para celulares.....	45
Figura 37 – Fluxograma sobre a reestruturação do projeto do professor Christopher Simmons.....	48
Figura 38 – Exemplo de Jogo Point and Click: The Secret of Monkey Island (1990).....	49
Figura 39 – Exemplo de Jogo Point and Click: Day of the tentacle (1993).....	50
Figura 40 – Objetos do programa Point&Click.....	50
Figura 41 – Sistema de correto e errado do Point&Click.....	51
Figura 42 – Mostrando o exterior do Point&Click.....	52
Figura 43 – Versão final do Point&Click.....	53
Figura 44 – Site com o custo de um béquer.....	54
Figura 45 – Site com o custo de uma mini centrífuga.....	55
Figura 46 – Acidente laboratorial na Universidade do Texas.....	56
Figura 47 – Experiência da oxidação da dipirona.....	57
Figura 48 – Mistura de Dipirona sólida com água.....	58
Figura 49 – Mistura de Dipirona sólida com água e hipoclorito de sódio.....	59
Figura 50 – Mistura de Monometilaminopirina e hipoclorito de sódio.....	60
Figura 51 – Desproporcionamento do Dicátion.....	61
Figura 52 – Esquema final da oxidação da dipirona.....	61
Figura 53 – Modelo 3d do laboratório.....	63
Figura 54 – Mostrando o funcionamento do modificador Decimate do Blender.....	64
Figura 55 – Modelo 3d da molécula Metamizole.....	65
Figura 56 – Modelo 3d da molécula Metamizole sendo editado no Avogrado.....	65
Figura 57 – Funcionamento da ferramenta A-Frame Super Hands Component.....	66
Figura 58 – Interação com objetos 3d usando Super Hands.....	67
Figura 59 – Código do som ambiente.....	68
Figura 60 – Código das interações do VR-Lab.....	69
Figura 61 – Esquema de como a reação é feita dentro do VR-Lab.....	71

Figura 62 – Código da mistura das reações da oxidação da dipirona.....	72
Figura 63 – Mostrando as mudanças de cada etapa da oxidação da dipirona.....	74
Figura 64 – Código da troca da cor dos líquidos e do modelo 3d das moléculas.....	76
Figura 65 – Mostrando as paredes de contenção visíveis e invisíveis.....	78
Figura 66 – Tabela Periódica no VR-Lab.....	79
Figura 67 – Béqueres no VR-Lab.....	79
Figura 68 – Plataformas para criar a reação química no VR-Lab.....	80
Figura 69 – Notebook mostrando a ressonância eletrônica do benzeno no VR-Lab.....	80
Figura 70 – Explicação da oxidação da dipirona no VR-Lab.....	81
Figura 71 – Mostrando todo o VR-Lab.....	82
Figura 72 – Esquema de funcionamento de uma linha de produção de leite.....	85
Figura 73 – Modelo 3D de uma fábrica de leite produzida pela Shanghai Beyond Machinery..	86
Figura 74 – Imagens do Interior de uma linha de produção de Leite.....	87
Figura 75 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 1ª questão.....	89
Figura 76 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 2ª questão.....	90
Figura 77 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 3ª questão.....	91
Figura 78 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 4ª questão.....	92
Figura 79 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 5ª questão.....	93
Figura 80 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 6ª questão.....	94
Figura 81 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 7ª questão.....	95
Figura 82 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 8ª questão.....	96
Figura 83 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 9ª questão.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Orçamento dos itens e serviços.....	83
Tabela 2 – Quantidade de alunos que participaram do experimento.....	84

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVOS.....	10
2.1. Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.QUESTÕES DE PESQUISA	18
5.METODOLOGIA.....	20
6.DESENVOLVIMENTO.....	22
6.1 Fundamento teórico	22
6.2 Estudo da Modelagem 3d	26
6.3 Reestruturação do programa de Linha de Processamento de Leite	34
6.4 Desenvolvimento do programa Point&Click	50
6.5 Desenvolvimento do programa VR-Lab	55
7.ORÇAMENTOS.....	84
8.RESULTADOS OBTIDOS	85
9.CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS.....	105
GLOSSÁRIO	113

1. INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual (RV) tem se consolidado como umas das mais promissoras tecnologias, podendo ser aplicado em diversas áreas, como entretenimento, educação, medicina, arquitetura e treinamento industrial. De acordo com Milgram e Kishimono (1994) a definição de RV é uma visão inteiramente gerada por computador de um mundo em 3D no qual tudo no horizonte é puramente virtual. Portanto, tudo o que o usuário vê é sintetizado e não real, conforme o esquema da realidade em sequência na figura 1.

Outro ponto importante é não se confundir com Realidade Aumentada (RA), essa tecnologia utiliza a simulação e mundos sintetizados e os combina com objetos e interações do mundo real. Ela permite que o usuário veja seus arredores do mundo real enquanto coloca imagens 2D/3D dentro dele (Halabi *et al.*, 2020).

Figura 1 – Conceito de realidade em sequência



Fonte: Adaptado de Milgram e Kishino (1994)

Um dos pioneiros na concepção da tecnologia de óculos de RV foi Ivan E. Sutherland em 1965 com o conceito de *Ultimate Display*, um dispositivo como um capacete no qual os usuários poderiam interagir com objetos virtuais, além de utilizar todos os sentidos humanos como visão, audição, tato, e até mesmo olfato e paladar (Sutherland, 1964), como pode ser observado na figura 2.

Figura 2 – Ivan Sutherland usando o *Ultimate Display*



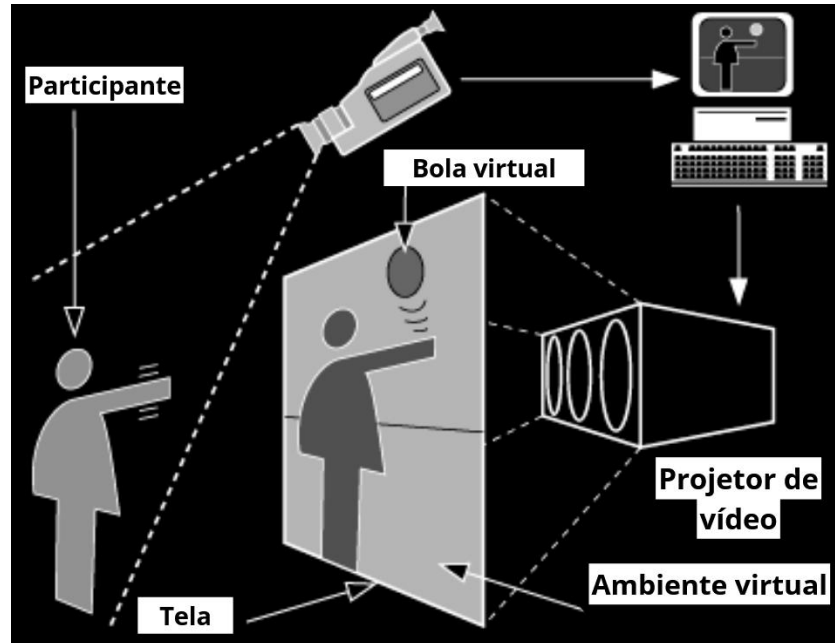
Fonte: Barnard (2024).

Em 1970, o artista e pesquisador Myron Krueger desenvolveu o Videoplace, um dos primeiros sistemas a explorar a interação entre humanos e computadores em ambientes virtuais. O sistema consistia em duas salas, que podiam estar localizadas no mesmo lugar. Ao entrar na sala, o participante via sua própria imagem projetada em uma tela à sua frente, juntamente com a projeção de qualquer outra pessoa presente na segunda sala. Ambas as partes compartilhavam a mesma imagem em tempo real, criando uma experiência de interação virtual colaborativa.

De acordo com o esquema apresentado na figura 3, os participantes podiam mover suas imagens pela tela simplesmente movimentando-se no espaço físico e interagiam tanto com a imagem do outro participante quanto com elementos virtuais. Além disso, as projeções podiam ser manipuladas de diversas formas, como redimensionamento, rotação e alteração de cor, ampliando as possibilidades de interação. Objetos completamente virtuais também eram integrados ao ambiente, permitindo interações imersivas e inovadoras para a

época (Krueger, 1975).

Figura 3 – Esquema do funcionamento do Videoplace



Fonte: Adaptado de Krueger (1975).

Além da arte, a RV também foi usada na simulação de combates aéreos como é o caso do VCASS (*Visually-Coupled Airborne Systems Simulator*) um sistema pioneiro desenvolvido entre os anos de 1960 e 1985 pela McDonnell Aircraft Corporation para treinar pilotos em simulações de combate aéreo, como pode ser visto na figura 4. O objetivo principal do VCASS era integrar a visão do piloto com os controles da aeronave em um ambiente virtual, proporcionando uma experiência imersiva e realista de treinamento. Utilizava o modelo HMD (*head-mounted display*), permitindo que o piloto visualizasse um ambiente virtual tridimensional. O sistema era capaz de ajustar a perspectiva do ambiente de acordo com o movimento da cabeça do piloto, criando uma sensação de imersão e conexão direta entre os movimentos do usuário e a simulação (Dean, 1977).

Figura 4 - Um capacete de piloto para o simulador de sistemas aerotransportados visualmente acoplados (VCASS) é usado por um engenheiro na cabine do VCASS



Fonte: American Forces Information Service (1994)

Um dos marcos no desenvolvimento de experiências imersiva nos videogames foi o Virtual Boy, vide figura 5, desenvolvido pela Nintendo em 1995. Foi projetado para oferecer uma experiência de jogo em 3D estereoscópico, o console utilizava um visor monocromático vermelho e preto, no qual os jogadores visualizavam imagens em profundidade simulada por meio de um par de lentes. Apesar de sua promessa inovadora, o Virtual Boy enfrentou vários desafios técnicos e comerciais que contribuíram para sua rápida descontinuação (Curtiss, 1995). Entre os problemas destacados, estavam o desconforto causado pelo design físico do console, que exigia que os jogadores mantivessem a cabeça em uma posição fixa para visualizar a tela. Além disso, as limitações tecnológicas da época resultaram em gráficos pouco atraentes, com uma paleta de cores limitada ao vermelho e preto, o que prejudicava a experiência visual. Problemas de ergonomia e relatos de fadiga ocular também afetaram sua recepção (Edwards; Zagal, 2024).

Figura 5 – Virtual Boy com controle



Fonte: Evan-Amos (2014).

Entretanto essa tecnologia começou a ganhar mais destaque em 2016 com a primeira geração de óculos de RV desenvolvido pela Oculus Rift (Moynihan, 2015). A primeira percepção do público não foi muito boa com essa tecnologia, por ser muito caro, o campo de visão era estreito e seu design não era confortável. Na mesma época, a Google lançou o *Google Cardboard*, vide figura 6, um óculos de RV feito de papelão que utiliza um celular como tela, esse projeto chamou a atenção de vários usuários vendendo mais de 80 milhões de unidades (Korolov, 2016).

Figura 6 – Google Cardboard com um Iphone 6s na fenda do visor



Fonte: Evan-Amos (2015).

O ano de 2019 destacou-se como um marco significativo no desenvolvimento e comercialização de óculos de RV, reforçando as projeções de um futuro promissor para

essa tecnologia. O lançamento do Oculus Quest, primeiro dispositivo de RV da Meta, representou um avanço notável por sua capacidade de operar sem a necessidade de um computador ou console, embora ainda mantenha a opção de conexão via cabo para funcionalidades adicionais, ampliando o acesso e a conveniência do uso da RV. Da mesma forma, a Sony consolidou sua presença no mercado com o *PlayStation VR*, vide figura 7, reforçando a integração de dispositivos de RV com o mercado de consoles de videogames. O impacto positivo desses lançamentos refletiu-se nas altas vendas registradas em 2019, consolidando o período como um ano decisivo para a expansão do setor de RV (Rogers, 2019).

Dessa forma, as empresas do segmento de RV passaram a direcionar seus produtos ao consumidor geral, lançando modelos mais acessíveis, com custos reduzidos e menores requisitos de espaço em comparação às gerações anteriores. Essa acessibilidade ampliada abriu novas possibilidades para o uso da RV, permitindo sua aplicação na resolução de desafios do cotidiano, ao mesmo tempo em que potencializa resultados e reduz o tempo necessário para o desenvolvimento de soluções inovadoras (Coburn; Freeman; Salmon, 2017).

Figura 7 – Primeiro modelo do Playstation VR



Fonte: Evan-Amos (2017).

Uma das tecnologias usadas no desenvolvimento de programas de RV é o A-Frame, um *framework* criado pelo Mozilla em 2015, que tinha como principal objetivo facilitar o

acesso a essa tecnologia por meio de navegadores de internet e também por todos os tipos de equipamentos de RV. Essa ferramenta permite ao usuário acessar uma aplicação tanto pelo computador, quanto pelo celular ou por outros equipamentos de RV, como Meta Quest, Rift ou HTC Vive (Azevedo *et al.*, 2020).

Outra ferramenta utilizada para o desenvolvimento de ambientes virtuais é o Unreal Engine, uma plataforma que tem exercido influência na criação de experiências imersivas e narrativas interativas. De acordo com o estudo de Oleksandra Sobchyshak, Santiago Berrezueta-Guzman e Stefan Wagner, 2025, o Unreal Engine destaca-se por suas funcionalidades avançadas, que permitem a construção de ambientes realistas, integrando de forma eficiente elementos visuais, sonoros e interativos. O artigo também ressalta a versatilidade do Unreal Engine, que se estende ao uso de geração procedural de conteúdo, fluxos de trabalho baseados em inteligência artificial e simulações complexas.

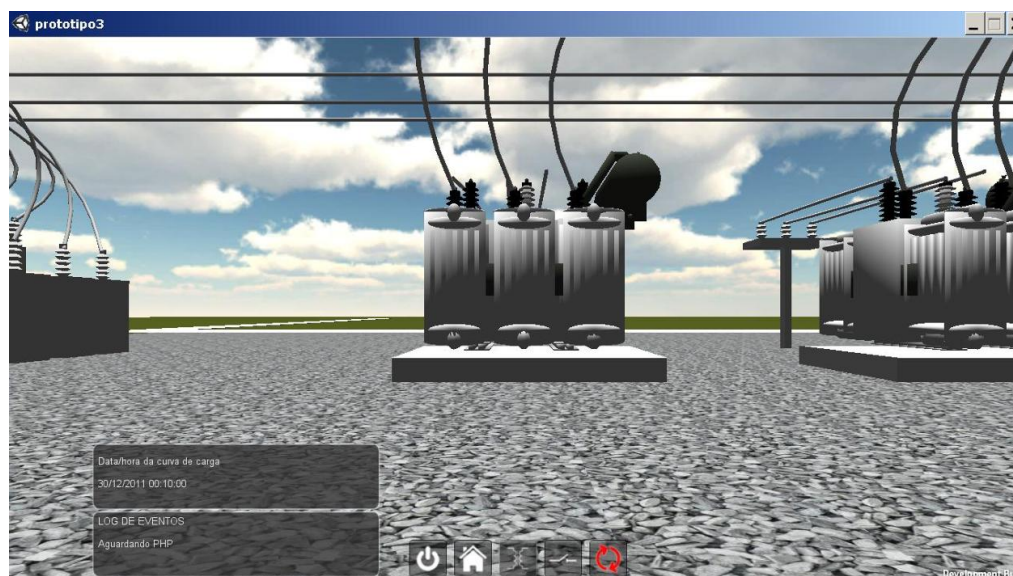
A RV tem emergido como uma ferramenta versátil, com amplo potencial de aplicação em diversas áreas científicas, incluindo a Química Computacional. Esse campo, que combina a química teórica com a programação computacional, visa o desenvolvimento de métodos eficientes para simular, calcular e analisar as propriedades de moléculas e sólidos (Jumbri; Ishak, 2022). O software VRChem tem se destacado por integrar à RV com a Química Computacional, permitindo a criação e edição de moléculas em um ambiente virtual tridimensional (Pietikäinen, 2018). Essa abordagem proporciona aos pesquisadores uma interação mais intuitiva com estruturas moleculares, facilitando a visualização e a manipulação em tempo real, o que pode contribuir para avanços significativos em simulações químicas e no *design* de novos materiais.

Com o avanço dos óculos de RV, diversas empresas começaram a explorar o potencial dessa tecnologia em múltiplas áreas, incluindo a capacitação e treinamento de profissionais da indústria. Um exemplo relevante é a Yeltic, uma empresa que, desde 2009, utiliza programas de RV para treinar trabalhadores da indústria em atividades de alto risco. A empresa aplica essa tecnologia em cenários controlados e imersivos para simular situações reais, como o manuseio de guindastes, permitindo que os trabalhadores adquiram experiência prática sem a exposição aos perigos reais inerentes a essas operações (DPVR, 2021).

No Brasil, o uso da RV tem avançado significativamente nas últimas décadas, iniciativas como as desenvolvidas por empresas do setor elétrico e centros acadêmicos demonstram que a RV se consolidou como uma alternativa viável para simular cenários

complexos sem riscos ao usuário. Um exemplo marcante é o projeto *Virtual Substation*, que demonstra como ambientes virtuais podem replicar com fidelidade operações realizadas em subestações elétricas, permitindo ao usuário manipular transformadores, visualizar sistemas supervisórios e experimentar situações de risco controlado, como pode ser visto na figura 8. Esses ambientes oferecem imersão, navegação e interação, reforçando o potencial da RV como ferramenta estratégica de capacitação técnica (Silva; Cardoso; Júnior, 2012).

Figura 8 – Execução do programa Virtual Substation



Fonte: Silva, Cardoso e Júnior (2012).

No caso de subestações elétricas, o uso de simuladores como o *Virtual Substation* permite não apenas treinar procedimentos operacionais, mas também registrar e analisar o desempenho do usuário, contribuindo para a formação de profissionais altamente qualificados em um setor que exige precisão e tomada de decisão rápida (Silva; Cardoso; Júnior, 2012).

Os laboratórios químicos estão entre os ambientes de trabalho com maior risco de acidentes, especialmente em casos de falta de treinamento adequado. Um exemplo emblemático ocorreu em 2008 na Universidade da Califórnia, Los Angeles (UCLA), envolvendo a pesquisadora assistente Sheri Sangji. Durante o manuseio de éter de tert-butilítio, uma substância altamente inflamável e pirofórica, Sangji não havia recebido treinamento adequado para lidar com tais compostos. O incidente aconteceu quando uma quantidade excessiva da substância vazou e entrou em contato com o ar, resultando em um

incêndio imediato. A falta de treinamento e o uso inadequado de equipamentos de proteção individual (EPIs) contribuíram para o trágico desfecho, que resultou em queimaduras graves e subsequente falecimento da pesquisadora (Christensen, 2009).

Uma estratégia promissora para mitigar acidentes desse tipo é o uso da RV como ferramenta de treinamento. Com essa nova tecnologia em ascensão é possível simular cenários laboratoriais perigosos, proporcionando aos trabalhadores a oportunidade de praticar procedimentos de segurança e manuseio de substâncias químicas de alto risco em um ambiente seguro e controlado. Essa abordagem tem o potencial de melhorar significativamente o treinamento em segurança, reduzindo a incidência de acidentes e promovendo uma cultura de maior responsabilidade e prevenção em laboratórios químicos.

Atualmente, a tecnologia de RV está em rápida evolução, com diversas áreas sendo exploradas para aprimorar a experiência imersiva. Um desses exemplos foi o estudo realizado por Aakanksha Rana, Cagri Ozcinar e Aljosa Smolic em 2019, esse projeto investiga o uso de Ambisonics, uma técnica avançada para gerar som 3D com alta precisão, essencial para criar uma sensação auditiva realista em RV. O objetivo é combinar pistas visuais e auditivas para aumentar a imersão, permitindo que o áudio se adapte dinamicamente à posição e ao movimento do usuário, promovendo uma experiência sensorial mais envolvente e natural.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a eficiência da aplicação da Realidade Virtual (RV) no contexto educacional, com ênfase em seu impacto dentro da sala de aula e no processo de aprendizagem.

Para isso, o estudo propõe a reestruturação do projeto original do professor Dr. Christopher Simmons, intitulado “Linha de Processamento de Leite”, contemplando sua tradução, adaptação e implementação de melhorias funcionais. Essa etapa servirá como base para a realização de testes experimentais com alunos do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), visando analisar a recepção e a eficácia do uso da RV no ensino.

De forma complementar, foi desenvolvido um ambiente virtual urbano interativo voltado para o aprendizado de vocabulário em língua inglesa, no qual o usuário deve identificar e clicar em objetos específicos — uma abordagem inspirada nos jogos *point and click* da década de 1990.

Por fim, o trabalho inclui o desenvolvimento de um laboratório químico virtual utilizando o framework A-Frame, que permite aos usuários interagir com equipamentos e substâncias químicas em um ambiente seguro e controlado. Essa aplicação busca proporcionar uma experiência prática e imersiva, ao mesmo tempo em que reduz os riscos associados às atividades laboratoriais tradicionais.

2.2. Objetivos Específicos

1. Realizar uma revisão abrangente da literatura sobre as técnicas e aplicações da RV na área laboratorial, analisando artigos científicos relevantes para identificar a estrutura de um laboratório químico e os equipamentos essenciais para sua operação;
2. Estudar o funcionamento de equipamentos laboratoriais e de experimentos químicos básicos, de modo a compreender suas características operacionais e possibilitar uma reprodução virtual precisa e realista;
3. Explorar ferramentas de desenvolvimento de ambientes de RV, como Unity, Unreal Engine e A-Frame, avaliando suas potencialidades, limitações e recursos para a criação de laboratórios virtuais imersivos;

4. Aprender e aplicar técnicas de modelagem 3D, com o objetivo de digitalizar equipamentos laboratoriais — como béqueres e outros utensílios — de forma detalhada, funcional e compatível com o ambiente virtual desenvolvido;
5. Reestruturar o programa “Linha de Processamento de Leite”, desenvolvido pelo professor Dr. Christopher Simmons, realizando sua tradução e implementando novas funcionalidades que aprimorem a interação e a usabilidade do sistema;
6. Aplicar um teste experimental com alunos do curso de Engenharia de Alimentos da UFTM, utilizando o programa reestruturado, a fim de avaliar a recepção e o potencial educacional do uso da RV no ensino;
7. Desenvolver um ambiente virtual urbano interativo voltado para o aprendizado de vocabulário em língua inglesa, no qual o usuário aprende novas palavras por meio da interação direta com objetos do cenário;
8. Criar um laboratório químico básico em RV, incluindo a simulação de um experimento químico voltado ao treinamento e à capacitação em segurança laboratorial;
9. Identificar e analisar os principais desafios e limitações enfrentados durante o desenvolvimento dos ambientes virtuais, considerando aspectos como a complexidade na recriação realista de espaços e a simulação de reações químicas;
10. Propor melhorias e recomendações para otimizar o desempenho, a interação e a experiência do usuário nos ambientes desenvolvidos, buscando aumentar a eficácia do aprendizado e a segurança nas práticas laboratoriais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A RV tem ganhado destaque em diversos campos da educação e treinamento devido à sua capacidade de criar ambientes imersivos que facilitam o aprendizado e a prática de habilidades complexas. Vários estudos reforçam a eficácia da RV em contextos educacionais, argumentando que sua aplicação em diversas áreas não só melhora o entendimento de tópicos profundos, mas também aumenta o engajamento dos alunos (Enoiu; Sabou, 2023).

Por ser uma tecnologia muito nova existem certos benefícios e limitações, embora a tecnologia traga inovações significativas, como a possibilidade de simular cenários de risco sem perigo real, ainda existem desafios relacionados ao alto custo de implementação e à necessidade de treinamento adequado para a operação das plataformas de RV. Além disso, existe a importância de uma integração equilibrada da tecnologia no currículo para evitar que a complexidade técnica se torne uma barreira ao aprendizado (Afonso *et al.*, 2020, p. 52).

Para auxiliar nesses desafios, existem alguns modelos sendo criados, um deles feito por Pantelidis, desenvolvido em 2009, que apresenta um modelo prático para a adoção da RV em programas de ensino e treinamento. Esse modelo fornece diretrizes sobre quando e como implementar a tecnologia de maneira eficaz, enfatizando que a decisão de usar a RV deve considerar fatores como o conteúdo educacional, o público-alvo e os recursos disponíveis. Pantelidis defende que a RV é particularmente valiosa em contextos nos quais a prática real é perigosa ou impossível de ser realizada com segurança.

Diversos estudos têm explorado o uso da RV e de ambientes virtuais na área da química, como o trabalho de Rastogi *et al.* (2024), que apresenta o desenvolvimento de laboratórios virtuais de química voltados ao acesso remoto e à aprendizagem baseada em simulação. A proposta permite que estudantes realizem experimentos virtuais em diferentes áreas científicas e técnicas, promovendo a aprendizagem independente e no próprio ritmo. Esses ambientes são projetados para atender desde alunos de graduação até pesquisadores, integrando recursos como materiais didáticos online, videoaulas, demonstrações animadas e mecanismos de autoavaliação. Os autores destacam que a utilização de simulações interativas contribui para o aumento do engajamento, melhora a compreensão dos processos químicos e reduz riscos associados a experimentos perigosos, além de representar uma alternativa viável diante das limitações de infraestrutura física e custos elevados de laboratórios tradicionais.

Também temos a pesquisa apresentada por Mellyzar *et al.* (2024) investiga o

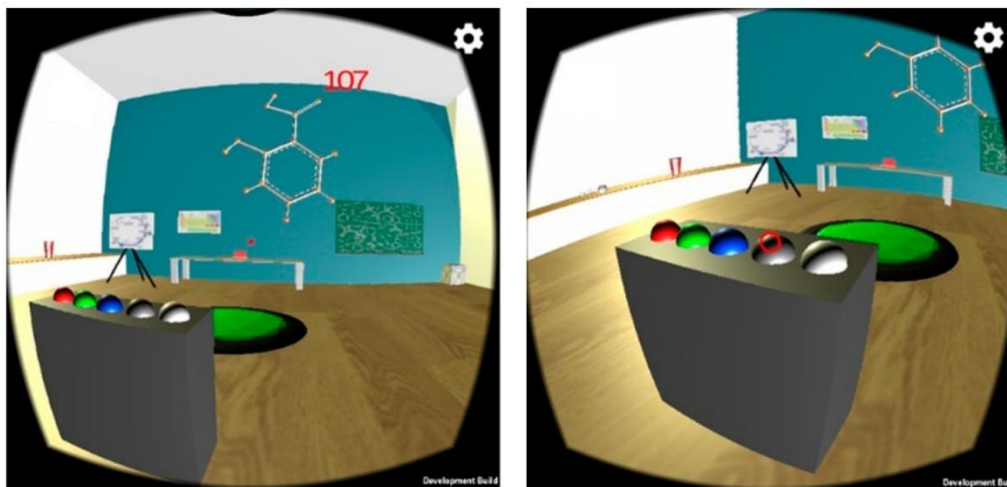
desenvolvimento e a validação de um laboratório virtual de química baseado em Realidade Virtual tridimensional (3D-VR) como mídia educacional. O estudo tem como objetivo principal avaliar a qualidade e a viabilidade desse ambiente virtual para o ensino de química, especialmente como alternativa ou complemento aos laboratórios físicos, que frequentemente apresentam limitações relacionadas a custos, tempo, segurança e disponibilidade de equipamentos. Para isso, os autores adotam o modelo de desenvolvimento “ADDIE”, concentrando-se nas etapas de análise, design e desenvolvimento, com ênfase na validação por especialistas e no teste de viabilidade do produto educacional.

Os resultados indicam que o laboratório virtual desenvolvido obteve avaliações muito positivas nos aspectos audiovisual, engenharia de software e design instrucional, sendo considerado válido e adequado para uso educacional. Segundo os autores, o uso da RV permite que os estudantes tenham uma experiência imersiva, aproximando-se da sensação de estar em um laboratório real, além de favorecer a compreensão de conceitos abstratos e o reconhecimento de equipamentos laboratoriais (Mellyzar *et al.*, 2024).

Por fim temos o estudo de caso sobre o uso de ambientes virtuais na educação química, essa pesquisa investiga a aplicação de laboratórios virtuais como alternativa e complemento aos laboratórios tradicionais. O trabalho analisa diferentes metodologias de implementação de laboratórios virtuais de química, destacando seu potencial para diminuir problemas recorrentes do ensino experimental, como altos custos operacionais, riscos à segurança e acesso limitado à infraestrutura física. Por meio de uma abordagem de métodos mistos, o estudo demonstra que ambientes virtuais permitem aos estudantes visualizar fenômenos químicos abstratos, compreender mecanismos reacionais e desenvolver raciocínio científico de forma segura e repetível. Os resultados indicam que esses laboratórios virtuais promovem níveis de aprendizagem comparáveis ou superiores aos obtidos em laboratórios físicos, além de ampliar o engajamento e a autonomia dos estudantes, reforçando seu papel como ferramenta pedagógica eficaz na formação em química (Kumar, 2025).

Existe alguns exemplos em que a RV é aplicada em ambientes perigosos, como o software “MedChem VR” que explora a aplicação da RV no ensino da química medicinal. A pesquisa demonstra que o uso de jogos educacionais em RV promove um aprendizado mais ativo e participativo, estimulando a retenção do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades práticas em um ambiente de jogo que simula problemas reais da área de medicina, como pode ser visto na figura 9 (Abuhammad *et al.*, 2021).

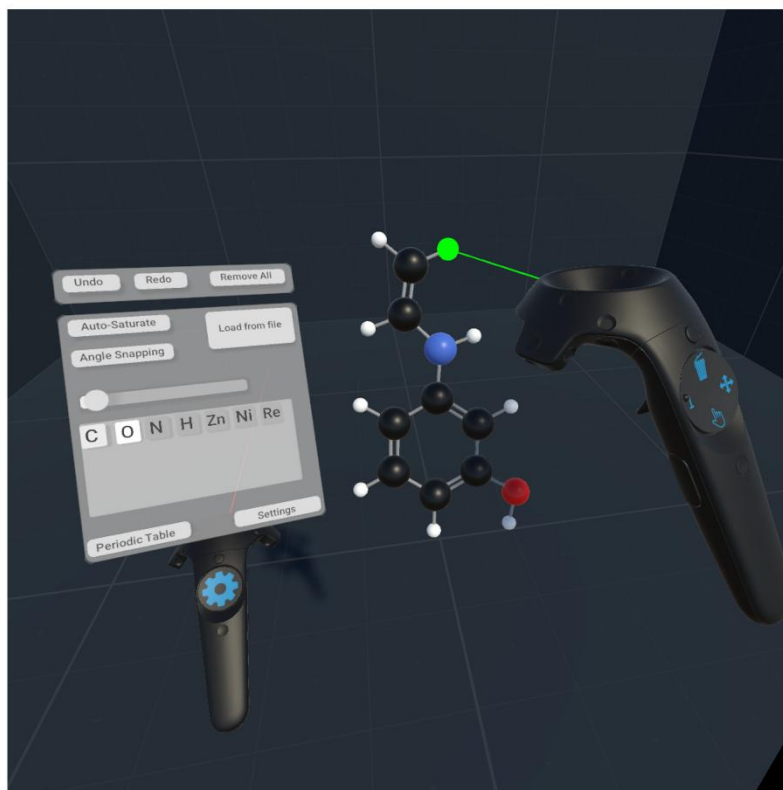
Figura 9 - Captura da tela do software MedChem VR no modo "Faça um Quiz"



Fonte: Adaptado de Abuhammad et al., (2021).

Além da medicina, a RV pode ser aplicada na área de química, como é o caso de Pietikäinen, desenvolvido em 2018, seu estudo "*VRChem: A molecular modeling software for Virtual Reality*", demonstra como a RV pode ser empregada para simulações detalhadas em química, permitindo aos usuários visualizar e interagir com modelos moleculares em um ambiente tridimensional, vide figura 10. Outro projeto que utiliza essa tecnologia é o software "VemClass" um laboratório de química em RV que oferece experiências imersivas que replicam a prática laboratorial, nessa pesquisa foi realizado um levantamento de dados aplicando questionários para estudantes entre 13 e 14 anos, no qual a maioria apontou que o uso da RV tornou as aulas mais envolventes, dessa forma aumentando a motivação para aprender mais (Diana-Cristina Enoiu; Sabou, 2023).

Figura 10 – Criando uma molécula no VRChem



Fonte: Pietikäinen et al. (2021)

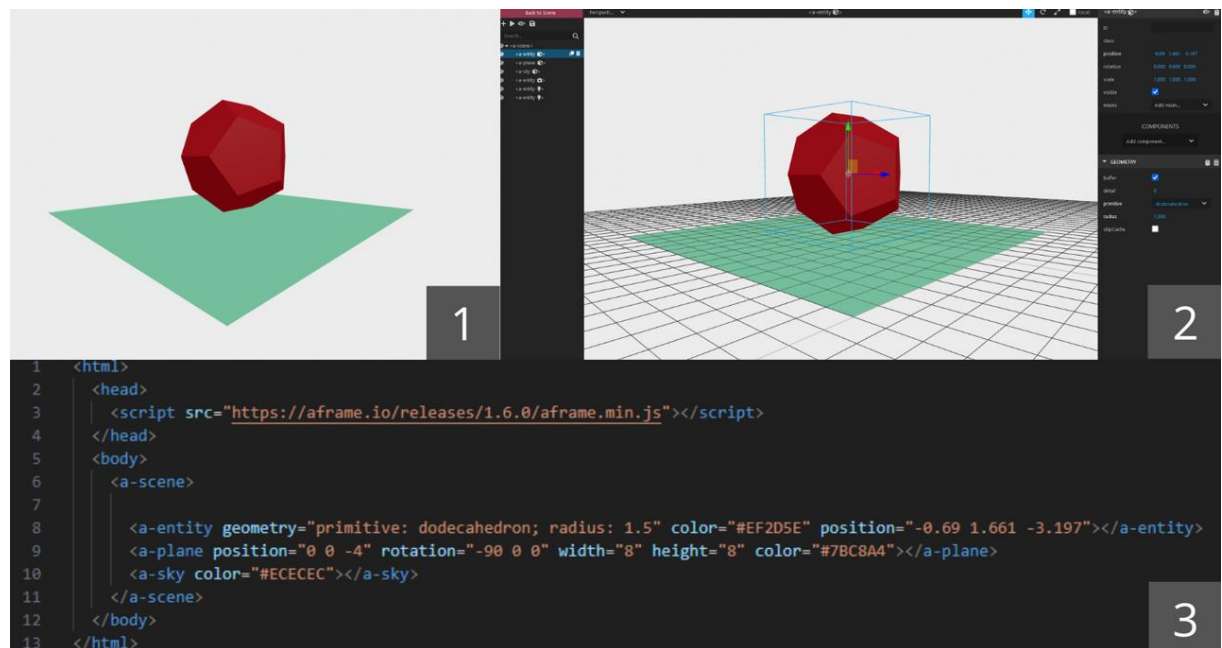
Para criar aplicativos para o óculos de RV é preciso usar alguns recursos únicos, como o caso do software MedChem VR, uma ferramenta de visualização interativa de estruturas químicas de medicamentos, ela foi criada usando *Autodesk Maya 3D*, software usado para modelagem de objetos 3D, por sua vez esses modelos foram inseridos na plataforma *Unity 3D*, um motor gráfico usado para criar as interações com os objetos (Abuhammad *et al.*, 2021).

Outro programa usado para o desenvolvimento de RV é o A-Frame uma ferramenta que possui uma coleção de bibliotecas que auxiliam no desenvolvimento de um projeto (Lencina, 2023), ele trabalha em conjunto com o three.js um programa open-source feito para a linguagem de programação JavaScript, ele permite a programação de ambientes 3D em navegadores *Web* (Cabello, 2010). Essa ferramenta foi utilizada no desenvolvimento do aplicativo *VRIA (Virtual Reality Immersive Analytics)* esse programa permite que pesquisadores e desenvolvedores construam ambientes de visualização de dados em RV acessíveis por navegadores. Ele fornece um conjunto de ferramentas para integrar dados complexos em visualizações interativas, tornando a análise de grandes volumes de dados

mais intuitiva e acessível. Por meio de RV, os usuários podem explorar dados em 3D e em tempo real, promovendo uma compreensão mais profunda e um processo de tomada de decisão mais informado (Butcher; John; Ritsos, 2021).

O A-frame utiliza a tecnologia WebXR API desenvolvida pelo W3C (World Wide Web Consortium) por meio do grupo Immersive Web Working Group, com o objetivo de permitir o acesso à RV e à RA diretamente por meio dos navegadores da web. Ela atua como uma ponte entre as aplicações 3D na web e os dispositivos de XR (sigla para Extended Reality, que engloba VR, AR e MR). Isso possibilita que experiências imersivas sejam executadas sem a necessidade de instalar programas adicionais, bastando um navegador compatível (Barua, 2020).

Figura 11 – Esquema básico de funcionamento do A-Frame



Fonte: Autor, 2024

A figura 11 ilustra três etapas fundamentais no uso do framework A-Frame para criação de cenários em RV. Na primeira etapa, observa-se o resultado final da execução do programa: um dodecaedro vermelho posicionado sobre um plano verde-claro, representando a visualização do ambiente virtual renderizado.

Na segunda etapa, é exibido o modo de edição do A-Frame Inspector, que permite a manipulação direta das entidades do cenário, como a configuração de sua posição, escala, rotação e outras propriedades relevantes. Essa interface gráfica facilita ajustes interativos e

precisos nos elementos do ambiente virtual, contribuindo para maior agilidade no desenvolvimento.

Por fim, a terceira imagem da figura 11 apresenta o código HTML utilizado para construir o cenário virtual. O script utiliza a biblioteca A-Frame, que simplifica a criação de elementos tridimensionais em RV por meio de uma sintaxe declarativa. Nesse exemplo, o código define um dodecaedro como entidade principal, posicionado em um plano e envolto por um céu de cor personalizada, compondo o ambiente virtual.

4. QUESTÕES DE PESQUISA

Com o objetivo de desenvolver um ambiente virtual seguro, interativo e eficaz para o treinamento em laboratórios químicos, este estudo foi guiado por um conjunto de questões de pesquisa formuladas a partir das lacunas identificadas tanto na literatura quanto na prática tradicional de ensino laboratorial. A ausência de acesso frequente a equipamentos reais, os riscos associados ao manuseio de substâncias químicas e a dificuldade de demonstrar reações complexas em tempo real motivaram a criação de um ambiente imersivo que pudesse reproduzir com fidelidade os processos laboratoriais. Assim, as questões a seguir orientaram o desenvolvimento, implementação e avaliação do laboratório virtual ao longo deste trabalho.

Como a RV pode replicar, de maneira fiel e segura, os procedimentos e equipamentos presentes em um laboratório químico real?

No contexto do presente mestrado, a replicação fiel foi alcançada por meio da modelagem tridimensional de béqueres, estruturas moleculares e demais equipamentos laboratoriais, além da implementação de interações precisas utilizando A-Frame e outras ferramentas. A criação de reações químicas simuladas permitiu representar processos que seriam difíceis ou perigosos de observar presencialmente. A combinação de elementos visuais, sonoros e interativos possibilitou uma experiência segura e altamente próxima do ambiente real, eliminando riscos e preservando os conceitos técnicos.

Quais são os impactos do uso de RV no desempenho e na segurança dos técnicos durante o treinamento laboratorial?

Os resultados obtidos com o experimento aplicado aos estudantes mostraram que a RV aumentou significativamente a compreensão dos processos laboratoriais, além de melhorar o engajamento e a motivação. Embora alguns participantes tenham relatado desconfortos leves, como tontura, isso não comprometeu a percepção geral de que a RV é uma ferramenta segura e eficiente para o treinamento. A possibilidade de visualizar reações perigosas sem risco físico contribui diretamente para a segurança, pois permite que o aluno compreenda cada etapa antes de manipulá-la em um laboratório real. O ambiente virtual, portanto, atua como uma etapa preparatória fundamental, reduzindo erros, aumentando a confiança e minimizando acidentes durante práticas reais.

Quais fatores específicos do ambiente virtual (ex.: interatividade, realismo) têm

maior influência na eficácia do treinamento em comparação com métodos tradicionais?

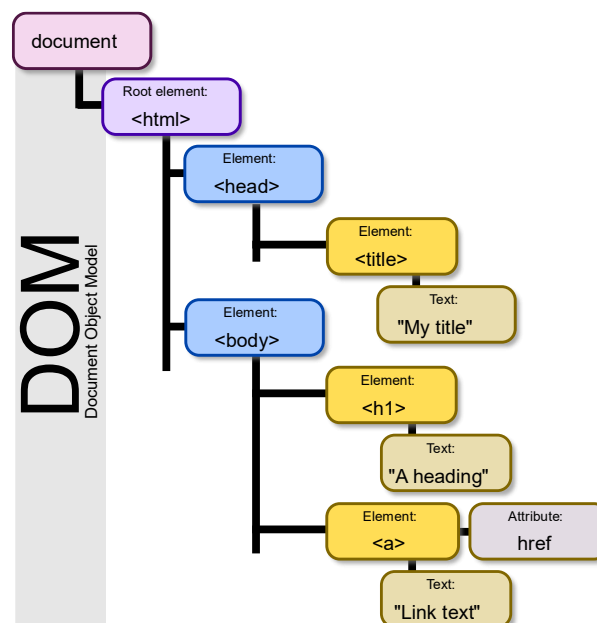
Neste estudo, dois fatores se destacaram: a interatividade e o realismo visual das simulações. A interatividade, como a capacidade de pegar, mover, reagir substâncias e acionar plataformas, proporcionou uma aprendizagem ativa, permitindo que o aluno fosse protagonista do experimento. Já o realismo visual, presente nos modelos 3D dos objetos, auxiliou na compreensão de fenômenos químicos abstratos. A combinação desses elementos tornou a experiência mais envolvente do que uma aula expositiva tradicional, reforçando evidências da literatura de que ambientes imersivos melhoram retenção de conteúdo e interesse. Assim, os fatores interativos e visuais foram decisivos para a eficácia da abordagem adotada neste mestrado.

5. METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido utilizando o *Blender* e o *framework A-Frame*. Essa segunda tecnologia utiliza um conjunto de APIs chamado WebXR, faz com que os desenvolvedores utilizem linguagens da web como JavaScript e HTML (HyperText Markup Language) para criar ambientes tridimensionais interativos que se comunicam diretamente com os controladores, sensores e placas gráficas (GPU) dos dispositivos. Essa integração faz com que experiências imersivas possam ser acessadas em computadores, celulares ou equipamentos de RV, como o Meta Quest 2, de forma fluida e multiplataforma (Barua, 2020).

De acordo com Rakesh Barua, no seu livro “AR and VR Using the WebXr API”, um documento HTML (HyperText Markup Language) é composto por um conjunto de tags semânticas que definem a estrutura e o conteúdo de uma página da web. Cada tag representa um elemento, responsável por identificar seções específicas, como títulos, parágrafos, imagens ou links. Essas tags podem ser aninhadas entre si, formando uma estrutura hierárquica que organiza os elementos de maneira lógica dentro da página. Durante o processo de exibição, o navegador interpreta esse código HTML e o transforma em uma árvore de dados, conhecida como árvore DOM (Document Object Model).

Figura 12 – DOM usado para acessar objetos em páginas da web com, por exemplo, Javascript



Fonte: Birger Eriksson (2012)

Essa árvore representa a arquitetura visual e lógica da página, permitindo que outros recursos — como CSS (Cascading Style Sheets) e JavaScript — modifiquem dinamicamente o conteúdo e a aparência dos elementos, possibilitando assim a criação de interfaces interativas e responsivas.

Para a criação dos modelos 3D, será utilizado o *Blender*, uma ferramenta de código aberto amplamente empregada para modelagem, animação, texturização e rendering de imagens tridimensionais. Reconhecido por sua versatilidade, o *Blender* oferece um conjunto completo de ferramentas que facilitam a criação de modelos detalhados e a animação de objetos em ambientes virtuais. No contexto de desenvolvimento de RV, esse programa é essencial para a criação de objetos que podem ser facilmente integrados a motores de jogos, como a *Unreal Engine*, para construir ambientes interativos e imersivos (Blender Foundation, 2019).

Como parte do processo de desenvolvimento e validação da tecnologia de RV, o presente projeto inclui uma aplicação prática com alunos da UFTM. Foi utilizada uma simulação de um ambiente de industrialização de laticínios criada pelo professor Dr. Christopher Simmons, que desenvolveu o projeto usando a tecnologia *A-Frame*. A simulação foi traduzida para o português e adaptada para uso em sessões de RV, nas quais os alunos da UFTM utilizaram o óculos de RV para explorar o ambiente da fábrica virtual. Ao final de cada sessão, os participantes responderam a um questionário para avaliar suas percepções sobre a experiência e o nível de imersão.

Enquanto essa aplicação é conduzida com os alunos, será realizado o desenvolvimento do ambiente virtual de um laboratório químico, utilizando o *A-Frame*. Esse laboratório permitirá simular práticas e interações com equipamentos e substâncias químicas, oferecendo um ambiente seguro e controlado para o treinamento.

6. DESENVOLVIMENTO

6.1 Fundamento teórico

A primeira etapa do desenvolvimento deste projeto consistiu em compreender os fundamentos e as etapas envolvidas na criação de um software de RV. Para isso, foi utilizado como referência o estudo desenvolvido por Cristóbal Rodolfo Guerra-Tamez, que investigou os efeitos da imersão em ambientes virtuais e demonstrou que essa característica exerce um impacto positivo na experiência do usuário. O autor destaca que fatores como motivação, curiosidade, benefícios cognitivos, pensamento reflexivo e percepção de valor desempenham papéis fundamentais no engajamento e na eficácia de aplicações em RV, reforçando a importância de projetar experiências imersivas centradas no usuário.

A imersão é um dos elementos centrais para a efetividade da experiência em RV. No entanto, essa imersão tende a ser reduzida quando o usuário interage com o ambiente tridimensional por meio de uma estação de trabalho tradicional, que depende de computadores de alto desempenho, teclado e mouse para a manipulação dos objetos virtuais (Haskins et al., 2020).

A chamada imersão espacial refere-se à percepção subjetiva de presença física em um ambiente não físico, sendo um dos principais fatores responsáveis pela sensação de realismo na RV. Essa percepção é obtida por meio da integração de estímulos sensoriais, como imagens tridimensionais, som estéreo e, em alguns casos, vibrações, pressões ou forças simuladas que o usuário percebe ao interagir com objetos virtuais, que juntos criam um ambiente altamente envolvente. Quando ocorre a imersão espacial, o usuário experimenta a sensação de que o mundo virtual é autêntico e coerente, percebendo-se presente e ativo dentro dele — o que reforça a noção de que “estar lá” é o principal indicador de sucesso em uma experiência de RV (Haskins et al., 2020).

No estudo desenvolvido por Guerra-Tamez, é introduzido o conceito de “experiência de fluxo”, definido como um estado psicológico de imersão total no momento presente, no qual o indivíduo sente-se engajado e energizado pela atividade que realiza. Essa experiência é caracterizada por alta concentração, perda temporária da autoconsciência, sensação de controle sobre as ações, foco absoluto na tarefa e uma percepção de progresso e aprimoramento do desempenho. Em contextos de RV, esse estado favorece o engajamento do usuário e potencializa os efeitos cognitivos e emocionais da

experiência imersiva.

Na RV o controle do usuário refere-se às ações de entrada realizadas pelo usuário no sistema, permitindo a interação e manipulação dentro dos ambientes virtuais (Lee; Wong; Fung, 2010). Essa interação pode ocorrer de diversas formas, como a navegação pelo ambiente, a movimentação e manipulação de objetos virtuais (Seibert; Shafer, 2018).

A imersão em RV é geralmente associada à sensação de “estar no controle”. Esse conceito refere-se à percepção do usuário de ter influência sobre suas ações e sobre o ambiente virtual. Esse fenômeno é particularmente evidente em contextos de jogos, nos quais os usuários costumam experimentar uma sensação de empoderamento ao manipular espaços, objetos e personagens virtuais (Kim et al., 2015).

Entretanto, a imersão também pode se manifestar como uma perda de controle em determinadas circunstâncias (Hansen; Mossberg, 2013). Quando o nível de engajamento sensorial se torna muito intenso, o usuário pode ficar tão absorvido pela experiência que perde a consciência do ambiente real ou até mesmo do processo de tomada de decisões. Da mesma forma, ambientes com mecânicas excessivamente complexas, feedback ambíguo ou respostas imprevisíveis do sistema podem gerar sobrecarga cognitiva e desorientação (Guerra-Tamez, 2023).

Outro ponto importante comentado no estudo feito por Guerra-Tamez é que a RV está intimamente relacionada ao conceito de “experiência de fluxo”, a imersão em RV pode gerar uma experiência de fluxo intensamente positiva, capaz de promover benefícios cognitivos e emocionais significativos. Entre esses benefícios, destacam-se a redução do estresse, o aumento do foco e o estímulo à criatividade. Além disso, a imersão proporciona maior motivação e contribui para o fortalecimento do senso de propósito e identidade do indivíduo. Esse tipo de experiência também favorece uma conexão ampliada com o ambiente virtual e com as pessoas ao redor, reforçando a sensação de presença — ou seja, a percepção subjetiva de estar “dentro” do ambiente virtual.

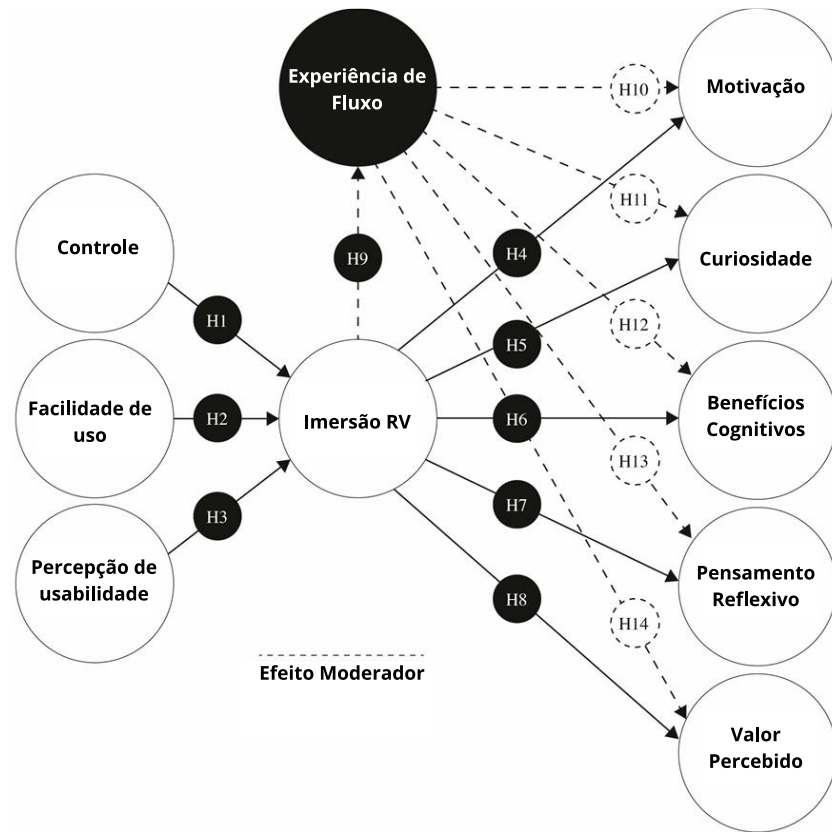
Diversos estudos analisados por Guerra-Tamez, apontam uma relação positiva entre o aprendizado mediado pela RV e o estado de fluxo, indicando que quanto maior o nível de imersão, mais fácil é atingir um estado de engajamento profundo com a atividade. Por fim, a imersão em RV pode conduzir a um aprendizado mais significativo e reflexivo, uma vez que torna o usuário mais consciente de seus próprios pensamentos e emoções durante a experiência.

Após essa análise Guerra-Tamez propôs a criação de 14 hipóteses, sendo elas:

- **Hipótese 1:** A imersão em RV é positivamente afetada pelo controle.
- **Hipótese 2:** A imersão em RV é positivamente afetada pela percepção de usabilidade.
- **Hipótese 3:** A imersão em RV é positivamente afetada pela facilidade de uso percebida.
- **Hipótese 4:** A motivação é positivamente afetada pela imersão em RV.
- **Hipótese 5:** A curiosidade é positivamente afetada pela imersão em RV.
- **Hipótese 6:** Os benefícios cognitivos são positivamente afetados pela imersão em RV.
- **Hipótese 7:** O pensamento reflexivo é positivamente afetado pela imersão em RV.
- **Hipótese 8:** O valor percebido é positivamente afetado pela imersão em RV.
- **Hipótese 9:** A experiência de fluxo é positivamente afetada pela imersão em RV.
- **Hipótese 10:** O efeito da imersão em RV sobre a motivação é moderado pela experiência de fluxo.
- **Hipótese 11:** O efeito da RV imersiva na curiosidade é moderado pela experiência de fluxo.
- **Hipótese 12:** O efeito da RV imersiva nos benefícios cognitivos é moderado pela experiência de fluxo.
- **Hipótese 13:** O efeito da RV imersiva no pensamento reflexivo é moderado pela experiência de fluxo.
- **Hipótese 14:** O efeito da RV imersiva no valor percebido é moderado pela experiência de fluxo.

Diante dos estudos revisados e das hipóteses criadas, Guerra-Tamez criou o seguinte modelo:

Figura 13 – Modelo teórico das relações entre imersão em RV, experiência de fluxo e benefícios cognitivos



Fonte: Adaptado de Guerra-Tamez (2023)

Com base no modelo proposto por Guerra-Tamez, a imersão em ambientes de RV está relacionada a diversos fatores que influenciam a experiência do usuário e o processo de aprendizagem. Conforme apresentado na figura 13, o estudo demonstra que elementos como controle, facilidade de uso percebida e percepção de usabilidade afetam diretamente o nível de imersão do usuário. Essa imersão, por sua vez, atua como mediadora para o surgimento do estado de “experiência de fluxo”, que representa o engajamento total e a concentração plena do indivíduo durante a atividade.

Portanto, a experiência de fluxo está associada a resultados positivos como aumento da motivação, curiosidade, benefícios cognitivos, pensamento reflexivo e percepção de valor da atividade. Dessa forma, o modelo sugere que quanto maior o grau de imersão e a fluidez da interação com o ambiente virtual, maior tende a ser o envolvimento emocional e cognitivo do usuário, refletindo diretamente em uma melhor assimilação de conhecimento e

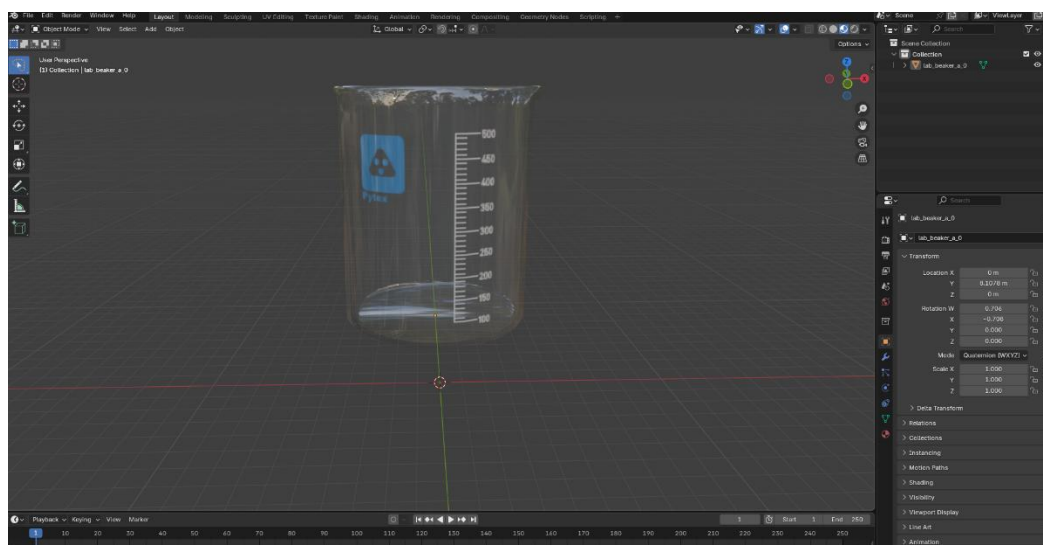
maior satisfação com o processo de aprendizagem.

6.2 Estudo da Modelagem 3d

Após o estudo teórico sobre os princípios de imersão em ambientes de RV, foi realizada uma investigação prática sobre modelagem tridimensional, etapa essencial para a construção de ambientes virtuais realistas. Para isso, utilizou-se o software Blender, uma ferramenta de código aberto amplamente empregada na criação de objetos 3D, permitindo aplicar animações, texturas e materiais de forma precisa, além de exportar modelos para diferentes plataformas.

O Blender oferece flexibilidade e compatibilidade com frameworks como o A-Frame e motores gráficos como o Unreal Engine, possibilitando a criação de modelos personalizados que atendem às necessidades específicas do projeto, como equipamentos laboratoriais, como no caso da figura 14, ambientes industriais e elementos interativos voltados à simulação educacional em RV.

Figura 14 – Exemplo de um modelo 3d de um béquer moldado dentro do Blender



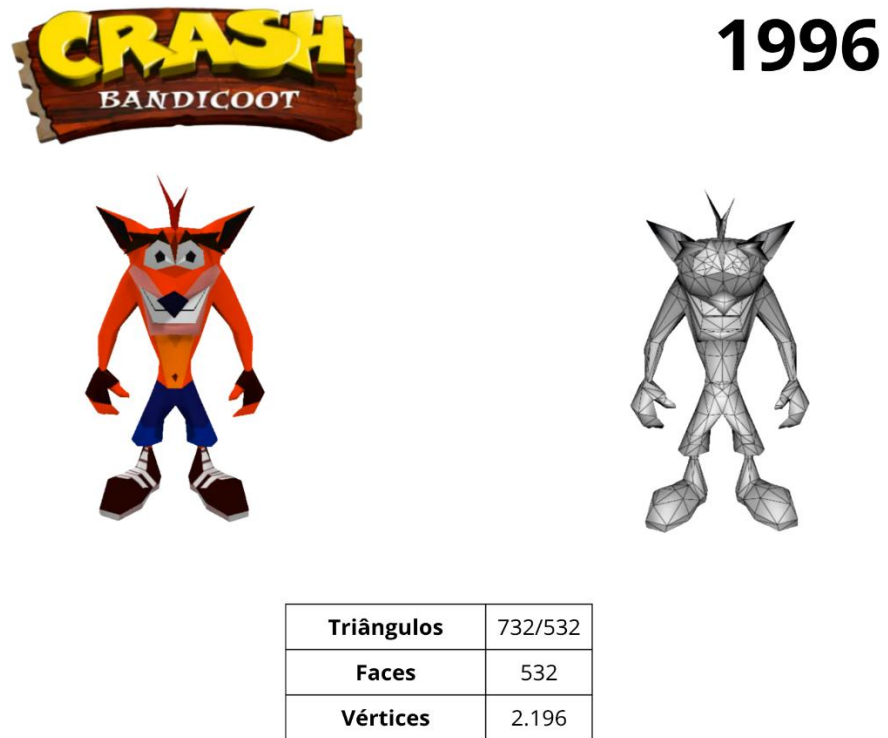
Fonte: Autor (2025)

Um dos fatores mais relevantes na construção de um modelo 3D é a quantidade de triângulos e faces que o compõem. Esse número está diretamente relacionado ao nível de detalhamento geométrico do modelo: quanto maior a quantidade de triângulos e faces, maior será a fidelidade visual e a complexidade estrutural do objeto representado.

As figuras 15, 16 e 17 ilustram esse conceito utilizando o modelo 3D do

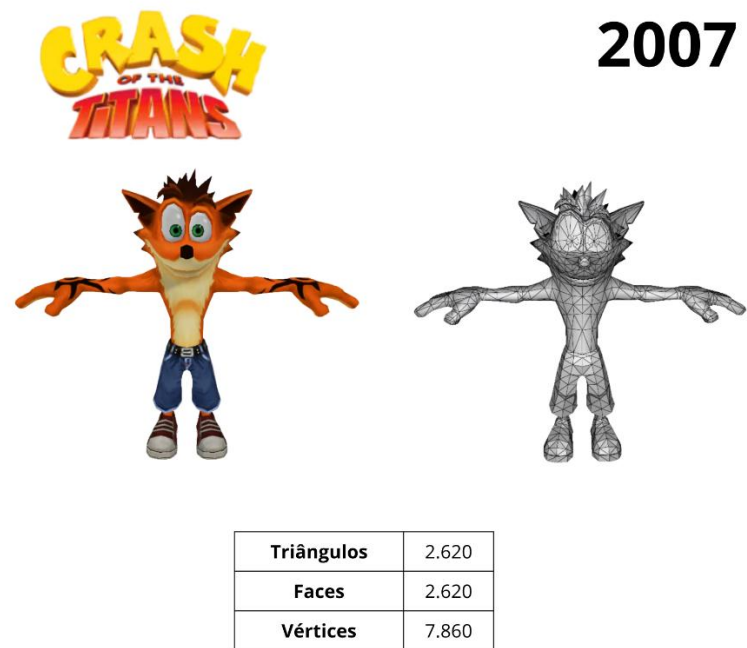
personagem Crash Bandicoot como exemplo, destacando a relação entre polígonos e o grau de realismo alcançado na modelagem.

Figura 15 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 1996



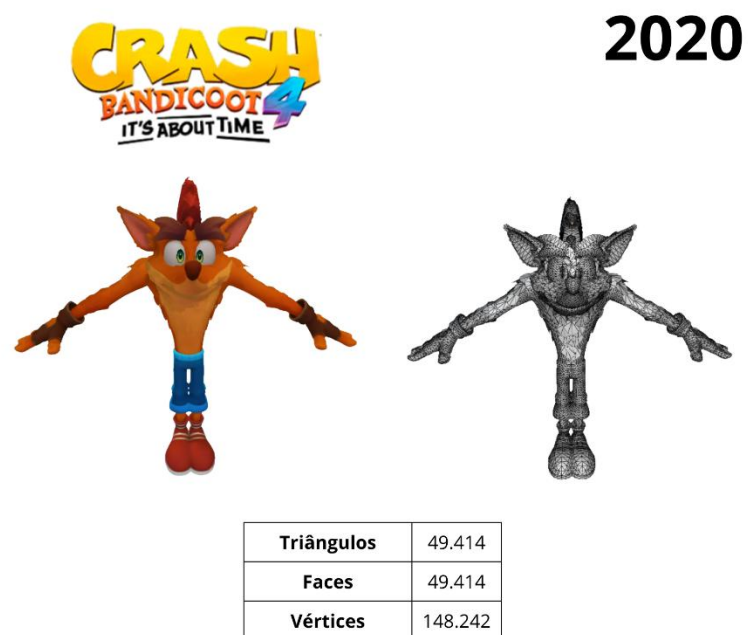
Fonte: Adaptado de KVN (2021)

Figura 16 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 2007



Fonte: Adaptado de KVN (2021)

Figura 17 – Detalhe do modelo do personagem Crash Bandicoot de 2020



Fonte: Adaptado de KVN (2021)

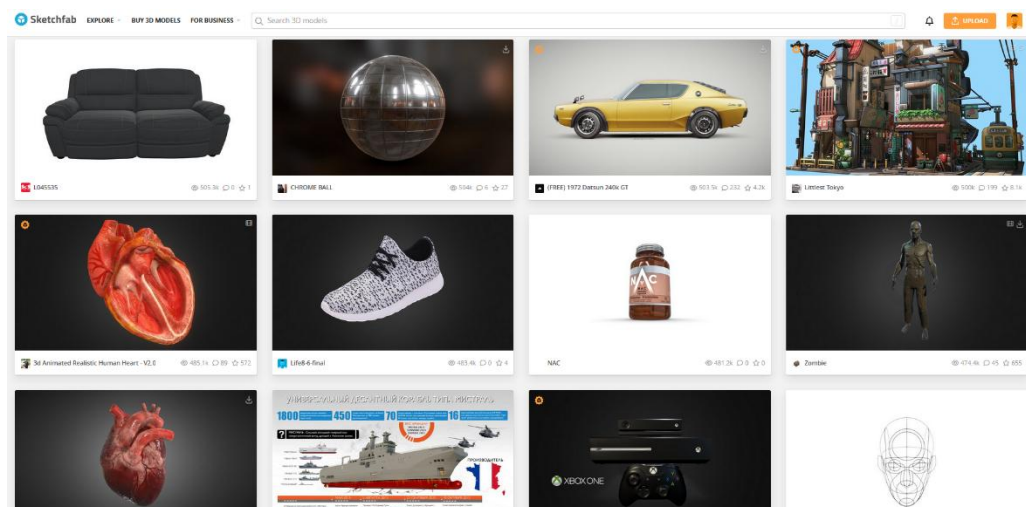
Nas figuras 15, 16 e 17 mostram a evolução gráfica dos modelos tridimensionais, que evidenciam a progressão do personagem Crash Bandicoot entre os anos de 1996, 2007 e 2020. Essa comparação evidencia o aumento significativo na quantidade de triângulos, faces e vértices, que são elementos fundamentais na construção de modelos 3D.

Em 1996, o modelo possuía aproximadamente 732 triângulos e 532 faces, resultando em uma representação geométrica simples e com poucos detalhes. Já em 2007, o número aumentou para 2.620 triângulos e faces, permitindo uma melhor definição das formas e maior suavidade nas transições entre superfícies. Finalmente, em 2020, o modelo atingiu cerca de 49.414 triângulos e faces, com 148.242 vértices, representando um salto expressivo na complexidade e no realismo do personagem.

Esse aumento está diretamente relacionado à qualidade visual e ao nível de detalhamento do modelo. Quanto maior o número de triângulos, maior a capacidade de representar superfícies curvas e pequenos detalhes anatômicos, como expressões faciais e dobras de roupa. No entanto, essa melhoria gráfica também implica maior demanda computacional, exigindo hardware mais potente para renderização em tempo real.

Um aspecto relevante no processo de desenvolvimento de ambientes virtuais é a obtenção de modelos tridimensionais. Para esta pesquisa, foram utilizadas duas plataformas especializadas na disponibilização de modelos 3D, tanto gratuitos quanto comerciais: FAB e Sketchfab.

Figura 18 – Modelos presentes do site Sketchfab



Fonte: Autor (2025)

Como mostra na imagem 18, esses repositórios oferecem uma ampla variedade de objetos tridimensionais, desde elementos simples, como utensílios e mobiliários, até estruturas complexas, como veículos, edifícios e ambientes urbanos, permitindo maior flexibilidade e adequação estética na composição dos cenários virtuais.

Os arquivos de modelos 3d podem ser armazenados e distribuídos em diversos formatos de arquivo, cada um com características específicas relacionadas à compatibilidade, nível de detalhe, suporte a texturas e facilidade de integração com diferentes plataformas de desenvolvimento. Entre os formatos mais utilizados estão:

- OBJ (.obj): é um dos formatos mais tradicionais e amplamente aceitos na modelagem 3D. Ele armazena informações geométricas, como vértices, coordenadas e normais, permitindo representar a estrutura do modelo com alta precisão. No entanto, o formato OBJ não inclui materiais complexos ou animações, sendo mais adequado para modelos estáticos.
- BLEND (.blend): é o formato nativo do software Blender, que armazena todas as informações do projeto, incluindo malhas, texturas, animações, luzes, câmeras e até scripts. Por ser um formato proprietário, ele é ideal para edição e desenvolvimento dentro do próprio Blender, mas requer exportação para outros formatos para ser utilizado em motores gráficos e frameworks como Unreal Engine, Unity ou A-Frame.
- USDZ (.usdz): desenvolvido pela Apple, é um formato otimizado para realidade aumentada (AR). Ele permite agrupar múltiplos arquivos (texturas, materiais e animações) em um único pacote sem compactação, facilitando a visualização direta em dispositivos móveis e navegadores compatíveis com ARKit e WebXR (Apple Developer, 2025).
- GLTF (.gltf): conhecido como o “JPEG dos 3D”, é um formato aberto e padronizado pelo Khronos Group. Ele foi projetado para ser leve e eficiente, permitindo o carregamento rápido de modelos na web (Khronos Group, 2022).
- GLB (.glb): é a versão binária compactada do GLTF. Diferentemente do formato

GLTF, o GLB reúne todos os dados (geometria, texturas, materiais e animações) em um único arquivo, facilitando sua distribuição e uso em aplicações web e de RV. É o formato mais utilizado em frameworks baseados em WebXR, como o A-Frame, por oferecer alta performance e compatibilidade multiplataforma (W3C, 2025).

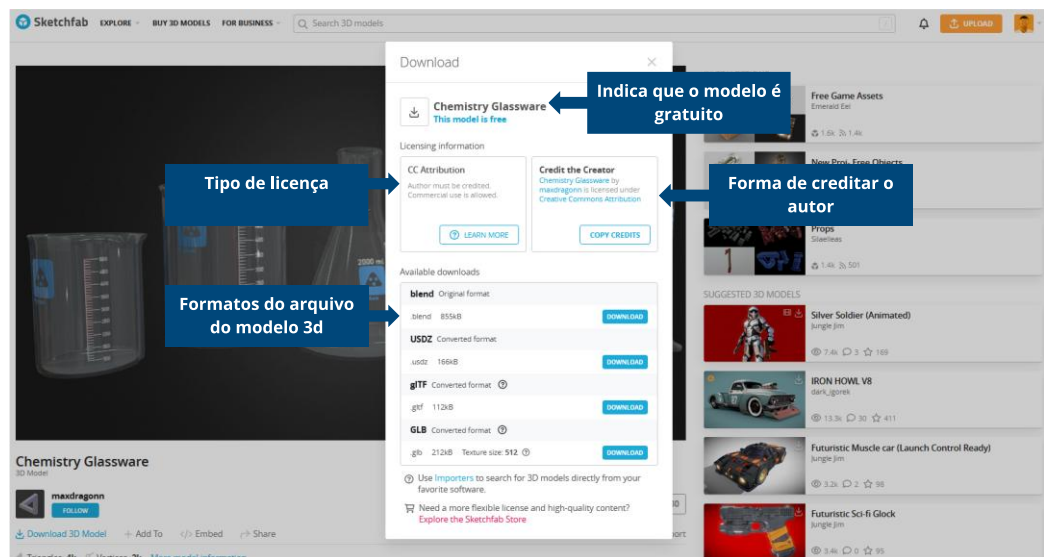
Outro fator fundamental na utilização de modelos 3D é a verificação do tipo de licença de uso associada a cada arquivo. As licenças determinam as condições legais de distribuição, modificação e uso dos modelos, assegurando o respeito aos direitos autorais dos criadores. Entre as principais licenças utilizadas na comunidade digital estão as emitidas pelo *Creative Commons*, que classificam os direitos de uso em diferentes níveis de permissão (Fontenelle et al. (2025)):

- **Atribuição (CC BY):** permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do trabalho original, inclusive para fins comerciais, desde que seja atribuído o devido crédito ao autor.
- **Atribuição-Compartilha Igual (CC BY-SA):** autoriza o uso, modificação e redistribuição, inclusive comercial, desde que as obras derivadas mantenham a mesma licença do original.
- **Atribuição-Sem Derivações (CC BY-ND):** permite a redistribuição, comercial ou não, contanto que o trabalho permaneça inalterado e integral, com o devido crédito ao autor.
- **Atribuição-Não Comercial (CC BY-NC):** possibilita a adaptação e a criação de obras derivadas apenas para fins não comerciais, com obrigatoriedade de crédito ao autor.
- **Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual (CC BY-NC-SA):** permite o uso e modificação para fins não comerciais, desde que o crédito seja dado ao criador e as novas obras mantenham a mesma licença.
- **Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações (CC BY-NC-ND):** é a mais restritiva entre as licenças *Creative Commons*, permitindo apenas o download e o compartilhamento da obra original, sem modificações ou uso comercial.

- Domínio Público (CC0): permite que o autor renuncie voluntariamente a todos os direitos autorais, disponibilizando a obra sem restrições, de forma que qualquer pessoa possa utilizá-la, modificá-la e redistribuí-la livremente.

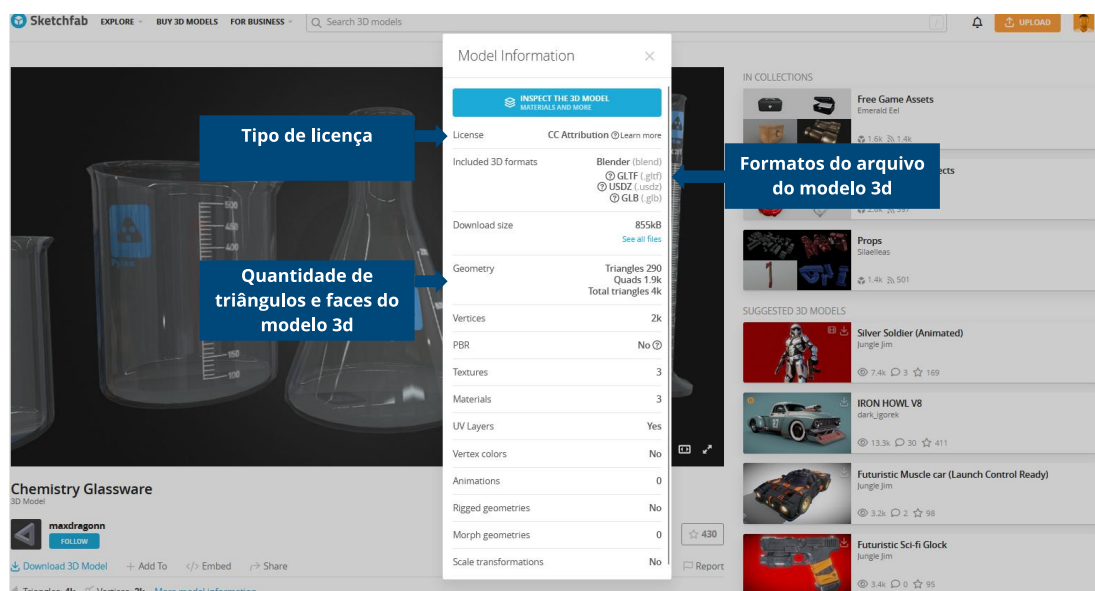
Por fim, ao escolher um modelo 3D — como, por exemplo, uma vidraria de laboratório (figuras 19 e 20), é fundamental observar alguns critérios técnicos e legais que garantem a compatibilidade e o uso adequado do recurso no projeto.

Figura 19 – Informações básicas do modelo “*Chemistry Glassware*”



Fonte: Autor (2025)

Figura 20 – Informações adicionais do modelo “Chemistry Glassware”



Fonte: Autor (2025)

Primeiramente, é importante verificar se o modelo está disponível para download, uma vez que alguns objetos apenas permitem visualização online. Em seguida, deve-se analisar o tipo de licença associado ao modelo, que define as permissões de uso, modificação e redistribuição, conforme as diretrizes da *Creative Commons*.

Outro ponto essencial é o formato do arquivo, já que diferentes extensões, como por exemplo: .blend, .usdz, .gltf e .glb, possuem finalidades distintas e níveis variados de compatibilidade com motores gráficos e frameworks de RV.

Além disso, recomenda-se observar a quantidade de triângulos, faces e vértices do modelo, pois esses valores influenciam diretamente o desempenho e a qualidade visual da aplicação. Modelos com alta densidade de polígonos oferecem maior realismo, porém exigem maior capacidade computacional para renderização.

Por fim, é importante verificar se o modelo pode ser baixado diretamente pela plataforma, como no caso do Sketchfab, que disponibiliza opções de formatos e informações detalhadas sobre a geometria, ou se é necessário entrar em contato com o autor para solicitar o acesso ao arquivo.

6.3 Reestruturação do programa de Linha de Processamento de Leite

Após o período inicial de estudo sobre o funcionamento de aplicações em RV, foi iniciada a reestruturação do programa “Linha de Processamento de Leite”, originalmente desenvolvido pelo Professor Dr. Christopher Simmons.

O primeiro passo do processo de reestruturação consistiu na tradução dos nomes dos equipamentos e das etapas do processo industrial, anteriormente apresentados em inglês, para o português. Essa etapa foi realizada no software Blender, utilizado para a modelagem e edição dos objetos tridimensionais que compõem o ambiente virtual.

No Blender, cada equipamento e elemento do cenário possui um campo de texto associado ao seu identificador, o que permite sua edição direta na interface do programa. Segue algumas imagens mostrando cada modelo 3d modificado:

Figura 21 – Modelo 3d do ambiente da Linha de Processamento de Leite

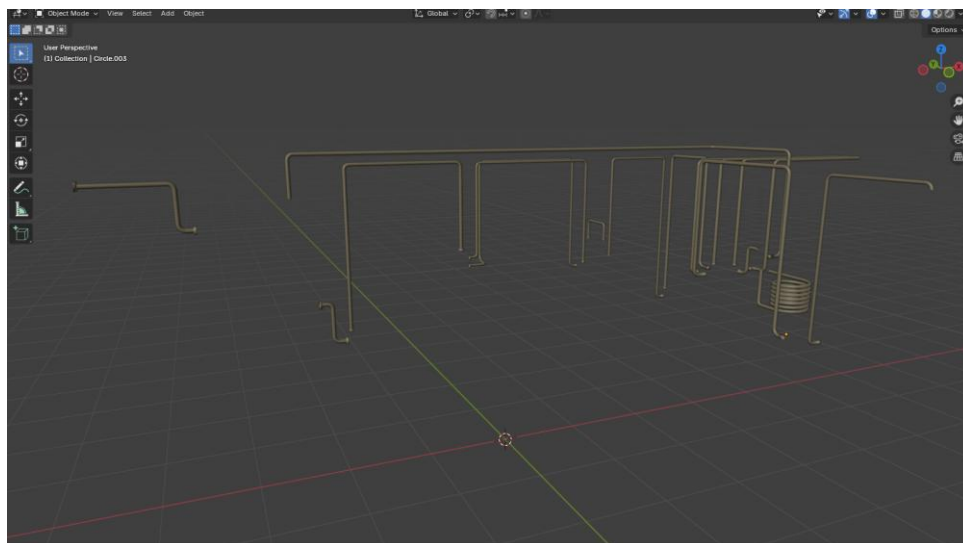


Fonte: Autor (2025)

Na Figura 21, é apresentado o ambiente tridimensional inicial do programa Linha de Processamento de Leite. O cenário contém dois monitores posicionados na área central, utilizados para exibir informações introdutórias sobre o funcionamento da linha de produção e orientações para navegação dentro do ambiente virtual.

Além disso, é possível observar diversos equipamentos industriais em estágio preliminar de modelagem, tais como um tanque de armazenamento, uma centrífuga, um trocador de calor de placas, um homogeneizador e duas bombas elétricas.

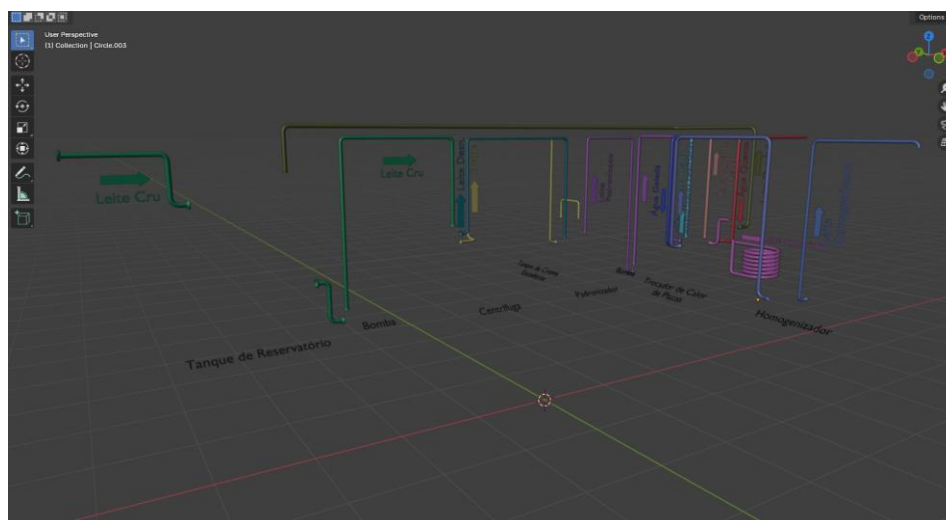
Figura 22 – Modelo 3d do encanamento da Linha de Processamento de Leite



Fonte: Autor (2025)

Enquanto a Figura 21 apresenta o ambiente geral com os principais equipamentos, a figura 22 destaca exclusivamente o sistema de tubulações responsável pela interligação dos módulos da linha de processamento de leite.

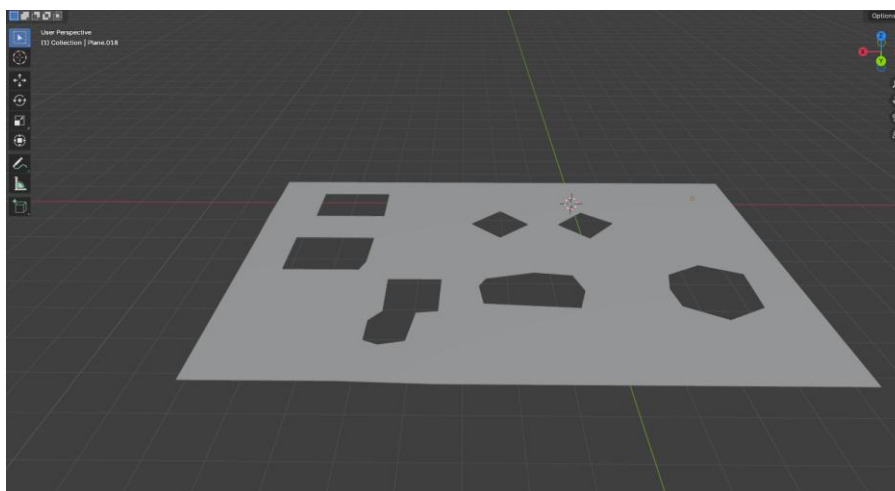
Figura 23 – Modelo 3d das descrições dos equipamentos e líquidos



Fonte: Autor (2025)

A figura 23 serve como um complemento para a figura 22, nela possui o mesmo sistema de tubulação, porém com legendas e cores representando o fluxo do produto e dos fluidos de serviço, como leite e água, além de mostrar as diferentes etapas da operação, tais como recepção, centrifugação, pasteurização, homogeneização e armazenamento.

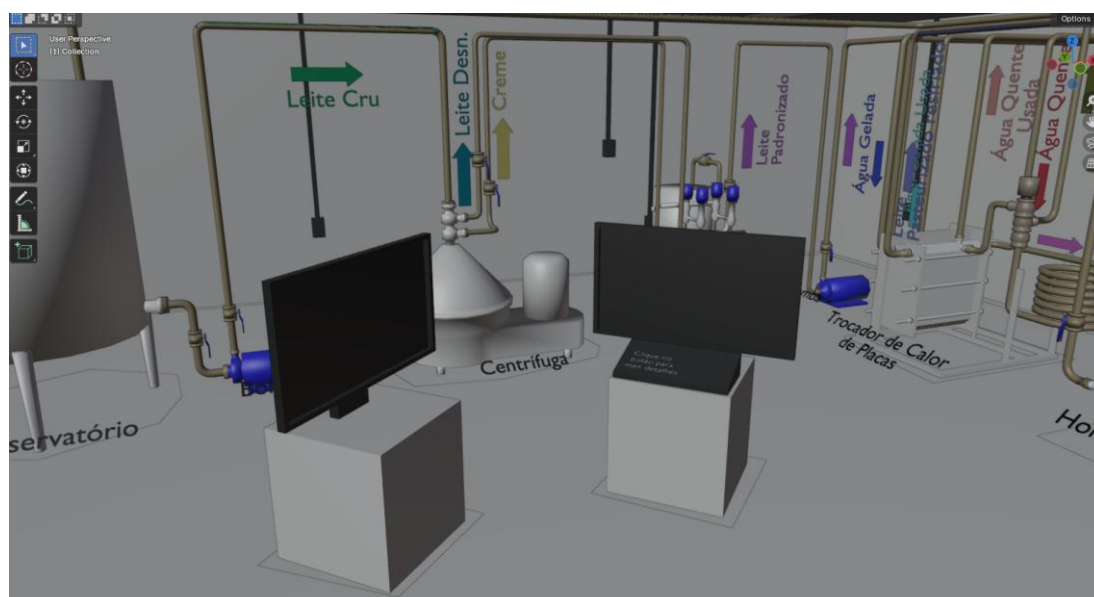
Figura 24 – Modelo 3d do chão do ambiente da Linha de Processamento de Leite



Fonte: Autor (2025)

Já na Figura 24 apresenta o modelo 3d do plano de piso utilizado como área de locomoção do usuário dentro do ambiente virtual. Esse plano foi projetado especificamente para delimitar o espaço navegável, evitando que o usuário atravesse paredes, equipamentos ou acesse regiões não previstas da simulação.

Figura 25 – Modelo 3d completo da Linha de Processamento de Leite



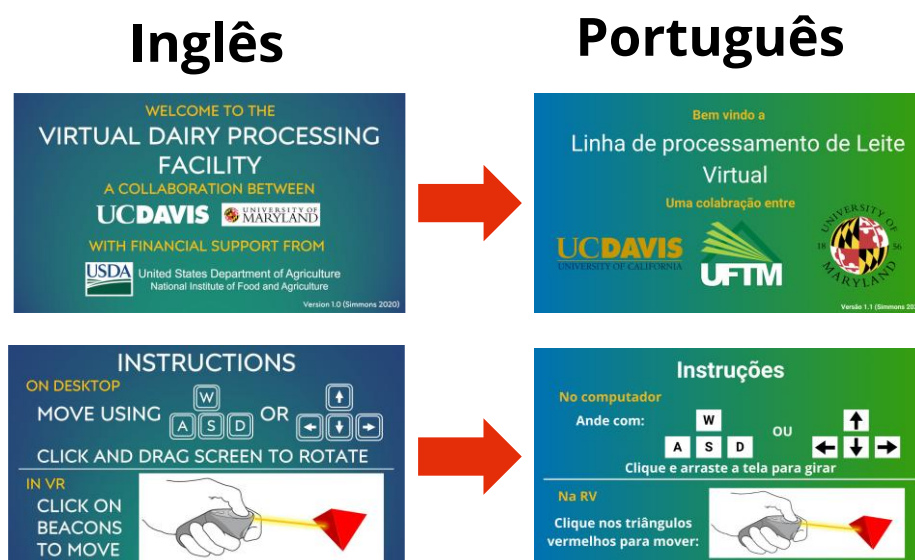
Fonte: Autor (2025)

Por fim, a figura 25 apresenta o ambiente completo da Linha de Processamento de Leite, já com todos os modelos 3d integrados. Nessa etapa, os equipamentos, o ambiente

estrutural básico e o plano de piso delimitador de locomoção foram organizados de maneira compacta, buscando manter uma disposição que se aproxime da planta industrial real, porém adaptada ao espaço virtual disponível.

Após a etapa de tradução dos modelos 3d, foi realizado também o reajuste das telas dos monitores presentes no ambiente virtual. Esses monitores exibem informações essenciais sobre o programa, em um deles, possui o nome do projeto e os responsáveis por sua criação, enquanto no outro, contém orientações sobre como interagir com o ambiente virtual, de modo a auxiliar o usuário durante a experiência.

Figura 26 – Reajuste das telas do programa Linha de Processamento de Leite



Fonte: Autor (2025)

A figura 26 ilustra as alterações realizadas nas telas de monitor do ambiente virtual. Observa-se que o conteúdo originalmente apresentado em inglês foi traduzido para o português. Além disso, foi inserida a logomarca da UFTM, destacando a participação institucional no desenvolvimento do projeto. No monitor destinado às instruções de uso, além da tradução, foram realizados ajustes na representação gráfica do controle utilizado na navegação.

Após a realização dos ajustes visuais, iniciou-se a etapa de aprimoramento do código do programa. A primeira melhoria implementada foi a adição de uma tela de carregamento exibida no momento em que o usuário acessa o ambiente virtual pelo

navegador.

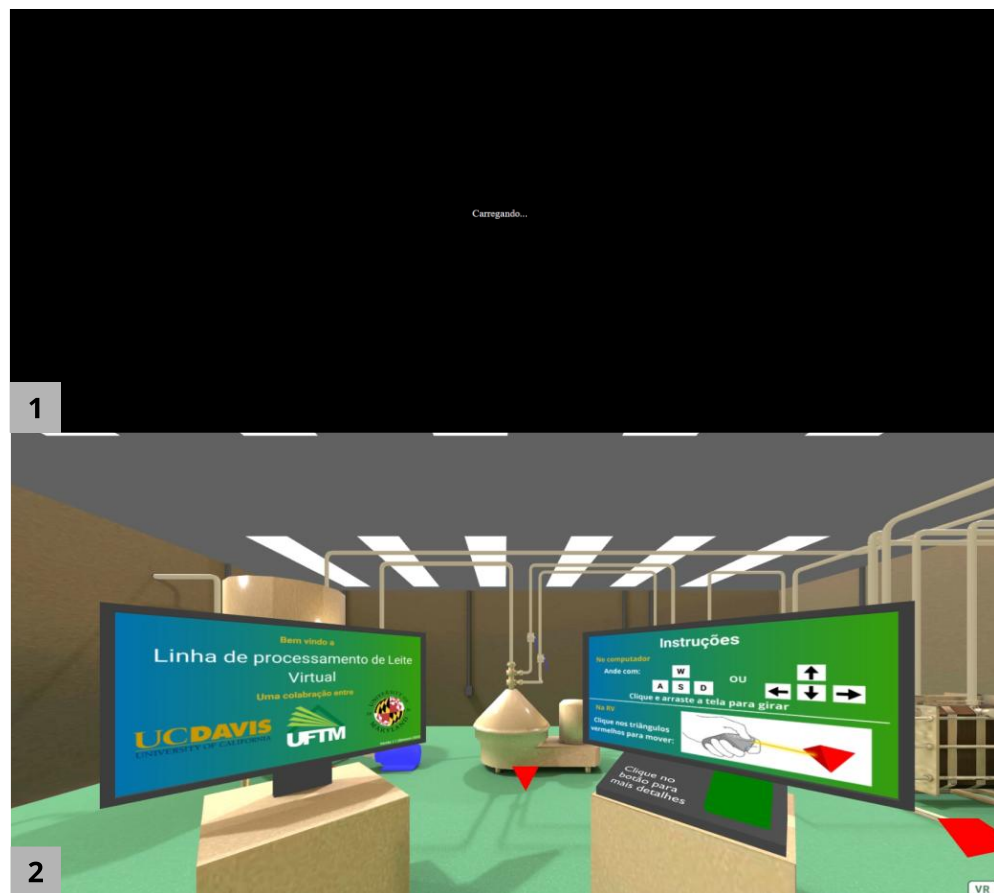
Figura 27 – Programa sem a implementação da tela de carregamento



Fonte: Autor (2025)

Anteriormente, ao abrir o link, era possível visualizar os modelos 3d sendo carregados de forma fragmentada, como visto na figura 27, o que comprometia a percepção de qualidade e a imersão do usuário.

Figura 28 – Programa com a tela de carregamento

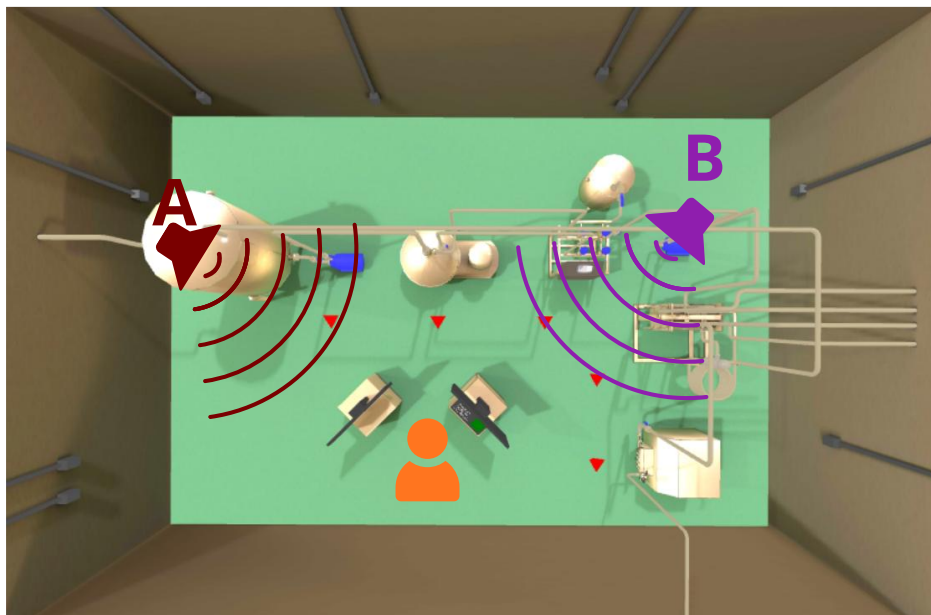


Fonte: Autor (2025)

Com a inclusão da tela de carregamento, vide figura 28, todo o processo de inicialização dos modelos ocorre de maneira oculta, de modo que o usuário só visualiza o ambiente completo após o carregamento total, resultando em uma experiência mais fluida e orgânica.

Como discutido anteriormente, um dos elementos que mais contribuem para o aumento da imersão em ambientes de RV é o som ambiente. Tendo isso em vista, foi implementado no projeto um sistema de áudio espacial composto por duas fontes sonoras posicionadas em pontos distintos do cenário, como pode ser visto na figura 29.

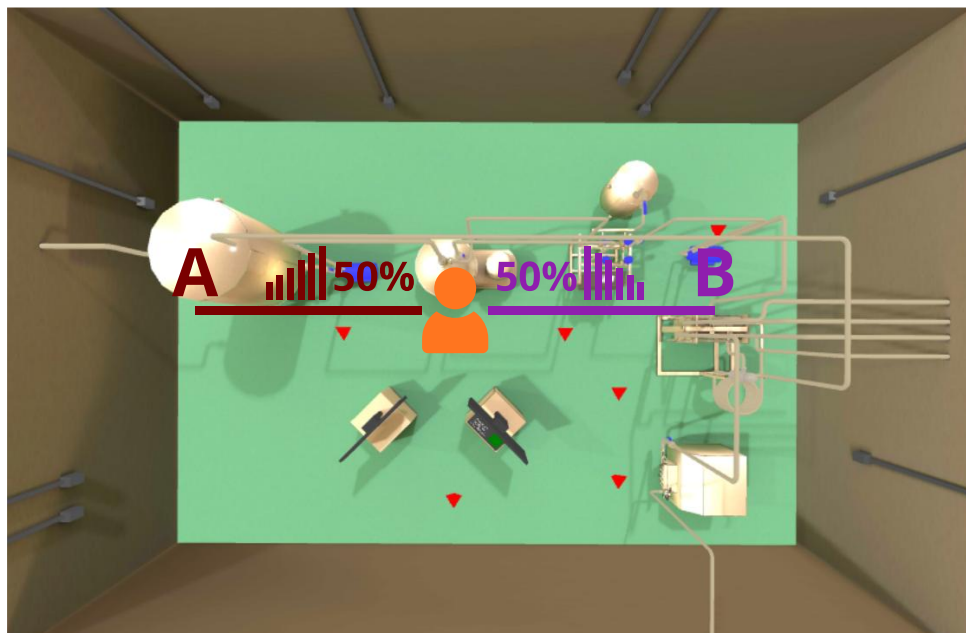
Figura 29 – Posição dos sons do ambiente



Fonte: Autor (2025)

O volume de cada som varia dinamicamente conforme a distância do usuário, fortalecendo a sensação de presença no ambiente, como mostrado na figura 30.

Figura 30 – Esquema do volume dos sons



Fonte: Autor (2025)

Os dois sons foram obtidos pelo site BBC Sound Effects, um site com uma coleção

de gravações de sons de diferentes áreas, desde sons industriais, até discursos políticos ou sons da natureza.

Para essa implementação, utilizou-se a biblioteca Howler.js, que oferece suporte para manipulação de áudio em aplicações web, incluindo controle de volume, loop e gerenciamento de múltiplas trilhas sonoras. Essa ferramenta permitiu a criação de uma lógica que ajusta o volume das fontes de áudio conforme a proximidade do usuário, contribuindo diretamente para uma experiência mais envolvente e realista (Simpson, 2013).

Figura 31 – Código do som ambiente

```
var sound1 = new Howl({
  src: ['./assets/sounds/bbc_bedford-li_07012047.mp3'],
  loop: true,
  volume: 0,
  autoplay: true
});

var sound2 = new Howl({
  src: ['./assets/sounds/bbc_water---wa_07012126.mp3'],
  loop: true,
  volume: 0, // Começa mudo
  autoplay: true
});

function updateVolume() {
  let camera = document.getElementById("rig");
  let marker6 = document.getElementById("marker6");
  let marker2 = document.getElementById("marker2");

  if (!camera || !marker6 || !marker2) return;

  let cameraPos = camera.object3D.position;
  let markerPos1 = marker6.object3D.position;
  let markerPos2 = marker2.object3D.position;

  let maxDistance = 8;

  let distance1 = cameraPos.distanceTo(markerPos1);
  let volume1 = 1 - Math.min(distance1 / maxDistance, 1);
  sound1.volume(volume1);

  // Calcula e ajusta o volume para marker2
  let distance2 = cameraPos.distanceTo(markerPos2);
  let volume2 = (1 - Math.min(distance2 / maxDistance, 1))*0.5;
  sound2.volume(volume2);
}

setInterval(updateVolume, 200);
```

Fonte: Autor (2025)

O código apresentado pela figura 31 é responsável por controlar a reprodução e a variação do volume de dois sons ambientes dentro do ambiente virtual, de acordo com a

distância do usuário em relação a pontos específicos do cenário.

No primeiro trecho de código, são criados dois objetos sonoros, `sound1` e `sound2`, utilizando a classe `Howl` da biblioteca `Howler.js`. Cada som é configurado para:

- Tocar continuamente (*loop: true*);
- Iniciar automaticamente assim que carregado (*autoplay: true*);
- Começar com volume zero (*volume: 0*), de forma que o volume seja regulado posteriormente pelo script;
- Utilizar arquivos de áudio armazenados na pasta do projeto (*src*).

Dessa forma, os sons permanecem ativos durante toda a simulação, mas seu volume será controlado conforme a posição do usuário no ambiente.

No segundo trecho de código é implementada uma função responsável por atualizar o volume dos sons. Aqui, a função `updateVolume()` realiza os seguintes passos:

Identifica a posição da câmera (usuário) e a posição de dois marcadores no cenário (*marker6* e *marker2*).

1. Esses marcadores representam os pontos de origem dos sons ambientes (por exemplo, uma máquina ou fluxo de água).
2. Calcula a distância entre o usuário e cada marcador.
3. Define um limite máximo de distância (*maxDistance = 8*) a partir do qual o som não será mais audível.
4. Calcula o volume dinamicamente, reduzindo-o quanto maior for a distância:
5. Quando o usuário está próximo, o volume se aproxima de 1 (som mais audível);
6. Quando se afasta, o volume diminui gradualmente até zero.
7. Atualiza o volume a cada 200 ms por meio de `setInterval()`, garantindo transições suaves e contínuas.

Por fim esse código contribui para tornar o ambiente virtual mais imersivo, criando uma experiência sonora adaptada ao movimento do usuário, o que reforça a sensação de presença espacial dentro da simulação.

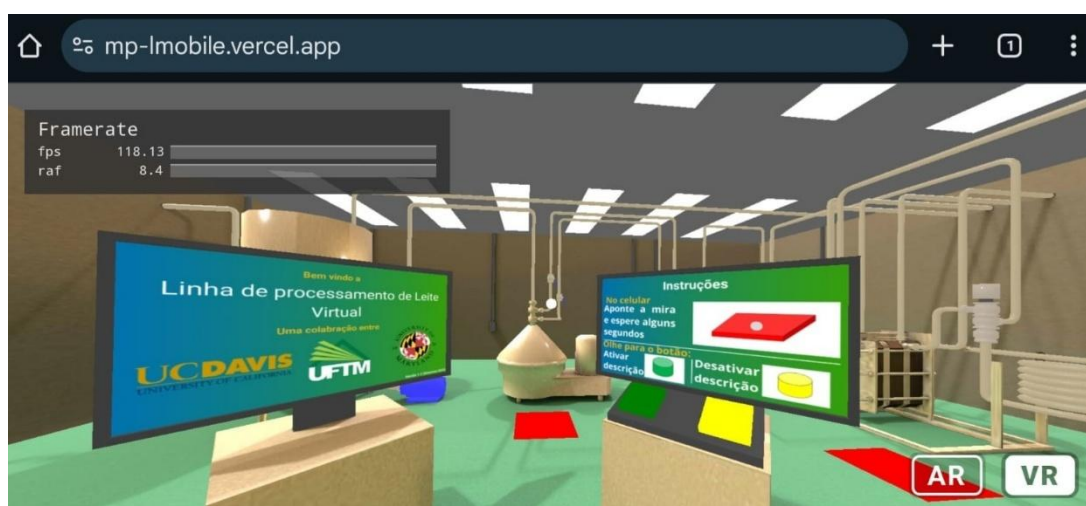
Durante o processo de reestruturação do programa, identificou-se um obstáculo significativo relacionado ao acesso ao ambiente virtual da Linha de Processamento de Leite. Para que a aplicação fosse executada com desempenho adequado, era necessário o uso de um computador com maior capacidade de processamento ou de um óculos de RV.

Essa exigência técnica implicava uma limitação importante, pois restringia o acesso de parte considerável do público-alvo.

No cenário brasileiro, o custo de aquisição de um dispositivo de RV varia, em média, entre dois a três salários mínimos, o que constitui uma barreira econômica relevante para estudantes e instituições de ensino.

Diante desse desafio, uma nova estratégia foi definida: adaptar o programa da Linha de Processamento de Leite para uma versão compatível com dispositivos móveis, especialmente smartphones.

Figura 32 – Programa de Linha de Processamento de Leite versão para celulares



Fonte: Autor (2025)

A figura 32 apresenta a versão final do ambiente virtual adaptado para dispositivos móveis. Para os testes, utilizou um smartphone Samsung Galaxy S20 FE (lançado em 2020), acoplado a um óculos de RV compatível com celular. O custo total do conjunto utilizado para execução da aplicação foi de aproximadamente R\$ 1.050,00, valor significativamente inferior ao de *headsets* de RV dedicados, como Meta Quest ou HTC Vive. Essa adaptação torna o sistema mais acessível e potencialmente mais viável para uso educacional em instituições que possuem restrições orçamentárias, ampliando as possibilidades de adoção da tecnologia no contexto acadêmico.

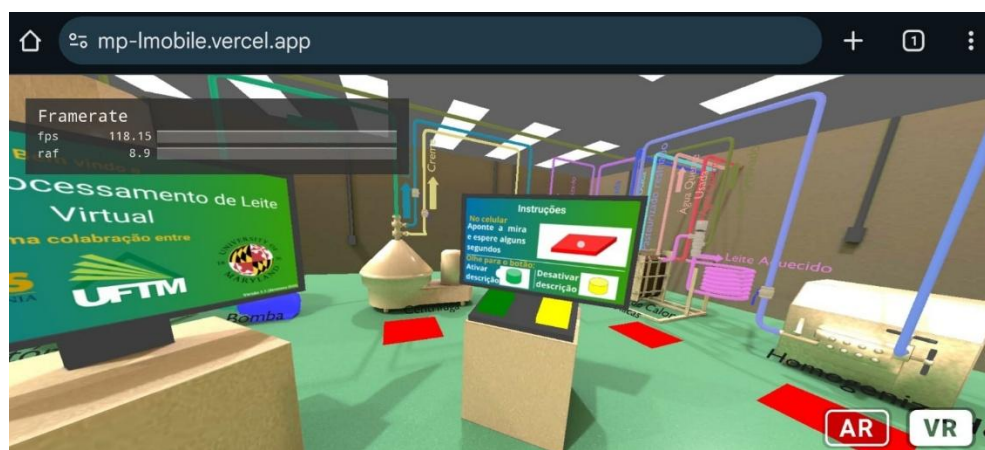
Figura 33 – Mostrando o funcionamento do programa dentro do celular



Fonte: Autor (2025)

No ambiente móvel, a visualização é realizada por meio do giroscópio presente no smartphone, que permite ao usuário orientar o olhar conforme movimenta o dispositivo, proporcionando uma sensação de imersão sem a necessidade de controles externos. A locomoção ocorre através de pontos de teletransporte representados por plataformas vermelhas: para se deslocar, o usuário deve posicionar o cursor central (mira fixa na tela) sobre uma dessas plataformas e aguardar alguns instantes, como mostra a figura 33.

Figura 34 – Mostrando a navegação do programa dentro do celular



Fonte: Autor (2025)

Além disso, a interação com os elementos informativos do ambiente é realizada da mesma maneira, basta mirar o cursor sobre os botões de ativação e desativação para exibir ou ocultar descrições dos modelos 3d, vide figura 34. Dessa forma, todas as funções

essenciais do ambiente virtual podem ser acessadas sem controladores físicos, utilizando apenas os sensores e interface do próprio smartphone.

Figura 35 – Código do funcionamento dos botões da versão de Linha de Processamento para celulares

```

AFRAME.registerComponent("toggle1", {
  init: function() {
    this.el.addEventListener("mouseenter", (e) => {
      let object2 = document.querySelector("#object2");
      let object3 = document.querySelector("#object3");

      object2.setAttribute("visible", true);
      object3.setAttribute("visible", false);

    });
  }
});

AFRAME.registerComponent("toggle2", {
  init: function() {
    this.el.addEventListener("mouseenter", (e) => {
      let object2 = document.querySelector("#object2");
      let object3 = document.querySelector("#object3");

      object2.setAttribute("visible", false);
      object3.setAttribute("visible", true);

    });
  }
});

```

Fonte: Autor (2025)

O código apresentado na figura 35 define dois componentes personalizados no framework A-Frame, chamados *toggle1* e *toggle2*, representando os botões de ligar/desligar os detalhes da linha de processamento. Esses componentes permitem alternar a visibilidade de dois objetos em uma cena 3D quando o usuário passa o cursor do mouse sobre um elemento específico.

Cada componente utiliza o método *addEventListener* para detectar o evento *mouseenter*, que ocorre quando a mira passa sobre o elemento que possui o componente anexado.

Quando o usuário passa o mouse sobre o objeto com o componente *toggle1*:

1. O código seleciona dois elementos da cena, identificados pelos IDs *#object2* (modelo 3d contendo as legendas e descrições dos equipamentos) e *#object3*

(modelo 3d do sistema de encanamento).

2. O objeto *object2* é configurado para ficar visível (*visible: true*).
3. O objeto *object3* é configurado para ficar invisível (*visible: false*).

Ou seja, ao ativar o *toggle1* ou botão verde, a descrição dos equipamentos e processos aparecem no ambiente. A mesma lógica ocorre no *toggle2* ou botão amarelo, porém ele desativa as descrições.

Figura 36 – Código do funcionamento dos teletransportes da versão de Linha de Processamento para celulares

```

AFRAME.registerComponent("cameracontrol", {
  init: function () {
    let timeoutId = null;
    this.el.addEventListener("mouseenter", () => {
      timeoutId = setTimeout(() => {
        switch (this.el.id) {
          case "markerhome":
            document.getElementById("rig").setAttribute('position', '0.25 0 0');
            break;
          case "marker1":
            document.getElementById("rig").setAttribute('position', '0.25 0 -3.4');
            break;
          case "marker2":
            document.getElementById("rig").setAttribute('position', '-2 0 -3.4');
            break;
          case "marker3":
            document.getElementById("rig").setAttribute("position", "2.5 0 -3.4");
            break;
          case "marker4":
            document.getElementById("rig").setAttribute("position", "3.6 0 -2.2");
            break;
          case "marker5":
            document.getElementById("rig").setAttribute("position", "3.6 0 -0.4");
            break;
          case "marker6":
            document.getElementById("rig").setAttribute("position", "6.1 0.07 -6.6");
            document.getElementById("rig").setAttribute("rotation", "0 180 0");
          }
        }, 2000);
      });
      this.el.addEventListener("mouseleave", () => {
        clearTimeout(timeoutId);
      });
    });
  },
});

```

Fonte: Autor (2025)

O trecho de código apresentado na figura 36, define um componente chamado *cameracontrol*, responsável por realizar o teletransporte do usuário dentro do ambiente

virtual. Cada plataforma interativa no cenário possui um identificador (por exemplo, *markerhome*, *marker1*, *marker2* etc.), e ao posicionar o cursor sobre uma delas (evento *mouseenter*), inicia-se um temporizador de 2 segundos. Quando esse tempo é concluído, o sistema identifica qual plataforma foi acionada e altera a posição do elemento *rig*, que representa a câmera do usuário, movendo-o para o ponto correspondente no ambiente.

Caso o usuário retire o cursor antes de completar os 2 segundos (evento *mouseleave*), o temporizador é cancelado, impedindo o teletransporte. Dessa forma, o sistema realiza a movimentação no espaço virtual sem a necessidade de controladores físicos, permitindo navegação por fixação do olhar, apropriada para dispositivos móveis e óculos de RV sem controle externo.

Após a reestruturação e a adaptação aos dispositivos móveis, o ambiente virtual foi submetido a testes com alunos da UFTM na área de engenharia de alimentos. Para isso, foi elaborado uma apresentação básica sobre como funciona uma Linha de Produção de Leite e foi aplicado um questionário estruturado com base na escala Likert, variando de 1 a 5 (de "discordo totalmente" a "concordo totalmente"), com o objetivo de avaliar aspectos como:

- Compreensão dos conceitos do curso proporcionada pelos ambientes virtuais;
- Efetividade dos ambientes virtuais em comparação com descrições escritas, diagramas, fotografias e vídeos;
- Agradabilidade e interesse gerados pela interação com os ambientes virtuais;
- Possibilidade de utilizar esses ambientes como complemento ao aprendizado presencial;
- Potencial impacto no interesse por educação adicional na área de processamento de alimentos.

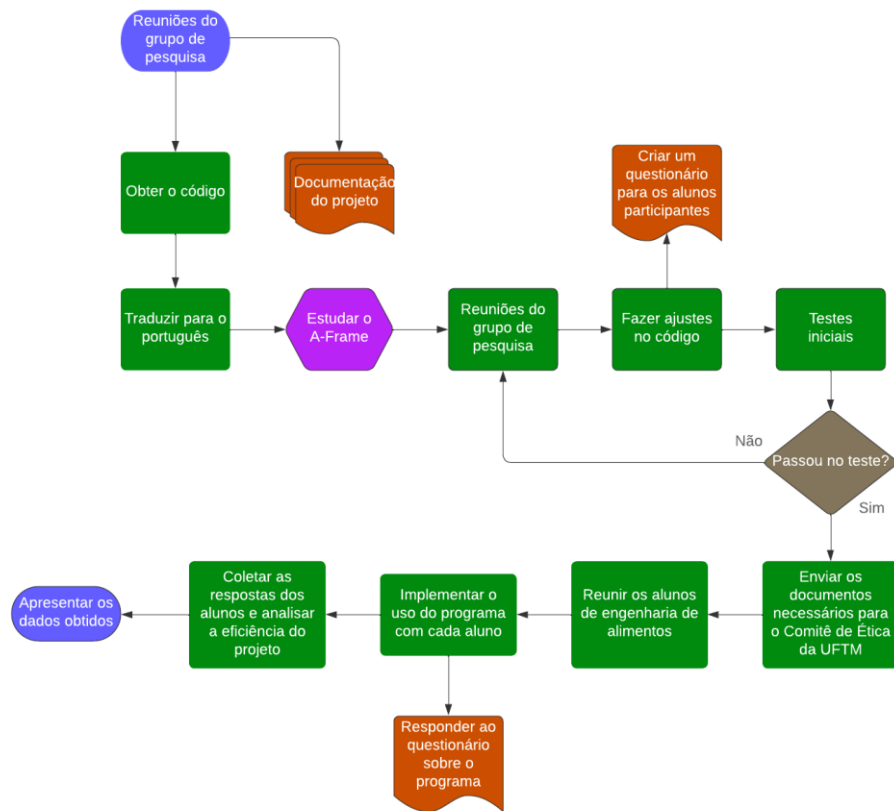
As perguntas apresentadas no questionário foram as seguintes:

- Os ambientes virtuais promoveram a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos).
- Os ambientes virtuais melhoram a comunicação e a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos) além do que é possível usar descrições escritas, diagramas e fotografias desses sistemas.

- Os ambientes virtuais melhoram a comunicação e a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos) além do que é possível usando vídeos desses sistemas.
- Os ambientes virtuais eram agradáveis para interagir.
- Os ambientes virtuais aumentaram meu interesse em tópicos de processamento de alimentos.
- É mais provável que eu busque educação adicional em processamento de alimentos se módulos de aprendizagem em ambiente virtual estiverem disponíveis.
- Os ambientes virtuais são um substituto eficaz para a visualização ou interação presencial com sistemas de processamento de alimentos.
- Os ambientes virtuais melhoraram a qualidade do ensino remoto.
- Os ambientes virtuais seriam um complemento útil ao aprendizado presencial tradicional.
- Por favor, adicione quaisquer comentários relacionados às suas experiências com os ambientes virtuais. Eles podem incluir aspectos que você acha que ajudaram ou desafiaram sua compreensão e motivação para aprender o material, como facilidade de uso, clareza, interesses pessoais e prioridades profissionais.

Segue a figura 37, representando o fluxograma que reflete o ciclo completo de adaptação, validação e análise.

Figura 37 – Fluxograma sobre a reestruturação do projeto do professor Christopher Simmons.



Fonte: Autor, 2024

6.4 Desenvolvimento do programa Point&Click

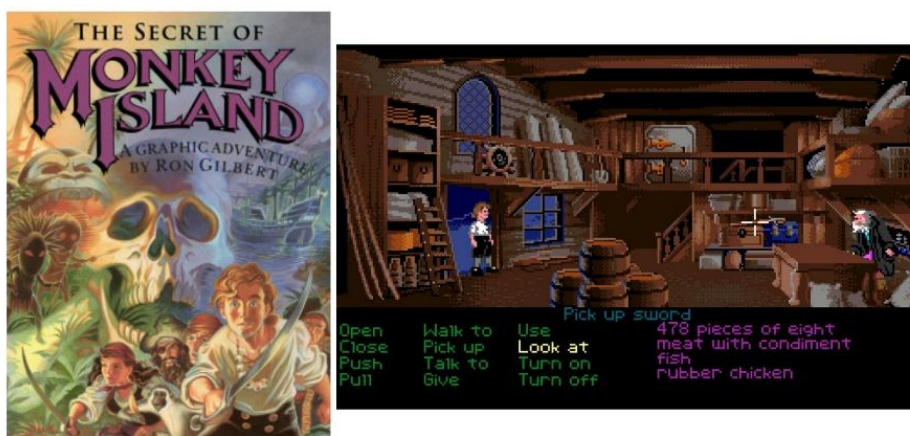
Durante o processo de reestruturação do projeto Linha de Processamento de Leite, observou-se, em um contexto paralelo de aulas de inglês básico, a necessidade de métodos mais dinâmicos e motivadores para o ensino inicial do idioma. Essa discussão emergiu a partir da percepção de que abordagens tradicionais tendem a ser repetitivas e pouco engajadoras, o que pode comprometer o interesse e a continuidade do aprendizado por parte dos estudantes.

Diante desse desafio, foi proposta a criação de um ambiente virtual interativo voltado ao ensino de inglês em nível básico. A utilização da RV nesse contexto tem como objetivo promover maior imersão, engajamento e participação ativa do aprendiz, tornando o processo de aquisição vocabular mais intuitivo e atrativo.

Esse ambiente virtual funcionaria como um jogo “*Point and Click*” dos anos 90, o usuário vai ficar em um quarto com vários objetos ao seu lado e na sua frente terá duas telas, uma que mostra qual objeto o usuário deve tocar em inglês e outra tela mostrando se objeto que o usuário tocou é o certo e o errado, além da resposta mostrada na tela também vai aparecer um som diferente caso o usuário acerte ou erre o objeto

O ambiente virtual desenvolvido adota uma dinâmica inspirada nos jogos “*Point and Click*” populares na década de 1990, um gênero no qual o jogador interage com o cenário por meio da indicação de objetos e áreas na tela, sem a necessidade de comandos complexos, segue a figura 38, mostrando o jogo *The Secret of Monkey Island*:

Figura 38 – Exemplo de Jogo Point and Click: The Secret of Monkey Island (1990)



Fonte: LucasArts (1990)

Nesse tipo de experiência, o usuário é incentivado a observar atentamente o ambiente, coletar itens, combinar elementos e solucionar pequenos desafios lógicos, promovendo um engajamento ativo e exploratório, segue como exemplo a figura 39.

Figura 39 – Exemplo de Jogo Point and Click: Day of the tentacle (1993)



Fonte: LucasArts (1993)

Nesse cenário, o usuário é posicionado em um quarto contendo diversos objetos interativos ao seu redor, como pode ser visto na figura 40.

Figura 40 – Objetos do programa Point&Click



Fonte: Autor (2025)

Na interface, são exibidas duas telas: a primeira apresenta, em inglês, o nome do objeto que deve ser selecionado, a segunda indica se a escolha realizada foi correta ou incorreta, como mostra a figura 41:

Figura 41 – Sistema de correto e errado do Point&Click



Fonte: Autor (2025)

Além da resposta visual, o sistema também emite sinais sonoros distintos para acertos e erros, reforçando o processo de aprendizagem por meio de estímulos auditivos e visuais.

Outro aspecto relevante é o reforço da sensação de imersão no ambiente virtual. Ao olhar pela janela, o usuário consegue visualizar um cenário externo composto por edifícios, carros estacionados e veículos em movimento ao fundo, como mostra a figura 42. Esses elementos foram inseridos com o objetivo de criar a percepção de um espaço vivo e contínuo além da sala principal, contribuindo para uma experiência mais envolvente.

Figura 42 – Mostrando o exterior do Point&Click



Fonte: Autor (2025)

Após a etapa de desenvolvimento, o funcionamento do programa ocorre da seguinte maneira: o usuário é inserido em um ambiente virtual no formato de um quarto, contendo diversos objetos distribuídos ao redor. A observação do cenário é realizada por meio da movimentação da cabeça, utilizando o giroscópio do dispositivo, enquanto o deslocamento dentro do ambiente ocorre ao direcionar o olhar para cilindros de cor ciano, que funcionam como pontos de teletransporte.

À frente do usuário há uma tela que exibe, em inglês, o nome do objeto que deve ser selecionado. As palavras foram organizadas de modo progressivo, iniciando por termos mais simples e avançando gradualmente em dificuldade, incluindo: *Telephone*, *Paper*, *Book*, *Trash*, *Battery*, *Boombox*, *Ladder*, *Guitar*, *Broom* e *Crowbar*. Esse procedimento

busca estimular o aprendizado associativo entre a palavra escrita e o objeto tridimensional correspondente.

Para tornar a experiência mais envolvente e reduzir a sensação de monotonia, foi incorporada uma trilha sonora ambiente. Além disso, quando o usuário interage com um objeto, o sistema fornece uma resposta imediata: a tela indica se a escolha foi correta ou incorreta, acompanhada de um efeito sonoro correspondente, reforçando o processo de aprendizagem por meio de estímulos visuais e auditivos. Por fim a figura 43 mostra o resultado final do programa:

Figura 43 – Versão final do Point&Click



Fonte: Autor (2025)

6.5 Desenvolvimento do programa VR-Lab

Primeiramente, é fundamental destacar os principais fatores que motivaram a criação deste projeto. Um dos aspectos mais relevantes está relacionado ao alto custo dos equipamentos laboratoriais, que representa uma barreira significativa para a implementação de laboratórios didáticos, especialmente em instituições públicas de ensino.

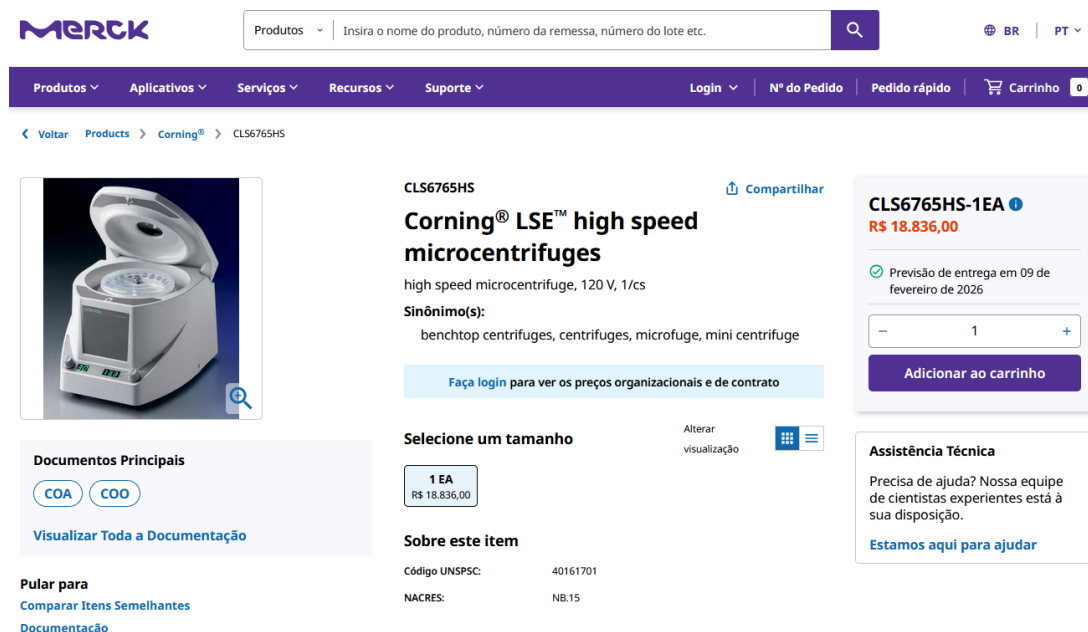
No contexto brasileiro, o preço de materiais básicos pode ser bastante elevado: um béquer, por exemplo, pode custar entre R\$ 500,00 e R\$ 1.200,00, conforme ilustrado na Figura 44, enquanto uma mini centrífuga pode ultrapassar o valor de R\$ 18.000,00, conforme mostrado na Figura 45.

Figura 44 – Site com o custo de um béquer

The screenshot shows the Merck website interface. At the top, there is a search bar and navigation links. The main content area features a large image of a PYREX® Griffin beaker (CLS10003L) with a capacity of 3,000 mL. Below the image, there are links to 'Documentos Principais' (COA, COO) and a button to 'Visualizar Toda a Documentação'. To the right of the image, the product name 'PYREX® Griffin beakers' is displayed, along with its description 'low form, capacity 3,000 mL'. A 'Sinônimo(s):' section lists 'Pyrex® beakers, Pyrex® glass beakers, beakers, glass beakers, Corning® 1000'. Below this, there is a button to 'Faça login para ver os preços organizacionais e de contrato'. Further down, a 'Selecione um tamanho' section shows two options: '1 EA' for R\$ 585,00 and '6 EA' for R\$ 1.200,00. To the right of the pricing section, there is a 'Compartilhar' button and a 'Assistência Técnica' section. The 'Assistência Técnica' section includes a message: 'Precisa de ajuda? Nossa equipe de cientistas experientes está à sua disposição. Estamos aqui para ajudar'.

Fonte: Sigma-Aldrich (2025)

Figura 45 – Site com o custo de uma mini centrífuga



The screenshot shows the Merck website interface. At the top, there is a search bar with the text 'Produtos' and a placeholder 'Insira o nome do produto, número da remessa, número do lote etc.'. Below the search bar is a navigation menu with links for 'Produtos', 'Aplicativos', 'Serviços', 'Recursos', and 'Suporte'. On the right side of the menu are links for 'Login', 'Nº do Pedido', 'Pedido rápido', and a shopping cart icon labeled 'Carrinho' with a '0' next to it. The main content area features a product image of a Corning LSE high speed microcentrifuge. To the right of the image, the product name 'Corning® LSE™ high speed microcentrifuges' is displayed, along with the description 'high speed microcentrifuge, 120 V, 1/cs'. Below this, the synonym 'benchtup centrifuges, centrifuges, microfuge, mini centrifuge' is listed. A blue button labeled 'Faça login para ver os preços organizacionais e de contrato' is present. To the right of the product information, a price tag shows 'CLS6765HS-1EA' for 'R\$ 18.836,00'. Below the price tag, there is a green checkmark indicating 'Previsão de entrega em 09 de fevereiro de 2026' and a quantity selector set to '1'. A purple button labeled 'Adicionar ao carrinho' is located below the quantity selector. On the left side of the product image, there is a section titled 'Documentos Principais' with links for 'COA' and 'COO', and a link to 'Visualizar Toda a Documentação'. Below this, there is a section titled 'Pular para' with links for 'Comparar Itens Semelhantes' and 'Documentação'. On the right side of the product information, there is a section titled 'Assistência Técnica' with the text 'Precisa de ajuda? Nossa equipe de cientistas experientes está à sua disposição.' and a link 'Estamos aqui para ajudar'.

Fonte: Sigma-Aldrich (2025)

Esses custos tornam inviável, para muitas escolas de ensino fundamental e médio com recursos limitados, a manutenção de um laboratório de química devidamente equipado. Essa limitação compromete o aprendizado prático dos estudantes, restringindo o contato com experimentos reais e reduzindo o engajamento com os conteúdos científicos.

Outro fator que motivou o desenvolvimento deste programa está diretamente relacionado à segurança durante a realização de experimentos químicos. O manuseio inadequado de substâncias perigosas e o desconhecimento dos procedimentos laboratoriais podem levar a acidentes graves, especialmente quando os experimentos são conduzidos por estudantes ou profissionais em fase inicial de formação.

Um exemplo de um acidente envolvendo uma reação química foi relatado pela CSB News ou *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board*, publicado em 19 de outubro de 2011, que descreveu uma explosão no laboratório de química da *Texas Tech University*, em Lubbock (EUA), durante experimentos com compostos energéticos, especificamente um derivado da perchlorato de hidrazina e níquel (NHP). A investigação da CSB revelou que dois estudantes de pós-graduação estavam envolvidos, um deles com cerca de um ano de experiência no projeto e o outro em fase inicial de treinamento. Durante a síntese, os pesquisadores escalonaram a produção de menos de 300 mg para aproximadamente 10 g, ignorando um limite verbal de 100 mg previamente estabelecido,

que nunca fora formalizado por escrito ou fiscalizado. A falha culminou quando o uso de um pilão sobre o composto causou sua detonação, resultando em ferimentos graves, na figura 46 mostra o resultado desse acidente.

Figura 46 – Acidente laboratorial na Universidade do Texas



Fonte: CSB News (2011)

A análise da CSB identificou deficiências sistêmicas de segurança e gestão: ausência de comunicação formal das restrições operacionais, falta de monitoramento de conformidade, histórico de quase-acidentes anteriores ignorados (desde 2007) e omissões no plano de higiene química da universidade. A agência apontou que, no contexto acadêmico, além dos riscos de exposição química, há lacunas nas diretrizes para perigos físicos, diferente da indústria, que possui regulamentos mais consolidados.

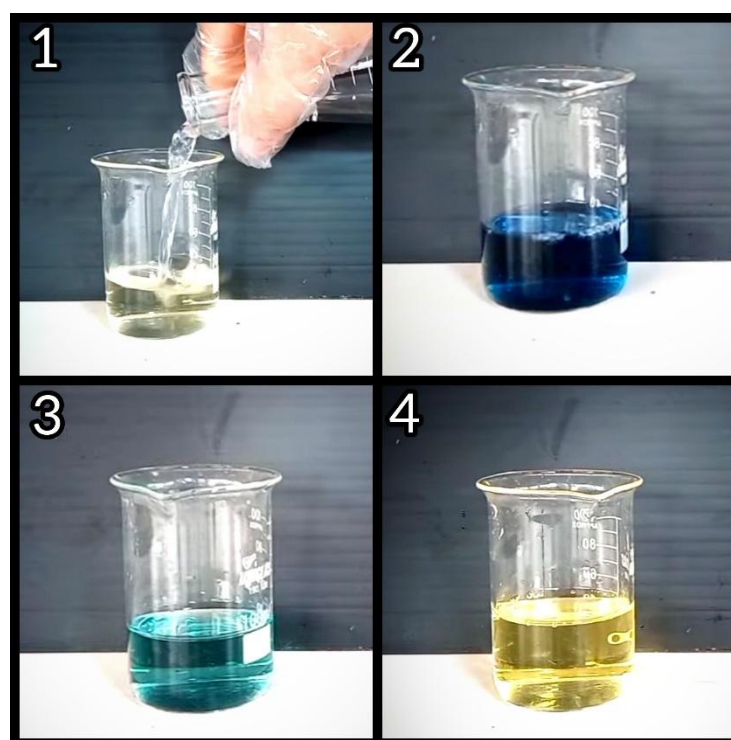
Situações como essa poderiam ser prevenidas se os estudantes tivessem acesso prévio a simulações virtuais, dessa forma foi iniciado o desenvolvimento do VR-Lab e a primeira coisa a ser feita foi escolher qual reação deve ser simulado dentro do ambiente virtual.

Situações como a relatada poderiam ser mitigadas ou até mesmo evitadas se os estudantes tivessem acesso prévio a simulações em ambientes virtuais, que permitissem compreender e praticar os procedimentos laboratoriais de forma segura antes do contato com substâncias reais. A partir dessa constatação, iniciou-se o desenvolvimento do VR-

Lab, um laboratório virtual voltado para o ensino de química, com foco em treinamento, segurança e aprendizado imersivo.

A primeira etapa desse desenvolvimento consistiu em selecionar o experimento químico que seria reproduzido dentro do ambiente virtual. Optou-se pela oxidação da dipirona, reação estudada pelo pesquisador Kalgutkar (2002). Essa escolha se deve a diversos fatores: trata-se de uma reação relativamente moderna, com relevância científica no campo da química farmacêutica; apresenta mudanças visuais perceptíveis durante o processo oxidativo, vide figura 47, o que facilita a compreensão dos fenômenos químicos envolvidos e além disso, é um experimento acessível e de baixo custo, utilizando reagentes simples e amplamente disponíveis, como água, água sanitária (hipoclorito de sódio) e dipirona sólida.

Figura 47 – Experiência da oxidação da dipirona



Fonte: Julio César de Athayde Rabelo (2024)

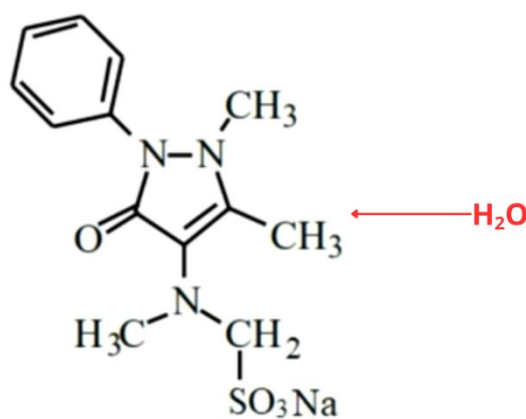
Primeiro é necessário explicar o que é a dipirona, também conhecida como metamizol sódico, um remédio amplamente utilizado no alívio de dores, na redução da febre e no relaxamento muscular, sendo indicada para tratar dores de cabeça, cólicas, febres altas e desconfortos musculares. Após ser administrada, a dipirona é consumida pelo

organismo, originando compostos ativos que atuam no sistema nervoso central, inibindo a percepção da dor e a resposta febril (Jasiecka; Maślanka; Jaroszewski, 2014). Apesar de sua ampla utilização em países como o Brasil, seu uso é restrito ou proibido em alguns lugares devido a possíveis efeitos adversos raros, como a agranulocitose, uma condição que reduz a produção de glóbulos brancos (Pires; Oliveira, 2015).

Para a explicação detalhada do experimento, foram utilizadas como referência a pesquisa publicada por Kalgutkar, o vídeo “Oxidação da Dipirona”, produzido pelo professor Rodrigo Bispo Bragança, do canal Química Integral e o estudo realizado por Julio César de Athayde.

O experimento inicia-se com a adição de dipirona sólida à água gelada, procedimento que tem como objetivo prolongar a duração da coloração azul formada durante a reação, conforme ilustrado na figura 48.

Figura 48 – Mistura de Dipirona sólida com água



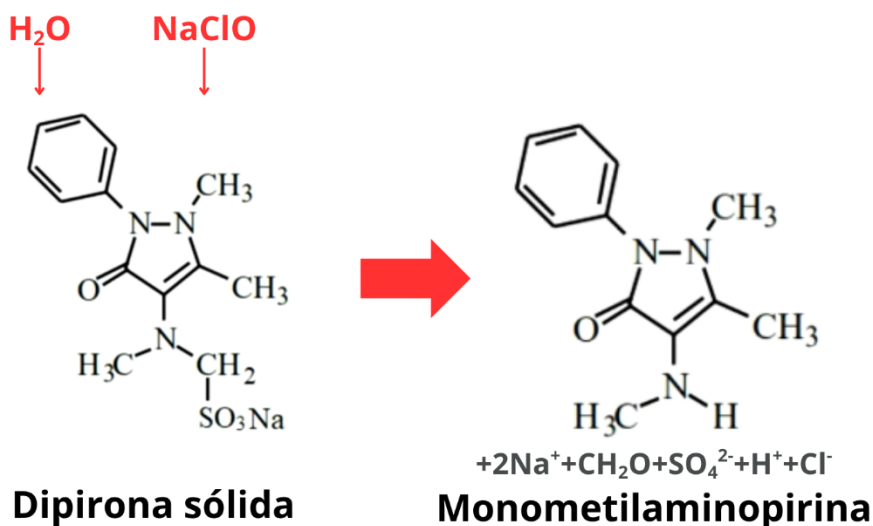
Dipirona sólida

Fonte: Rodrigo Bispo Bragança (Adaptado)

Após a adição de água gelada, o próximo passo consiste na incorporação de água sanitária (hipoclorito de sódio, NaClO) à solução. O hipoclorito atua como agente oxidante, reagindo com a molécula de dipirona. Nessa etapa inicial de oxidação, ocorre a clivagem do grupo sulfônico ligado ao nitrogênio terminal da dipirona, seguida pela formação de um intermediário denominado Monometilaminopirina. Esse processo também gera pequenas espécies iônicas e subprodutos, como íons sódio (Na^+), cloreto (Cl^-), formaldeído (CH_2O) e

sulfato (SO_4^{2-}), conforme representado esquematicamente pela figura 49.

Figura 49 – Mistura de Dipirona sólida com água e hipoclorito de sódio



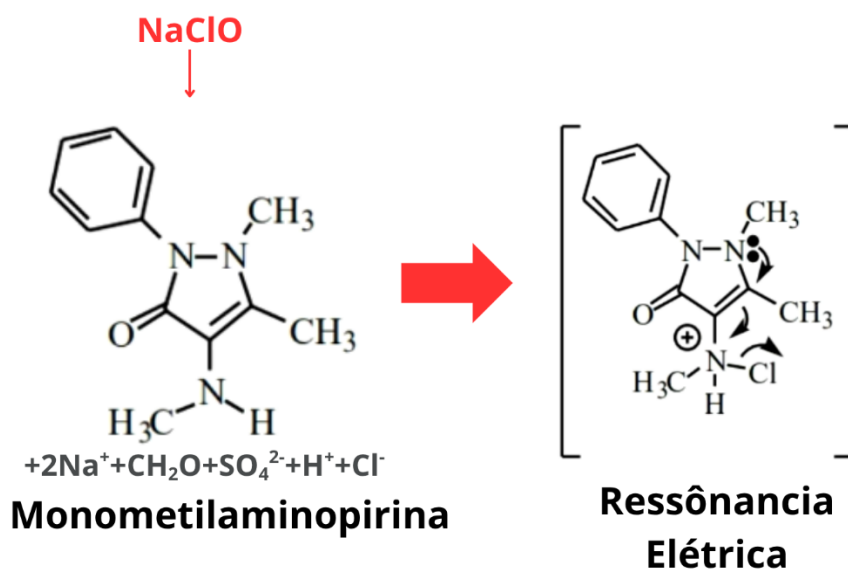
Fonte: Rodrigo Bispo Bragança (Adaptado)

Após sua formação, a monometilaminopirina reage novamente com o hipoclorito de sódio, dando início a uma nova etapa do processo de oxidação. É importante destacar que a dipirona, por ser estruturalmente derivada da aminopirina, possui um anel de pirazol com ligações duplas conjugadas e grupos funcionais capazes de estabilizar cargas. Essa estrutura confere à molécula um sistema de elétrons π deslocalizados, permitindo o fenômeno conhecido como ressonância eletrônica.

A ressonância atua, de maneira simplificada, como um mecanismo de distribuição da carga elétrica ao longo do anel heterocíclico. Em vez de permanecer concentrada em um único átomo, o que tornaria o intermediário extremamente instável, a carga positiva gerada durante o processo de oxidação é compartilhada entre vários átomos da estrutura.

Conforme ilustrado na Figura 50, os deslocamentos eletrônicos indicados pelas setas mostram diferentes estruturas de ressonância que contribuem para a estabilização desses intermediários.

Figura 50 – Mistura de Monometilaminopirina e hipoclorito de sódio

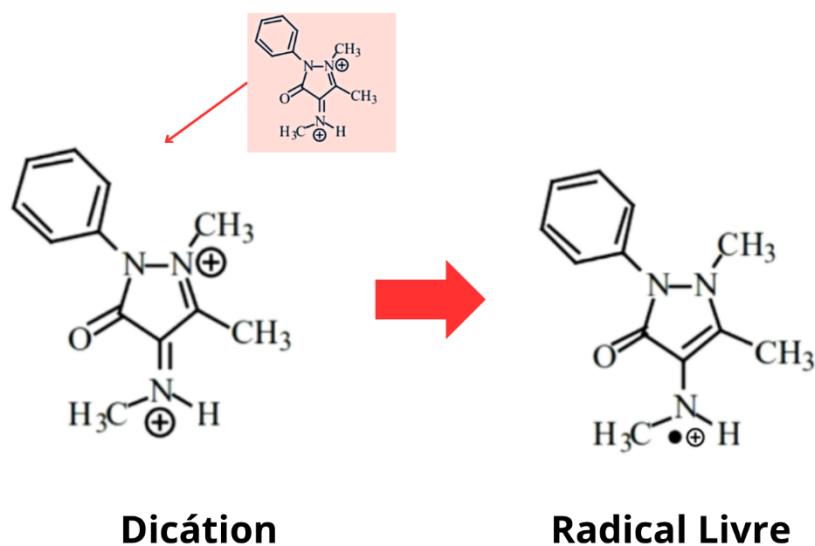


Fonte: Rodrigo Bispo Bragança (Adaptado)

Após a etapa de ressonância eletrônica, forma-se um intermediário altamente instável conhecido como dicátion. Essa espécie, devido à sua elevada energia e distribuição de cargas positivas, sofre rapidamente uma reação de desproporcionamento. A desproporcionamento é um processo no qual uma mesma espécie química atua simultaneamente como agente oxidante e redutor, originando dois produtos com diferentes estados de oxidação (Gunawardena, 2025).

Como resultado dessa etapa, ocorre a formação de um radical livre, mostrado na Figura 51, caracterizado por sua coloração azul (esse radical absorve luz a 420 nanômetros e, portanto, é visto como azul em experimentos.). Esse radical é extremamente reativo e instável, motivo pelo qual continua a participar de transformações subsequentes.

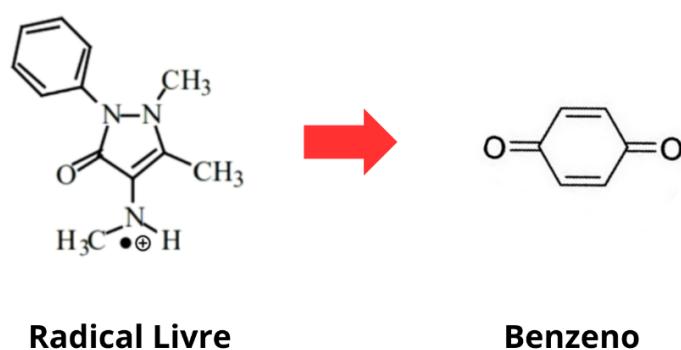
Figura 51 – Desproporcionamento do Dicátion



Fonte: Rodrigo Bispo Bragança (Adaptado)

Durante essa sequência de reações, o radical azul é convertido em outras moléculas mais estáveis, entre elas a benzoquinona. A formação da benzoquinona é responsável pela mudança observada na solução, que evolui de um tom azul intenso para uma coloração amarela, marcando as últimas etapas da oxidação da dipirona, como mostra a figura 52.

Figura 52 – Esquema final da oxidação da dipirona

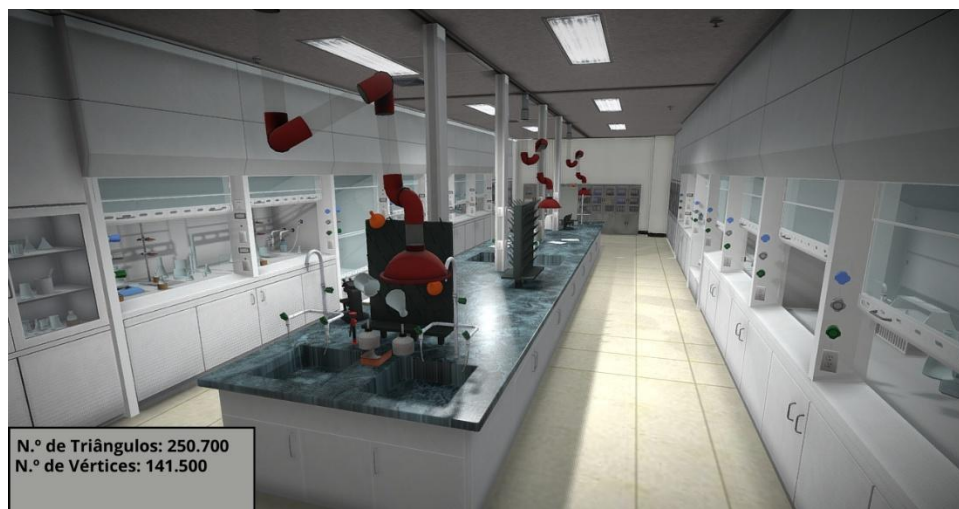


Fonte: Rodrigo Bispo Bragança (Adaptado)

Após a definição da reação química a ser representada no ambiente virtual, foi necessário selecionar os modelos tridimensionais que comporiam a simulação. Diferentemente dos outros programas desenvolvidos no projeto, como a Linha de Processamento de Leite e o Point&Click, que utilizam modelos 3D com baixa contagem poligonal (*low poly*), o laboratório virtual exige objetos com maior nível de detalhamento geométrico. Isso ocorre porque o objetivo, neste caso, é proporcionar ao usuário uma experiência mais imersiva e com alto grau de interatividade, o que demanda modelos visualmente mais complexos. Entretanto, o aumento excessivo no número de polígonos pode prejudicar o desempenho da aplicação, especialmente em dispositivos móveis ou em equipamentos de RV. Portanto, foi necessário encontrar um equilíbrio entre qualidade visual e eficiência, selecionando modelos detalhados para garantir realismo, mas otimizados o bastante para não comprometer a performance do sistema.

Um dos modelos selecionados para compor o ambiente virtual foi o próprio laboratório, mostrado na figura 53. Esse modelo apresenta mais de 250 mil triângulos e aproximadamente 140 mil vértices, valores considerados elevados para uso dentro do framework A-Frame e, principalmente, para execução no óculos Meta Quest 2, que possui apenas 6 GB de memória disponíveis para processamento de aplicações. Em experiências de RV, modelos excessivamente complexos podem causar queda de desempenho, atraso na renderização e diminuição da taxa de quadros, comprometendo diretamente a sensação de imersão e, em casos mais extremos, podendo até gerar desconforto físico ao usuário.

Figura 53 – Modelo 3d do laboratório

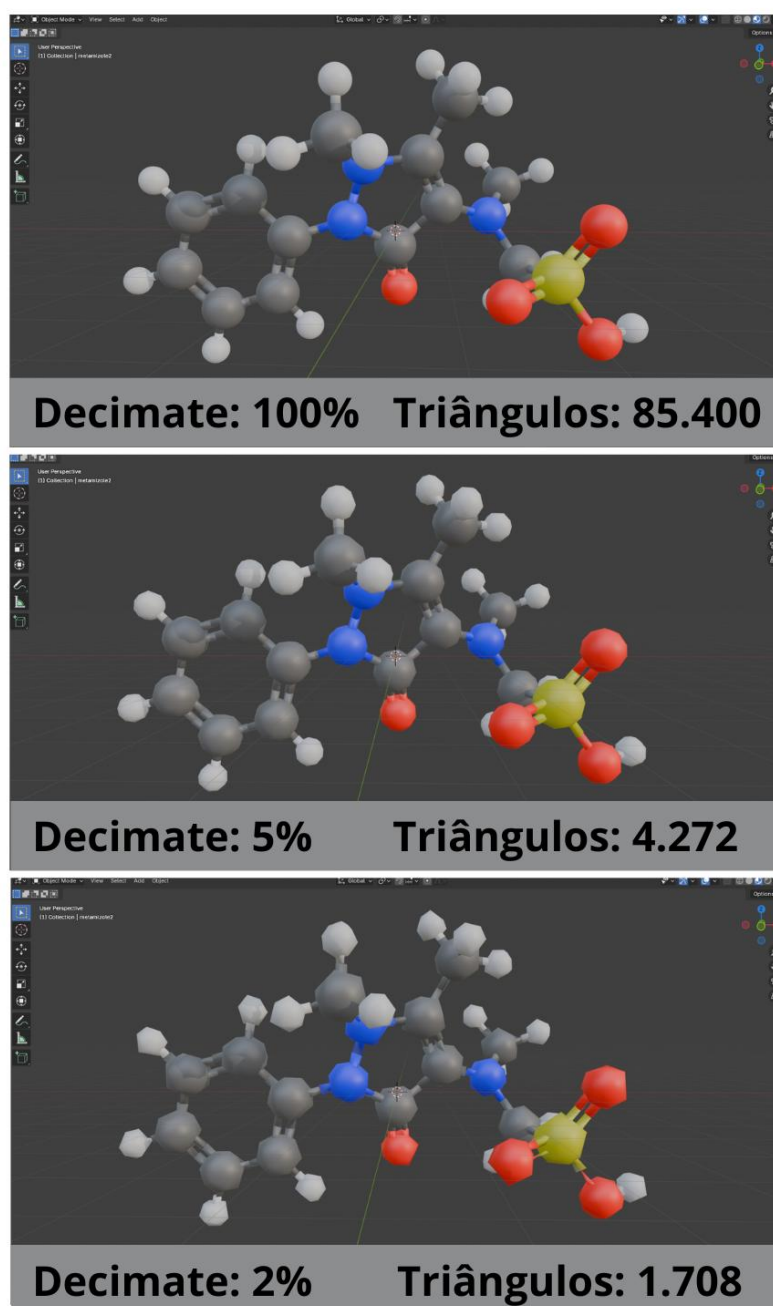


Fonte: adaptado de animod (2024)

Para contextualizar esses valores, é importante compreender a diferença entre vértices e triângulos na construção de um modelo 3D. Os vértices são pontos no espaço tridimensional que definem a estrutura geométrica de um objeto; já os triângulos são formados pela conexão de três vértices e constituem a menor unidade utilizada na renderização gráfica (Chester, 2025). Quanto maior o número de triângulos, maior será a capacidade do modelo de representar superfícies curvas e detalhes, porém, maior também será o esforço computacional necessário para renderizar a cena em tempo real.

Para reduzir a contagem de triângulos dos modelos 3D, foi utilizado o software Blender, que oferece diversas ferramentas de otimização. A mais básica é de remover modelos 3d dentro do ambiente. Porém a outra ferramenta é o modificador *Decimate*, responsável por simplificar a geometria do objeto. Ao aplicar esse recurso, o modelo inicia com um valor de 100%, correspondente à sua malha original. À medida que o percentual é reduzido, o *Decimate* remove triângulos de forma progressiva, diminuindo a complexidade do modelo. No entanto, essa redução acentuada pode comprometer a qualidade visual, gerando superfícies menos suaves ou deformações perceptíveis, a figura 54 exemplifica o funcionamento da ferramenta.

Figura 54 – Mostrando o funcionamento do modificador *Decimate* do Blender



Fonte: Autor (2025)

Outro modelo 3d importante para esse projeto são os modelos 3d das moléculas, para isso foi necessário primeiro pesquisar onde obtém as estruturas 3d das moléculas e para isso foi usado o site PubChem que possui vários modelos tanto 2d quanto 3d de várias moléculas como pode ser visto na figura 55.

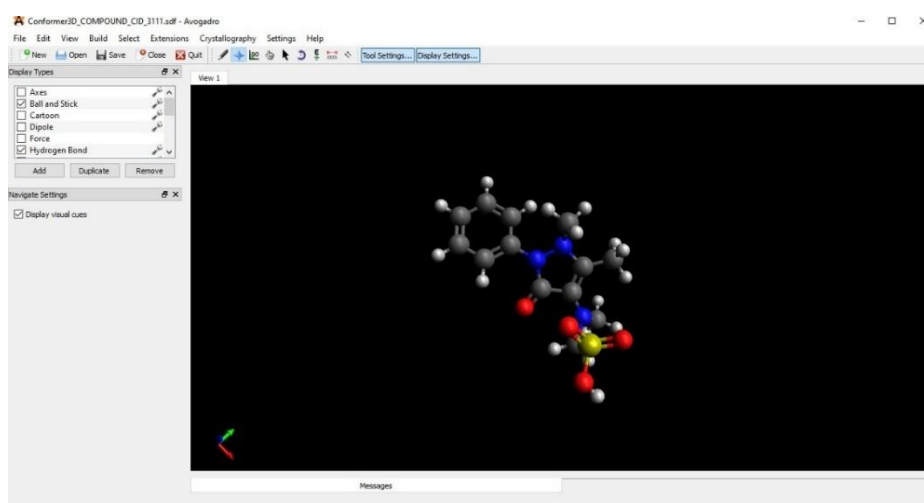
Figura 55 – Modelo 3d da molécula Metamizole



Fonte: PubChem (2025)

Porém o site só fornece o modelo 3d de algumas moléculas e não de todas, casos como: Monometilaminopirina, Dicátion, Radical Livre e Benzoquinona. Para isso foi usado o software Avogadro um programa editor de molécula para criar de forma manual cada molécula, como mostra a figura 56.

Figura 56 – Modelo 3d da molécula Metamizole sendo editado no Avogadro

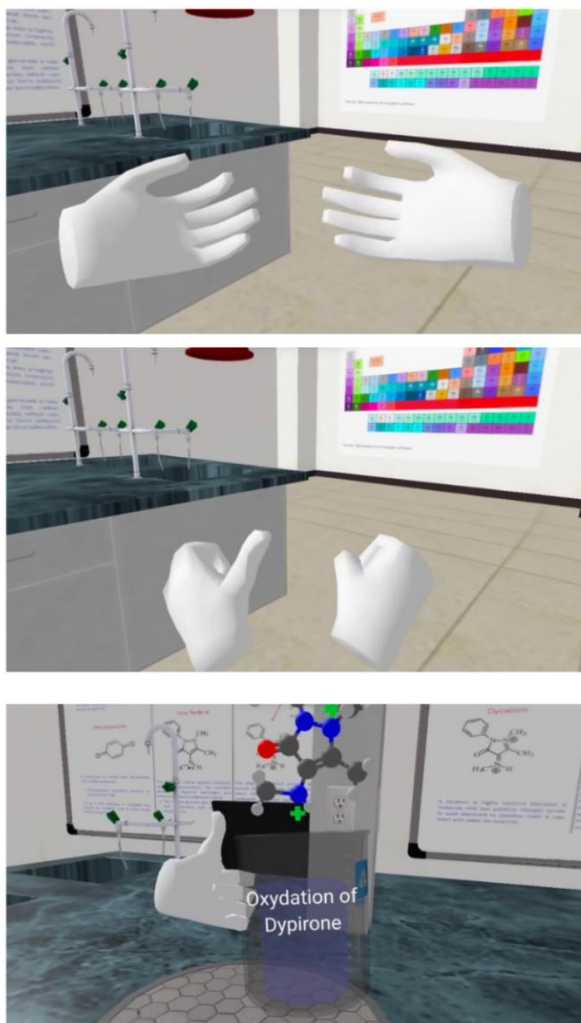


Fonte: Avogadro (2025)

Após a seleção dos modelos 3D e a resolução das etapas relacionadas às estruturas moleculares, iniciou-se a fase de codificação do projeto. O *framework* A-Frame, por ser uma tecnologia de código aberto, conta com uma ampla comunidade que desenvolve e disponibiliza componentes adicionais capazes de expandir suas funcionalidades. Entre esses recursos, destaca-se o pacote *A-Frame Super Hands Component*, utilizado neste trabalho para implementar as interações do usuário com os objetos do ambiente virtual.

Diferentemente dos outros projetos desenvolvidos anteriormente, que dependiam de pontos de teletransporte para a locomoção, nesta aplicação o deslocamento ocorre por meio do analógico dos controles do Meta Quest 2. Além disso, os gatilhos dos controles são utilizados para executar ações como agarrar, soltar, rotacionar ou arremessar objetos, como mostra na imagem 57.

Figura 57 – Funcionamento da ferramenta *A-Frame Super Hands Component*



Fonte: Autor (2025)

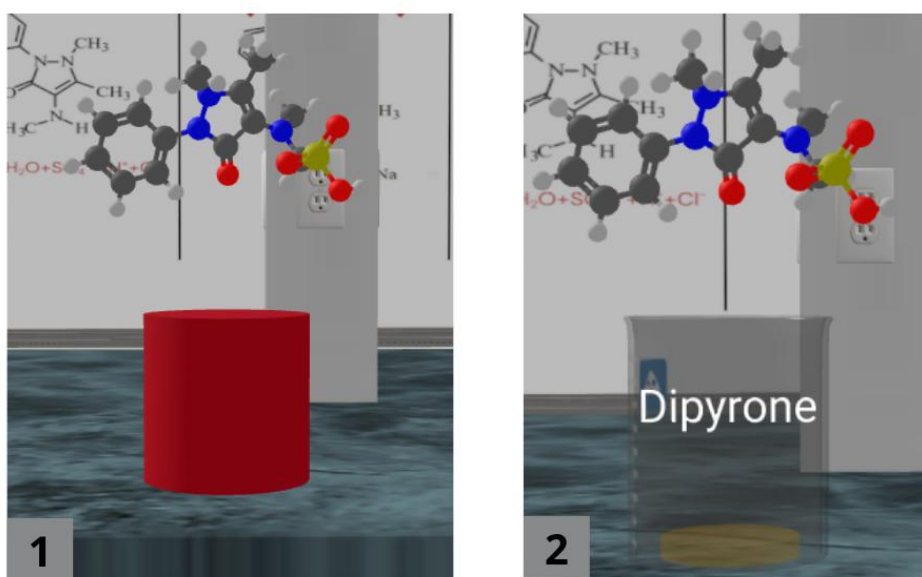
O componente *Super Hands* apresenta uma limitação importante: ele funciona

apenas com os elementos geométricos básicos do A-Frame, como cubos, cilindros, esferas, triângulos e outras primitivas. Isso ocorre porque essas formas já possuem seus formatos previamente mapeados pelo próprio *framework*, permitindo que o *Super Hands* reconheça suas superfícies e calcule corretamente as ações de agarrar, soltar ou colidir.

Entretanto, modelos 3D mais complexos não possuem esse mapeamento automático. Quando um modelo importado apresenta contornos irregulares, superfícies singulares ou curvas detalhadas, o *Super Hands* não consegue interpretar sua forma. Como resultado, não é possível realizar interações físicas diretamente com esses modelos, pois o componente simplesmente não identifica uma área adequada de contato ou não consegue determinar o comportamento esperado durante a manipulação.

Para contornar essa limitação, foi adotada uma abordagem diferente, utilizando um objeto básico do A-Frame como estrutura de interação e posicionando o modelo 3D real dentro dele. Um exemplo disso é o caso do béquer. Como sua forma geral é cilíndrica, foi criado um cilindro invisível, ligeiramente maior do que o próprio béquer, figura 58 parte 1, servindo como “corpo físico” reconhecido pelo *Super Hands*. Esse cilindro funciona como um contêiner interativo: é ele que responde ao agarrar, soltar e colidir, mesmo sem ser visível ao usuário, vide figura 58.

Figura 58 – Interação com objetos 3d usando *Super Hands*



Fonte: Autor (2025)

Dentro desse cilindro invisível foram então inseridos dois objetos: o modelo 3D realista do béquer e um segundo cilindro transparente representando o líquido em seu

interior, figura 58 parte 2. Assim, o usuário tem a impressão de estar segurando diretamente o béquer, quando na verdade está interagindo com uma forma geométrica oculta que permite o funcionamento correto das mecânicas de manipulação. Essa solução mantém a naturalidade visual da experiência, ao mesmo tempo em que garante compatibilidade com as exigências técnicas do componente de interação.

Para implementar a estratégia de interação utilizando um objeto invisível como estrutura física, o programa foi organizado conforme ilustrado na Figura 59.

Figura 59 – Código do som ambiente

```
<a-entity id="glass1" position="-1.791 1 0.685" class="grabbable"
mixin="object4 all-interactions" >
  <a-entity gltf-model="#chemistry_glass_1"
    rotation="0 0 0"
    position="0 -0.05 0.164"
    scale="0.02 0.02 0.02"></a-entity>

  <a-entity text="value: Dipyrone; align: center"
    position="0.073 0.118 -0.002"
    rotation="0 90 0"
  ></a-entity>

  <a-entity id="metamizole" gltf-model="#metamizole"
    rotation="0 90 0"
    position="0 0.375 0"
    scale="0.03 0.03 0.03"></a-entity>

  <a-cylinder
    height="0.20"
    radius="0.1"
    color="#b3071b"
    visible="false"
    position="0 0.06 0"></a-cylinder>

  <a-cylinder
    height="0.020"
    radius="0.07"
    color="#b37c07"
    visible="true"
    material="side:double ; opacity: 0.2"
    position="0 -0.029 0"></a-cylinder>
</a-entity>
```

Fonte: Autor (2025)

A entidade principal (`<a-entity id="glass1">`) funciona como o contêiner que reúne todos os elementos do béquer, além de receber as classes e *mixins* responsáveis por torná-la um objeto interativo, como *grabbable* e *all-interactions*, fornecidas pelo Super Hands. No interior dessa entidade, o modelo 3D do béquer é inserido por meio do componente *gltf-model*, ajustado com rotações, posições e escalas específicas para que seja exibido no local

correto. Em seguida, um rótulo textual é adicionado para identificar a substância presente no recipiente, utilizando o componente *text*. Logo acima do béquer, uma molécula, neste caso, a de Dipirona, é posicionada como modelo 3D, permitindo visualização detalhada pelo usuário.

Para implementar as interações no ambiente virtual foi implementado o código da figura 60.

Figura 60 – Código das interações do VR-Lab

```
<a-mixin id="all-interactions"
  hoverable grabbable stretchable draggable
  event-set__hoveron="__event:    hover-start;    material.opacity:    0.7;
transparent: true"
  event-set__hoveroff="__event:    hover-end;      material.opacity:    1;
transparent: false"
  dynamic-body
></a-mixin>

  <a-mixin id="grab-move"
    hoverable grabbable draggable
    event-set__hoveron="__event:    hover-start;    material.opacity:    0.7;
transparent: true"
    event-set__hoveroff="__event:    hover-end;      material.opacity:    1;
transparent: false"
    dynamic-body
  ></a-mixin>

  <a-mixin id="physics-hands"
    physics-collider phase-shift
    collision-filter="collisionForces: false"
    static-body="shape: sphere; sphereRadius: 0.02"
    super-hands="colliderEvent: collisions;
                  colliderEventProperty: els;
                  colliderEndEvent: collisions;
                  colliderEndEventProperty: clearedEls;"
  ></a-mixin>
<a-entity id="rhand"
  mixin="physics-hands"
  sphere-collider="objects: .grabbable"
  super-hands
  hand-controls="hand: right"></a-entity>

  <a-entity id="lhand"
    mixin="physics-hands"
    sphere-collider="objects: .grabbable"
    super-hands
    hand-controls="hand: left"></a-entity>
```

Fonte: Autor (2025)

No código, primeiro passo consiste em definir *mixins*, que são conjuntos reutilizáveis de propriedades no A-Frame. O *mixin all-interactions* agrega diferentes capacidades fornecidas pelo *Super Hands*, como *hoverable*, *grabbable*, *stretchable* e

draggable, permitindo que o usuário pegue um objeto, o agarre, o estique ou o mova. Além disso, esse *mixin* utiliza o componente *event-set* para alterar a opacidade do objeto quando a mão se aproxima ou se afasta. A propriedade *dynamic-body* também é aplicada, habilitando o comportamento físico do objeto dentro do sistema de colisões e simulações.

O segundo *mixin*, *grab-move*, funciona de forma semelhante ao primeiro, mas é voltado especificamente para objetos que podem ser deslocados e manipulados de maneira mais simples, sem necessidade de estiramento ou outras ações adicionais. Assim como no *mixin* anterior, são incluídos efeitos de proximidade e propriedades de física para garantir que o motor de colisões reconheça corretamente os objetos. Já o *mixin physics-hands* é responsável por configurar as mãos virtuais do usuário. Ele combina as propriedades *physics-collider* e *static-body* para definir uma forma esférica que representa o colisor da mão, garantindo interações precisas com os objetos marcados como "*grabbable*". A configuração *super-hands* é utilizada para detectar eventos de colisão e informar quais elementos estão sendo tocados ou deixados de tocar.

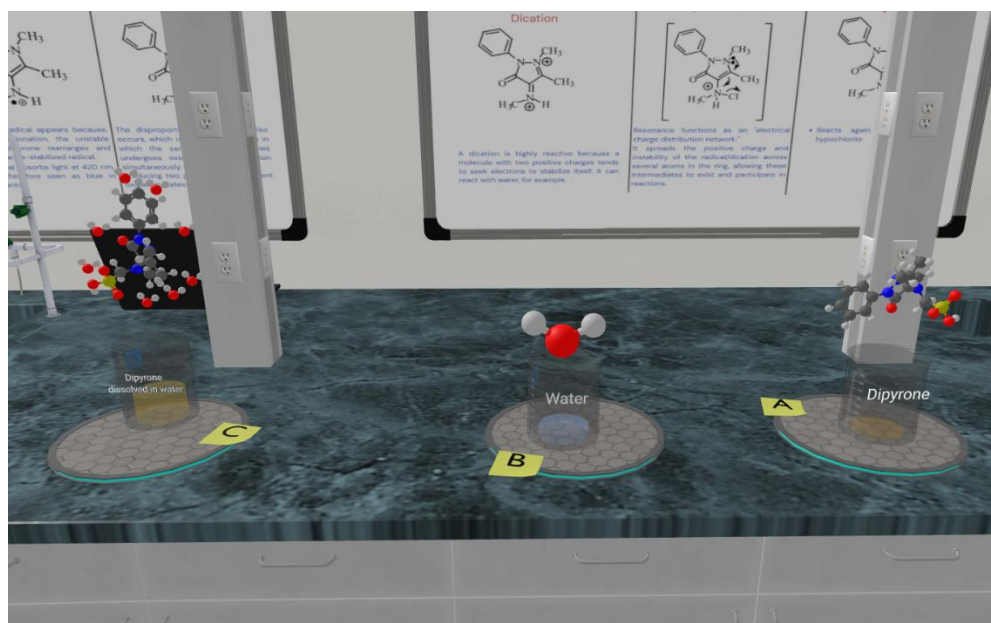
Por fim, as entidades *rhand* e *lhand* representam, respectivamente, a mão direita e a mão esquerda do usuário. Ambas utilizam o *mixin physics-hands*, herdando todo o comportamento de colisão e detecção configurado anteriormente. O componente *sphere-collider* indica que essas mãos deverão interagir apenas com objetos que possuam a classe *.grabbable*, evitando colisões desnecessárias com elementos do ambiente. O componente *hand-controls*, por sua vez, identifica qual controle físico do Meta Quest 2 cada entidade deve acompanhar, fazendo com que os movimentos das mãos virtuais correspondam aos movimentos reais do usuário.

Após desenvolver a lógica de interação do ambiente, o passo seguinte consistiu em recriar a reação de oxidação da dipirona dentro do laboratório virtual. No entanto, o A-Frame não oferece suporte nativo para simulações físicas de líquidos complexos, como permitir que o usuário pegue um líquido de um recipiente e o transfira para outro, mantendo volume, fluxo e comportamento realista. Diante dessas limitações, foi necessário adotar uma outra abordagem que preservasse a compreensão da reação química sem exigir cálculos físicos avançados.

Para isso, foram implementadas três plataformas circulares posicionadas sobre a mesa do laboratório, identificadas como A, B e C. O usuário deve colocar um béquer sobre a plataforma A e outro béquer sobre a plataforma B, seguindo a sequência indicada na atividade. Quando ambos estiverem corretamente posicionados, o sistema reconhece a

configuração e exibe na plataforma C o resultado visual da reação correspondente, segue o exemplo na figura 61.

Figura 61 – Esquema de como a reação é feita dentro do VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

O código da figura 62 mostra como foi implementado essa lógica:

Figura 62 – Código da mistura das reações da oxidação da dipirona

```

AFRAME.registerComponent("check-positions", {
  tick: function () {
    const glass1 = document.querySelector("#glass1");
    const glass2 = document.querySelector("#glass2");
    const glass3 = document.querySelector("#glass3");
    const glass4 = document.querySelector("#glass4");
    const planeA = document.querySelector("#planeA");
    const planeB = document.querySelector("#planeB");

    if (!glass1 || !glass2 || !planeA || !planeB || !glass3) return;

    const g1Pos = glass1.object3D.position;
    const g2Pos = glass2.object3D.position;
    const g3Pos = glass3.object3D.position;
    const g4Pos = glass4.object3D.position;
    const pA = planeA.object3D.position;
    const pB = planeB.object3D.position;

    const tolerance = 0.5;

    const glass1InA = Math.abs(g1Pos.x - pA.x) < tolerance &&
Math.abs(g1Pos.z - pA.z) < tolerance;
    const glass2InB = Math.abs(g2Pos.x - pB.x) < tolerance &&
Math.abs(g2Pos.z - pB.z) < tolerance;
    const glass3InA = Math.abs(g3Pos.x - pA.x) < tolerance &&
Math.abs(g3Pos.z - pA.z) < tolerance;
    const glass4InB = Math.abs(g4Pos.x - pB.x) < tolerance &&
Math.abs(g4Pos.z - pB.z) < tolerance;

    if (glass1InA && glass2InB) {
      console.log("Correct");
      glass3.setAttribute("visible", true);
    }

    if (glass3InA && glass4InB) {
      console.log("Correct");
      glass5.setAttribute("visible", true);
    }
  }
});
document.querySelector("a-scene").setAttribute("check-positions", "");

}
});

```

Fonte: Autor (2025)

O componente *check-positions* utiliza o ciclo de atualização contínua do A-Frame, implementado pelo método *tick()*, para verificar em tempo real a posição dos béqueres em relação às plataformas A e B. Logo no início, o código seleciona os elementos envolvidos na lógica: *glass1* (béquer com 100ml de dipirona sólida), *glass2* (béquer com 150ml de água), *glass3* (béquer com 250ml de dipirona sólida e água) e *glass4* (béquer com 150ml de hipoclorito de sódio), além de duas plataformas circulares (*planeA* e *planeB*). Em seguida, ele obtém as posições tridimensionais desses objetos por meio de *object3D.position*, que

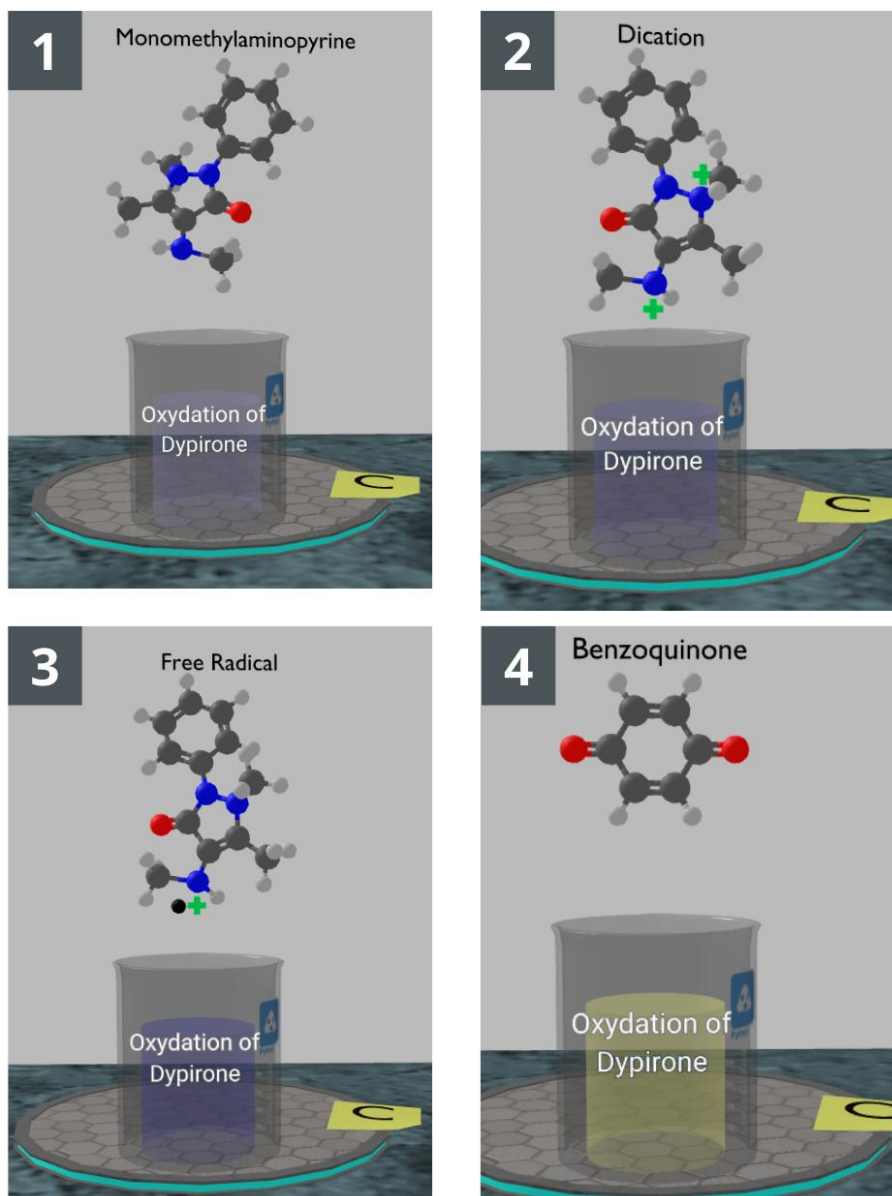
fornece acesso direto aos valores de coordenadas no espaço 3D. Para determinar se um béquer está corretamente posicionado sobre uma das plataformas, define-se uma tolerância espacial de 0,5 unidades; assim, se a distância entre o béquer e a plataforma for menor que esse valor tanto no eixo X quanto no eixo Z, considera-se que o objeto está sobre a plataforma.

Com base nessa comparação, o código calcula quatro condições: *glass1InA*, *glass2InB*, *glass3InA* e *glass4InB*, cada uma indicando se um determinado béquer foi colocado na plataforma correta. Quando *glass1* está em A e *glass2* está em B simultaneamente, o sistema torna visível o terceiro béquer (*glass3*), permitindo que a próxima etapa da reação seja executada. Da mesma forma, quando *glass3*   colocado na plataforma A e *glass4* na plataforma B, o programa mostra a próxima etapa ao tornar visível o elemento *glass5*(béquer com 400ml de água, dipirona sólida e hipoclorito de sódio). Por fim, o componente é ativado ao ser atribuído diretamente à cena por meio de *setAttribute("check-positions", "")*, garantindo que essa verificação seja realizada continuamente enquanto o ambiente estiver em execução.

Após definir o método que acionaria cada etapa da reação, o desafio seguinte consistiu em recriar o próprio processo de oxidação da dipirona dentro do ambiente virtual. Como ilustrado na Figura 47, quando a dipirona é misturada com água sanitária e água gelada, a coloração da solução sofre alterações rápidas e sucessivas. Essas mudanças ocorrem em poucos segundos e dificultam a observação detalhada do fen meno no laboratório real, tornando complexa a explicação de cada etapa da reação enquanto ela acontece.

Diante dessa dificuldade, a proposta do ambiente virtual é permitir que o usuário visualize esse processo de forma controlada, didática e sincronizada. Para isso, a transição das cores do líquido foi representada digitalmente, de modo que cada fase da reação, possa ser exibida no momento exato em que ocorre, vide figura 63. Essa abordagem facilita a compreensão dos estágios intermediários, algo difícil de observar diretamente na prática.

Figura 63 – Mostrando as mudanças de cada etapa da oxidação da dipirona



Fonte: Autor (2025)

Além da alteração gradual da cor do líquido, o modelo 3D da molécula presente no béquer também muda de acordo com cada etapa da reação. Em vez de apenas descrever os intermediários reacionais, o sistema apresenta visualmente a estrutura molecular correspondente a cada fase.

Um dos principais desafios dessa etapa foi garantir a sincronização precisa entre a mudança de cor do líquido e a troca dos modelos 3D das moléculas ao longo da reação. Na primeira implementação, a transição de cores, que ia do azul escuro ao amarelo, foi realizada utilizando o componente *animation* do A-Frame, o qual permite criar alterações

visuais suaves diretamente no HTML do ambiente virtual. Paralelamente, a substituição das moléculas foi controlada por meio de uma lógica em JavaScript puro, que alternava a visibilidade dos modelos 3D, tornando cada molécula visível apenas na etapa correspondente da reação.

Inicialmente, ambas as transições ocorriam de forma sincronizada, dando a impressão de que cor e estrutura molecular evoluíam simultaneamente. No entanto, após alguns minutos de execução, tornou-se evidente que a sincronização se perdia gradualmente. Enquanto a cor avançava em seu ciclo previsto, a alternância das moléculas começava a atrasar ou adiantar, resultando em uma apresentação incoerente dos estágios da reação. Esse problema prejudicava a experiência didática, pois a molécula exibida deixava de corresponder exatamente à fase cromática do líquido.

A causa dessa dessincronização estava relacionada ao modo como o A-Frame e o JavaScript lidam com o tempo. O A-Frame utiliza seu próprio mecanismo interno de controle temporal para animações, enquanto o JavaScript baseia-se no relógio do navegador e em eventos como *setTimeout* ou *setInterval*. Essa diferença de poucos milissegundos entre os dois sistemas pode parecer irrelevante em curtos intervalos, mas se acumula progressivamente com o passar do tempo, até provocar atrasos perceptíveis entre as transições.

Para solucionar o problema, optou-se por unificar o controle temporal sob uma única lógica, totalmente implementada em JavaScript puro. Dessa forma, tanto a mudança gradual da cor quanto a troca dos modelos 3D passam a ser executadas pelo mesmo contador e no mesmo ciclo de atualização, eliminando discrepâncias entre os tempos internos de cada tecnologia. Com isso, foi possível restaurar a sincronia entre as etapas visuais e moleculares da reação, garantindo uma representação coerente, estável e fiel ao processo químico.

Segue o código para solução desse problema na figura 64:

Figura 64 – Código da troca da cor dos líquidos e do modelo 3d das moléculas

```

AFRAME.registerComponent("cycle-molecules", {
  init: function () {
    const monomethylaminopyrine =
document.querySelector('#monomethylaminopyrineMolecule');
    const dication = document.querySelector('#dicationMolecule');
    const radical = document.querySelector('#freeRadicalMolecule');
    const liquid = document.querySelector('#liquid');
    const benzo = document.querySelector('#benzoquinoneMolecule');

    let state = 0;

    const times = [5000, 2000, 5000, 2000, 5000, 5000, 1000, 1000, 1000, 1000,
1000, 1000, 1000, 5000];

    function nextState() {
      monomethylaminopyrine.setAttribute("visible", false);
      dication.setAttribute("visible", false);
      radical.setAttribute("visible", false);
      benzo.setAttribute("visible", false);

      switch (state) {
        case 0:
          monomethylaminopyrine.setAttribute("visible", true);
          liquid.setAttribute("material", "color", "#9493cf");
          break;

        case 1:
          monomethylaminopyrine.setAttribute("visible", true);
          liquid.setAttribute("material", "color", "#7e7ec5");
          break;

        case 2:
          dication.setAttribute("visible", true);
          liquid.setAttribute("material", "color", "#6968bb");
          break;

        case 3:
          dication.setAttribute("visible", true);
          liquid.setAttribute("material", "color", "#5352b2");
          break;

        [...]

        case 13:
          benzo.setAttribute("visible", true);
          liquid.setAttribute("material", "color", "#ffff32");
          break;
      }

      state = (state + 1) % times.length;
      setTimeout(nextState, times[state]);
    }

    nextState();
  }
});

```

Fonte: Autor (2025)

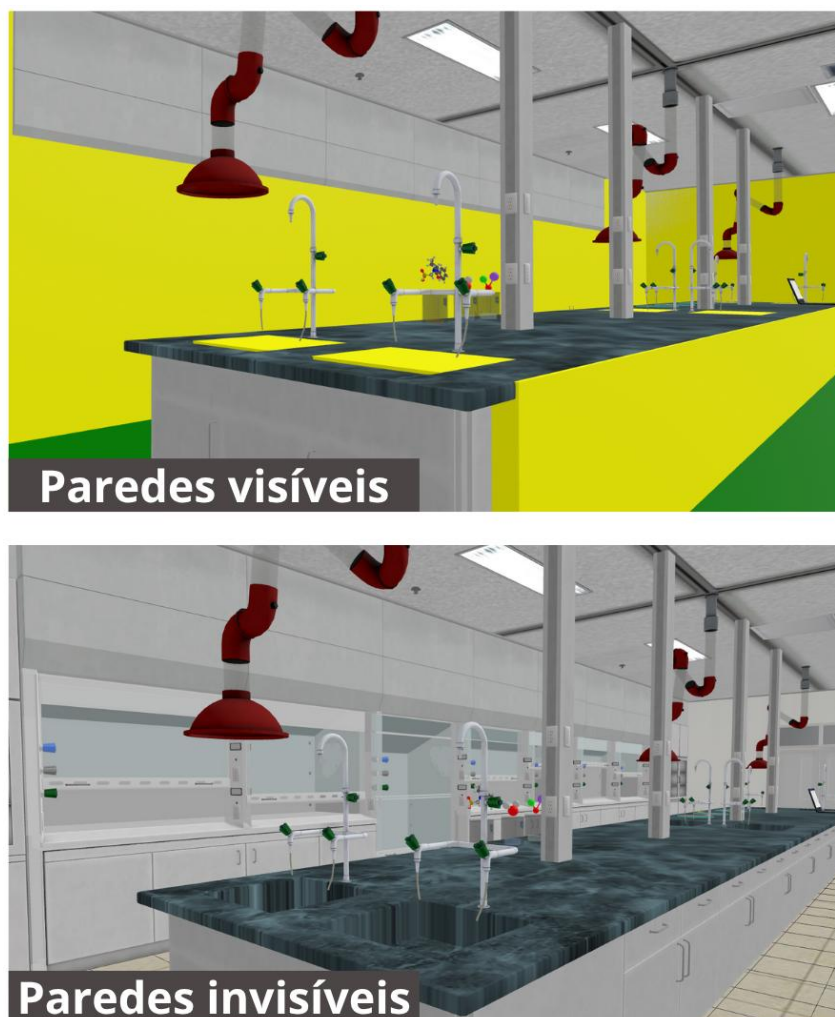
O componente *cycle-molecules* foi desenvolvido para controlar, de forma sequencial, a exibição dos diferentes intermediários moleculares da reação de oxidação da

dipirona, bem como a mudança gradual da cor do líquido no béquer. Na função *init()*, são selecionados os elementos correspondentes a cada molécula, além do cilindro que representa o líquido. Um estado inicial (*state* = 0) é definido, e um vetor chamado *times* armazena a duração de cada etapa da reação em milissegundos. Em seguida, a função *nextState()* é responsável por ocultar todas as moléculas e, com base no valor atual de *state*, exibir apenas a molécula correspondente ao estágio da reação, ao mesmo tempo em que altera a cor do líquido para representar visualmente a mudança cromática observada experimentalmente.

A cada execução de *nextState()*, o estado é incrementado e reiniciado quando atinge o final do vetor. A função *setTimeout()* é utilizada para determinar o tempo de permanência em cada etapa, permitindo que as transições sigam o ritmo programado no vetor *times*. Dessa forma, tanto a evolução da cor quanto a troca dos modelos 3D são controladas pelo mesmo mecanismo temporal, solucionando o problema de dessincronização observado em tentativas anteriores.

Por fim, um dos últimos desafios enfrentados na codificação do VR-Lab foi o controle da liberdade do usuário dentro do ambiente virtual. Como os objetos podem ser manipulados livremente, podendo inclusive ser arremessados para fora da área de simulação, tornou-se necessário implementar mecanismos que evitassem a perda desses elementos ou a saída acidental do usuário dos limites do laboratório. Para resolver esse problema, foram inseridas barreiras invisíveis ao redor de toda a cena, funcionando como paredes físicas que impedem a passagem tanto de objetos quanto do próprio usuário, vide figura 65.

Figura 65 – Mostrando as paredes de contenção visíveis e invisíveis

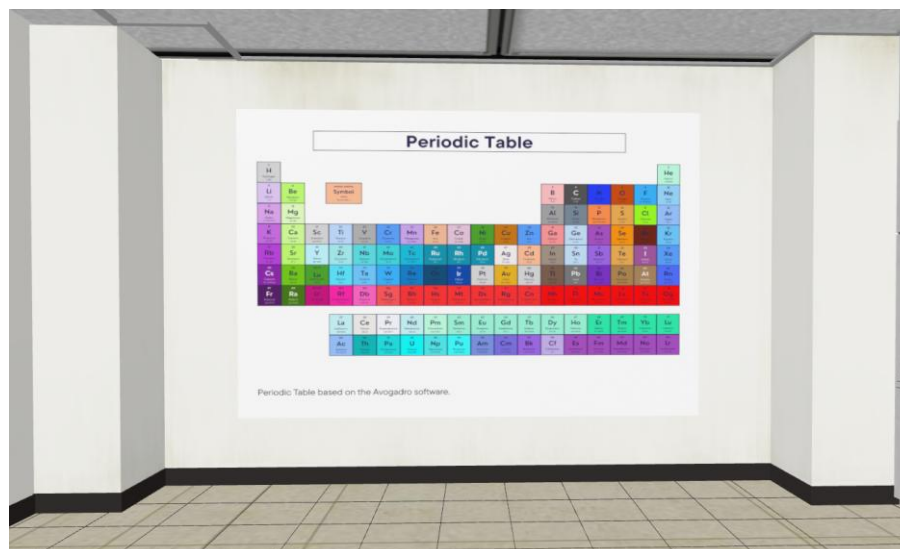


Fonte: Autor (2025)

Essas barreiras garantem que a experiência permaneça estável e coerente, prevenindo comportamentos inesperados.

Após todas essas modificações, o laboratório virtual alcançou seu estado atual. Na parte posterior do espaço, foi incluída uma tabela periódica, permitindo que o usuário consulte rapidamente informações sobre os elementos químicos sempre que necessário, como mostra a figura 66.

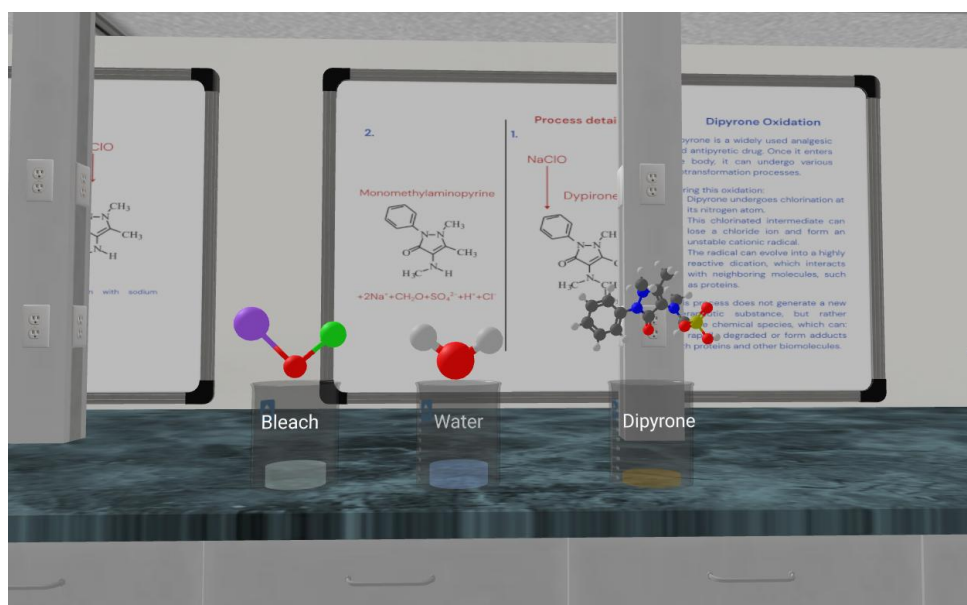
Figura 66 – Tabela Periódica no VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

Na mesa possui três béqueres com os líquidos água sanitária, água e dipirona para realizar o experimento da oxidação da dipirona, vide figura 67.

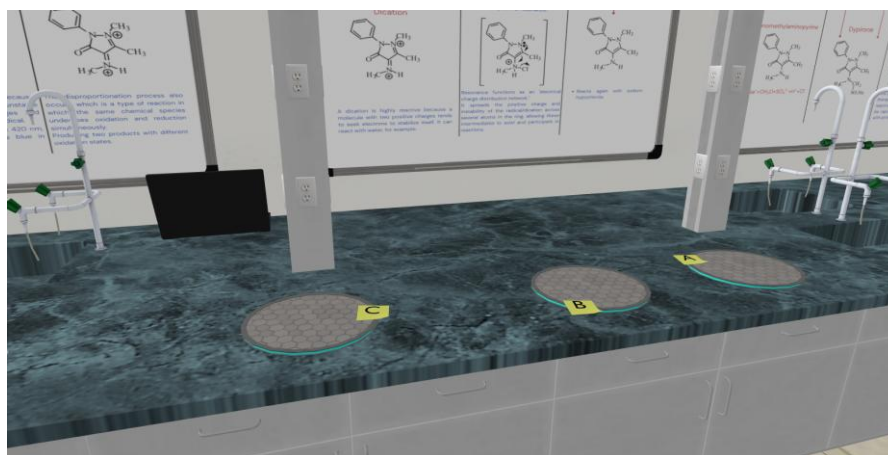
Figura 67 – Béqueres no VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

Na extremidade da mesa estão localizadas as três plataformas circulares responsáveis por ativar as etapas da reação, vide figura 68.

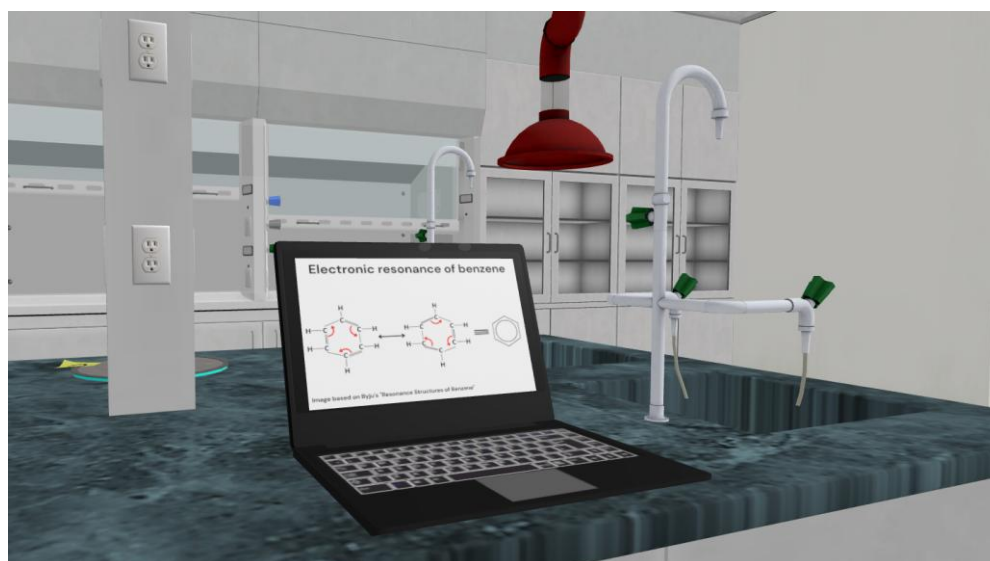
Figura 68 – Plataformas para criar a reação química no VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

No lado oposto da mesa, foi inserido um notebook que exibe um esquema simplificado da ressonância eletrônica do benzeno, vide figura 69.

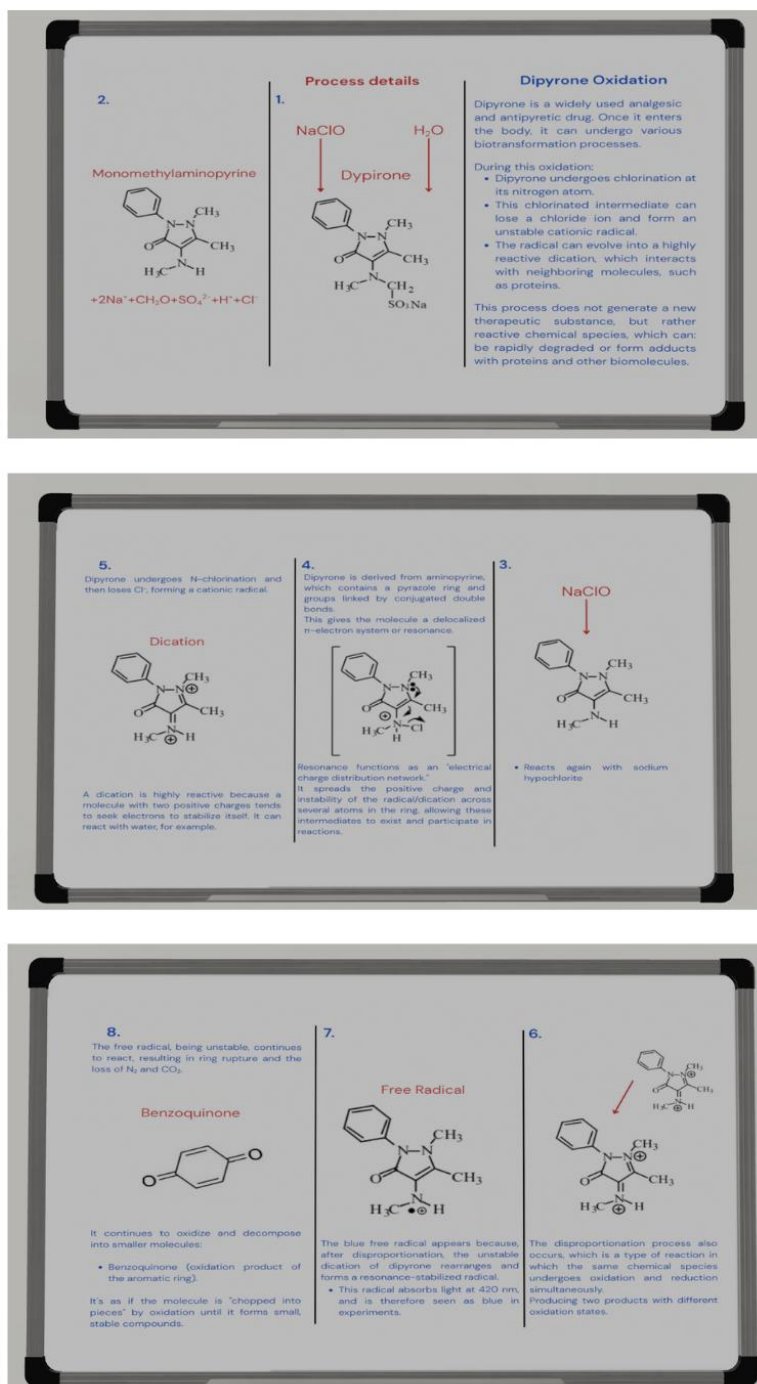
Figura 69 – Notebook mostrando a ressonância eletrônica do benzeno no VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

Por fim, uma das paredes do laboratório virtual contém diversos quadros brancos que apresentam a explicação teórica do processo de oxidação da dipirona, organizados de maneira semelhante ao que se encontra em uma sala de aula tradicional vide figura 70.

Figura 70 – Explicação da oxidação da dipirona no VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

No esquema presente na figura 71 mostra com mais detalhes o ambiente virtual do VR-Lab.

Figura 71 – Mostrando todo o VR-Lab



Fonte: Autor (2025)

7. ORÇAMENTOS

O orçamento foi de financiamento próprio, alguns dos itens como computador e monitor, já foram obtidos antes da criação do projeto. Confira a tabela 2 constando os equipamentos e serviços que foram usados durante o desenvolvimento do projeto:

Tabela 1 – Orçamento dos itens e serviços

Identificação	Material	R\$
1	Óculos virtual	2.700,00
2	Computador	10.000,00
3	Internet (por 2 anos)	2.400,00
4	Monitor	1.200,00
5	Modelos 3D	195,47
	TOTAL	16.495,47

Óculos Virtual: Meta Quest 2

- Resolução: LCD 1832x1920 por olho;
- Frequência: 120Hz;
- Som: áudio posicional 3d;
- Dois controles remotos;
- Memória de armazenamento: 128 GB.

Computador: Dell XPS x8960;

- Processador: 13ª geração Intel® Core™ i7-13700;
- Memória Ram: 32GB DDR5;
- Disco: SSD de 1TB PCIe NVMe M.2;
- Placa de vídeo: NVIDIA® GeForce RTX™ 3060 12GB GDDR6;
- Sistema Operacional: Windows 11 Home Single Language.

Monitor: Monitor LG UltraGear 24" IPS FHD HDMI 24GN60R

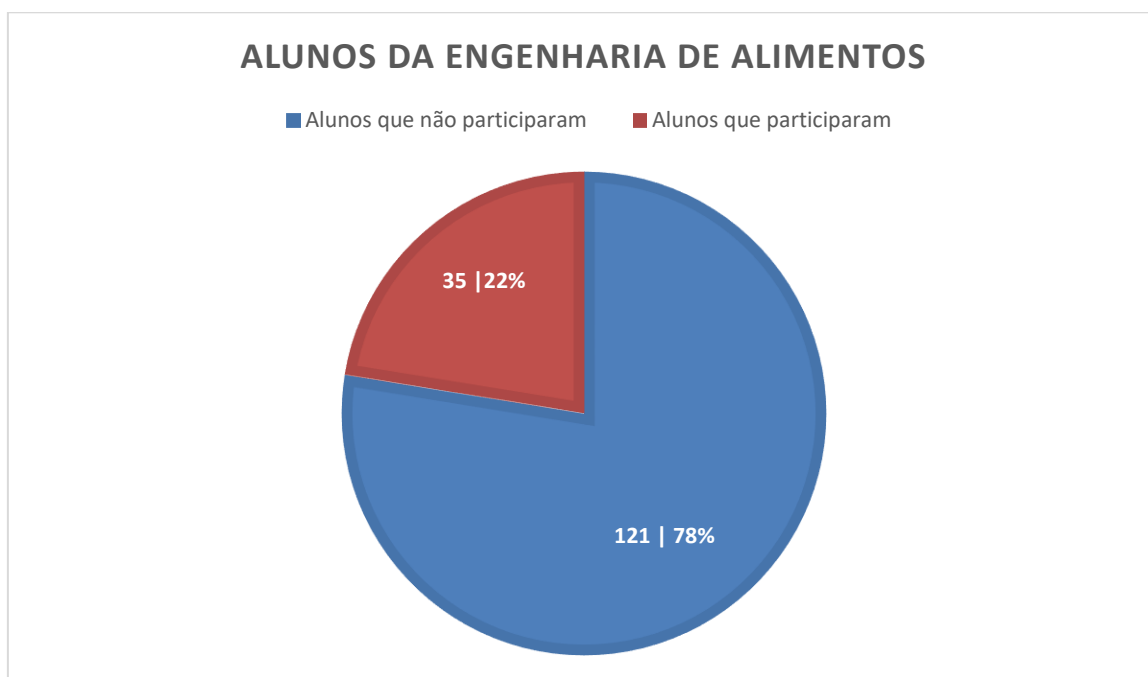
- Marca: LG;
- Tamanho da tela: 24”;
- Proporção da tela: 16:9;
- Resolução: FHD 1080p;
- Tecnologia de Conexão: DisplayPort, HDMI.

8. RESULTADOS OBTIDOS

Após a conclusão de todas as modificações necessárias no programa Linha de Processamento de Leite, foi realizada uma aplicação experimental com estudantes do curso de Engenharia de Alimentos da UFTM. A atividade foi devidamente aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa, sob o parecer nº 91591425.6.0000.5154, garantindo o cumprimento de todas as normas éticas relativas à participação voluntária dos alunos.

Para contextualizar a análise dos resultados apresentados a seguir, é importante compreender o perfil do público envolvido. O curso de Engenharia de Alimentos conta com 156 estudantes regularmente matriculados. Desse total, 35 alunos participaram voluntariamente dos testes com o ambiente de RV. Conforme ilustrado no gráfico da tabela 2, essa quantidade corresponde a 22% do corpo discente, representando uma amostra significativa para a avaliação inicial da ferramenta desenvolvida.

Tabela 2 – Quantidade de alunos que participaram do experimento



Fonte: Autor (2025)

O experimento foi conduzido seguindo uma sequência estruturada de etapas:

1. Inicialmente, os alunos participaram de uma apresentação introdutória de aproximadamente dez minutos, na qual foram explicados os principais processos envolvidos no funcionamento de uma fábrica de processamento de

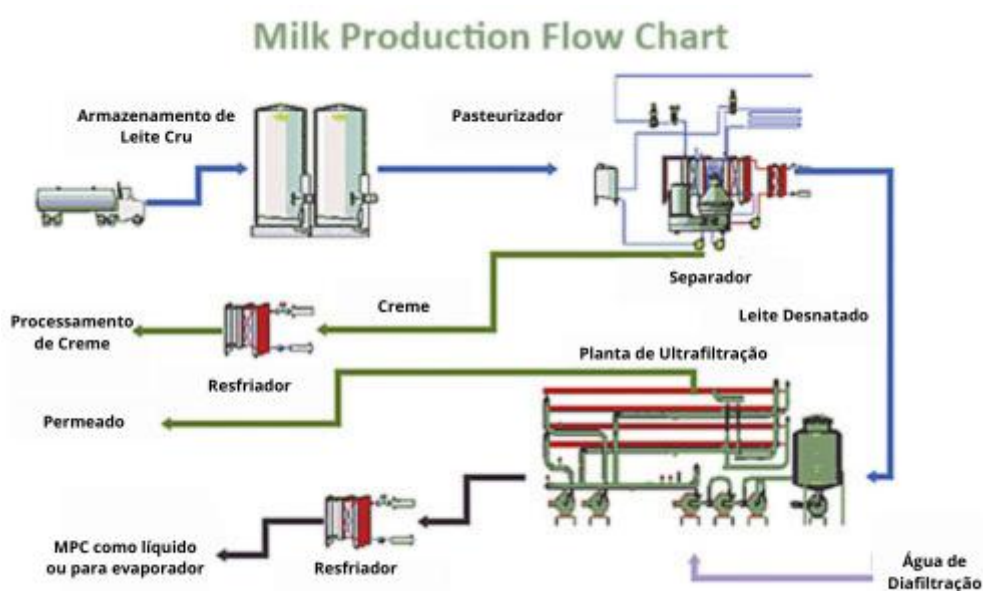
leite

2. Em seguida, tiveram acesso à versão computacional do programa Linha de Processamento de Leite, utilizando-o por cerca de cinco minutos com o objetivo de se familiarizarem com o ambiente e com a lógica da simulação.
3. Após essa etapa inicial, cada participante foi conduzido individualmente a outra sala, onde realizou uma sessão imersiva utilizando o *headset* de RV, também com duração aproximada de cinco minutos
4. Ao final da experiência, todos os alunos responderam a um questionário avaliativo, registrando suas percepções, nível de compreensão e impressões sobre o uso da RV como ferramenta de apoio ao aprendizado.

Esse processo permitiu comparar suas impressões e coletar um parecer valioso sobre a eficácia da ferramenta de RV no apoio ao ensino de engenharia de alimentos.

Esse procedimento permitiu comparar as diferentes impressões dos estudantes e coletar dados relevantes sobre a eficácia da ferramenta no ensino de Engenharia de Alimentos. Para garantir que todos os participantes tivessem uma compreensão mínima do processo antes de interagir com o ambiente virtual, a apresentação inicial foi organizada de forma didática, iniciando-se com a exibição da figura 72, que apresenta o fluxograma de uma linha de produção de leite.

Figura 72 – Esquema de funcionamento de uma linha de produção de leite



Fonte: Adaptado de Agico (2025)

Também foi apresentado aos alunos o modelo 3D ilustrado na figura 73, que representa

uma fábrica de processamento de leite desenvolvida pela Shanghai Beyond Machinery. Essa planta industrial possui capacidade produtiva mínima de dois mil litros de leite por dia, o equivalente a aproximadamente oitenta e três litros por hora, e capacidade máxima de um milhão de litros por dia, ou cerca de quarenta e um mil litros por hora. Esses valores foram destacados para que os estudantes compreendessem a escala real de operação de uma linha de processamento desse porte.

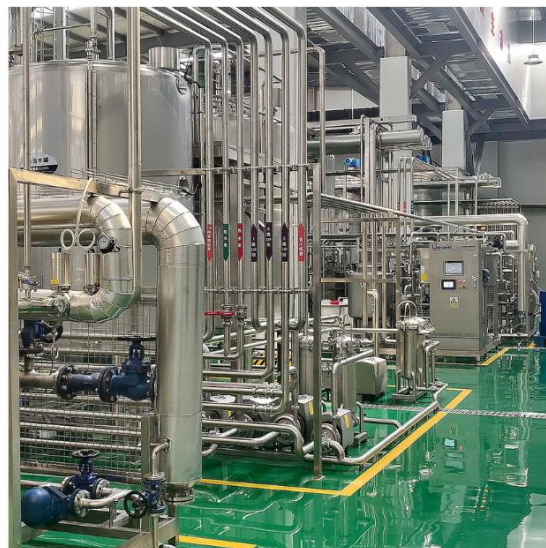
Figura 73 – Modelo 3D de uma fábrica de leite produzida pela *Shanghai Beyond Machinery*



Fonte: Shanghai Beyond Machinery (2025)

Além disso, foram exibidas imagens como as da figura 74, que mostram o interior dessas linhas de produção. Muitos estudantes nunca haviam visitado uma fábrica de processamento de alimentos, e essas imagens forneceram uma visão detalhada do ambiente interno e dos equipamentos utilizados nesse tipo de indústria.

Figura 74 – Imagens do Interior de uma linha de produção de Leite



Fonte: Shanghai Beyond Machinery (2025)

Ao final da apresentação, os participantes foram informados de que a experiência utilizaria óculos de RV, um recurso que pode não ser adequado para todas as pessoas. O

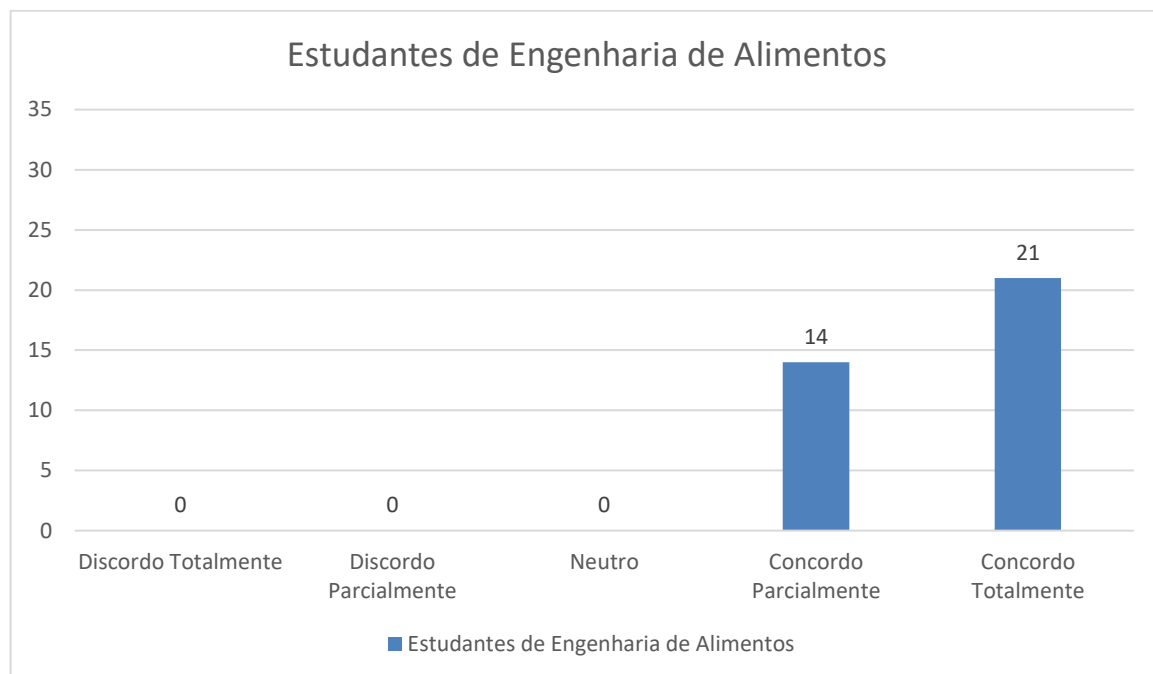
uso prolongado de dispositivos VR pode provocar tontura, náuseas, desorientação, dor de cabeça ou visão turva, especialmente em indivíduos com condições específicas, como:

- Epilepsia ou histórico de convulsões fotossensíveis;
- Labirintite ou distúrbios vestibulares;
- Problemas neurológicos ou de equilíbrio;
- Sensibilidade à luz ou a movimentos rápidos em tela.

Foi enfatizado que, caso qualquer desconforto ocorresse durante a atividade, o participante deveria interromper imediatamente o uso, remover o dispositivo e informar os aplicadores responsáveis. Após essa orientação de segurança, os alunos realizaram a atividade com o headset de RV e, em seguida, responderam aos questionários de avaliação. Os dados obtidos a partir dessas respostas são apresentados a seguir.

01) “Os ambientes virtuais promoveram a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos).”

Figura 75 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 1ª questão



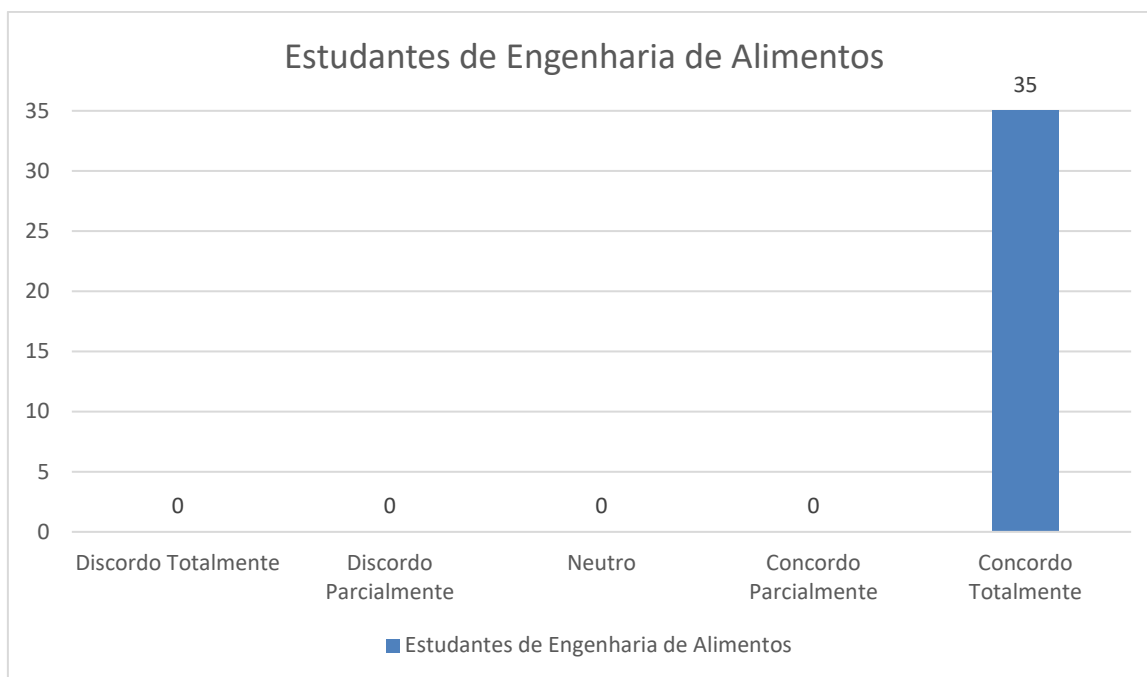
Fonte: Autor (2025)

Na primeira questão, todos os estudantes demonstraram algum nível de concordância com a afirmação de que os ambientes virtuais contribuíram para a compreensão dos conceitos do curso, totalizando 100% de avaliações positivas. Observa-se que 14 alunos (40%) declararam “Concordo Parcialmente”, enquanto 21 alunos (60%) marcaram “Concordo Totalmente”, o que indica não apenas aceitação, mas um alto grau de percepção de utilidade da ferramenta.

A ausência completa de respostas neutras ou negativas reforça a ideia de que a experiência virtual foi eficaz no apoio ao aprendizado relacionado à operação e ao design de sistemas de processamento de alimentos. Além disso, a distribuição dos resultados sugere que, embora parte dos alunos reconheça espaço para melhorias (grupo que concordou parcialmente), a maioria considerou que o ambiente virtual cumpriu plenamente seu objetivo pedagógico.

02) “Os ambientes virtuais melhoram a comunicação e a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos) além do que é possível usar descrições escritas, diagramas e fotografias desses sistemas.”

Figura 76 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 2ª questão



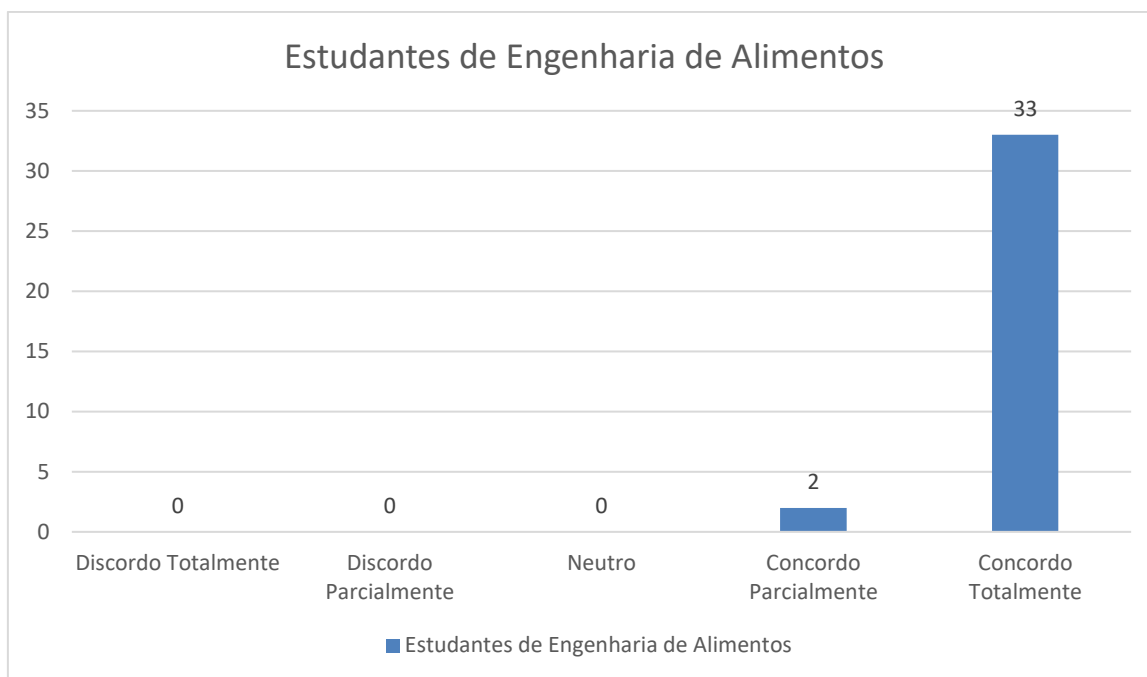
Fonte: Autor (2025)

Os resultados da segunda questão revelam concordância unânime entre os estudantes de que os ambientes virtuais melhoram a comunicação e a compreensão dos conceitos do curso, superando a eficácia de métodos tradicionais como textos, diagramas e fotografias. Todos os 35 participantes (100%) selecionaram a opção “Concordo Totalmente”, não havendo nenhuma resposta neutra ou negativa. Esse comportamento uniforme indica que, para os estudantes, a RV não apenas complementa, mas amplia significativamente a clareza com que os conteúdos são apresentados.

A ausência de variação nas respostas reforça a percepção de que o ambiente imersivo proporciona uma vantagem clara em relação aos recursos convencionais de ensino, oferecendo uma visualização mais rica e intuitiva dos sistemas de processamento de alimentos.

03) “Os ambientes virtuais melhoram a comunicação e a compreensão dos conceitos do curso (ou seja, o design e a operação de certos sistemas de processamento de alimentos) além do que é possível usando vídeos desses sistemas.”

Figura 77 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 3ª questão



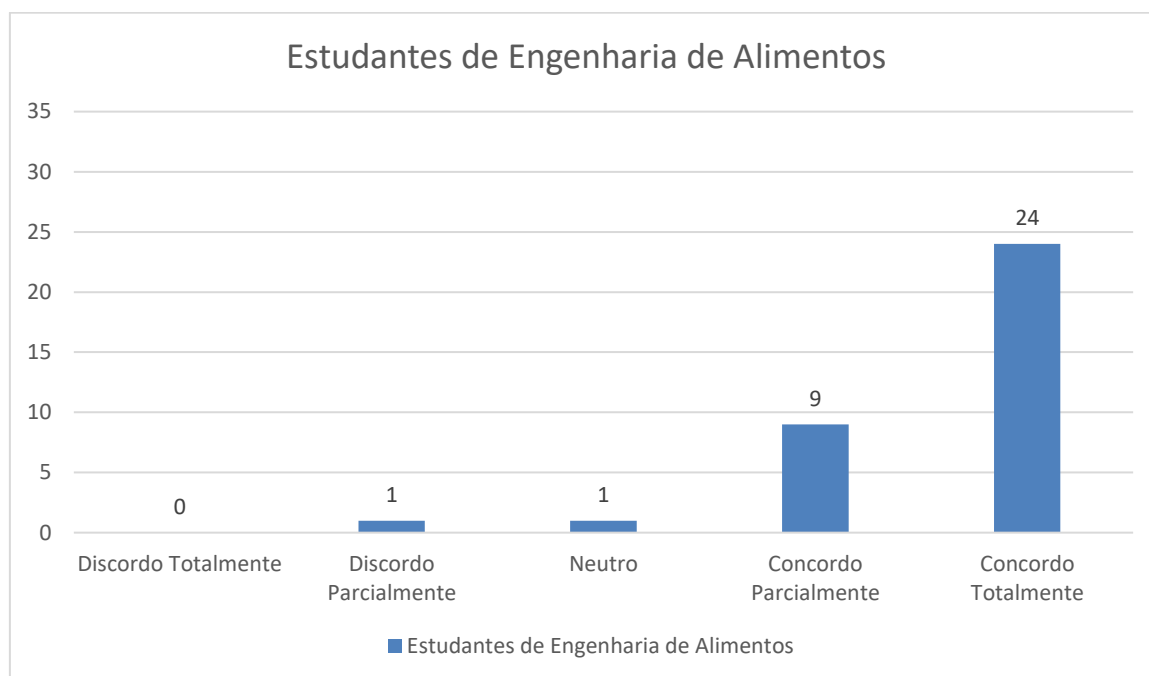
Fonte: Autor (2025)

Os resultados da terceira questão mostram que a grande maioria dos estudantes, 33 dos 35 participantes, ou 94,3%, concordou totalmente que os ambientes virtuais proporcionam melhor comunicação e compreensão dos sistemas de processamento de alimentos do que materiais audiovisuais tradicionais, como vídeos. Apenas 2 alunos (5,7%) marcaram “Concordo Parcialmente”, e nenhuma resposta neutra ou negativa foi registrada. Esses dados reforçam que a percepção dos estudantes é amplamente favorável à RV como ferramenta de ensino.

Esse resultado é particularmente significativo, considerando que vídeos já são reconhecidos como um recurso dinâmico e eficaz em contextos educacionais. Mesmo assim, os alunos identificaram que a RV oferece vantagens adicionais, especialmente pela imersão, interatividade e pela possibilidade de visualizar processos industriais em três dimensões, em escala real e com liberdade de exploração.

04) “Os ambientes virtuais eram agradáveis para interagir.”

Figura 78 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 4ª questão



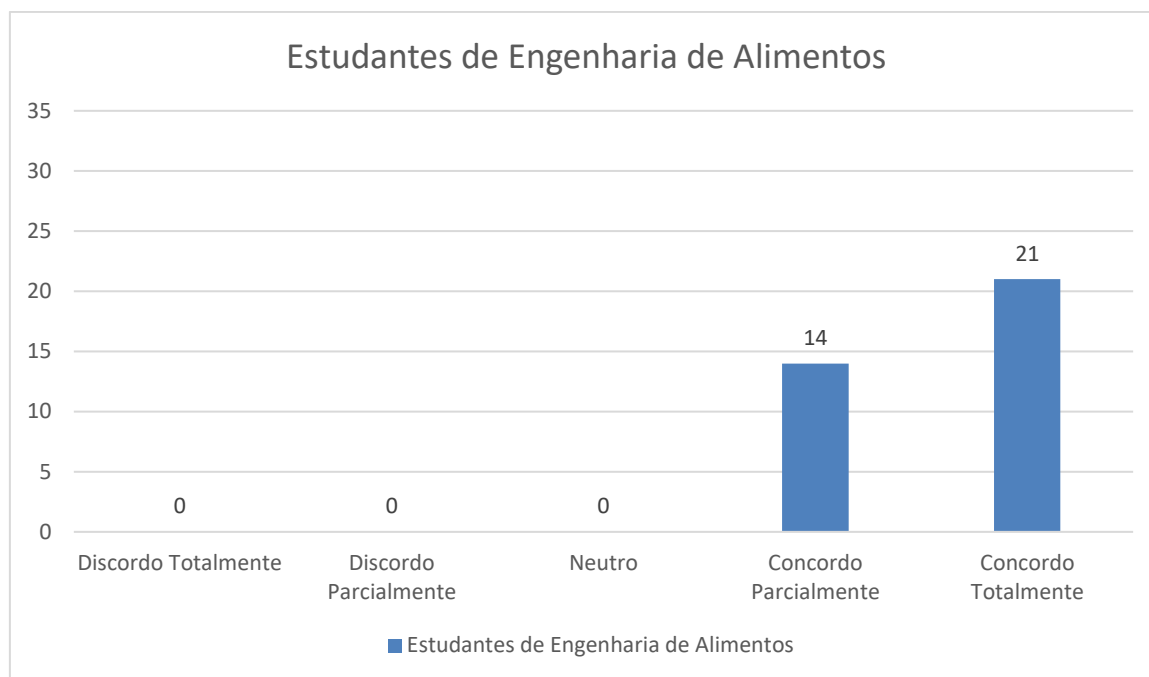
Fonte: Autor (2025)

Os resultados da quarta questão revelam uma avaliação amplamente positiva em relação ao quão agradável foi interagir com o ambiente virtual. Entre os 35 participantes, 24 estudantes (68,6%) afirmaram “Concordo Totalmente”, enquanto 9 alunos (25,7%) marcaram “Concordo Parcialmente”. Apenas dois estudantes deram respostas menos favoráveis: um selecionou “Neutro” e outro “Discordo Parcialmente”, representando juntos 5,8% da amostra. Não houve nenhuma resposta de discordância total.

Embora este seja o resultado com menor índice de concordância total entre as questões analisadas, ele ainda demonstra uma aceitação majoritariamente positiva, com 94,3% dos alunos expressando algum grau de concordância. As duas respostas menos favoráveis são relevantes, pois introduzem nuances na percepção dos estudantes. Essas respostas podem estar associadas a fatores mencionados pelos próprios participantes, como episódios de tontura ou desconforto ocasionais durante o uso do *headset*, fenômeno já documentado na literatura sobre RV. Ainda assim, o conjunto dos dados indica que a experiência foi, de modo geral, considerada agradável e bem recebida pelos alunos.

05) “Os ambientes virtuais aumentaram meu interesse em tópicos de processamento de alimentos.”

Figura 79 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 5ª questão



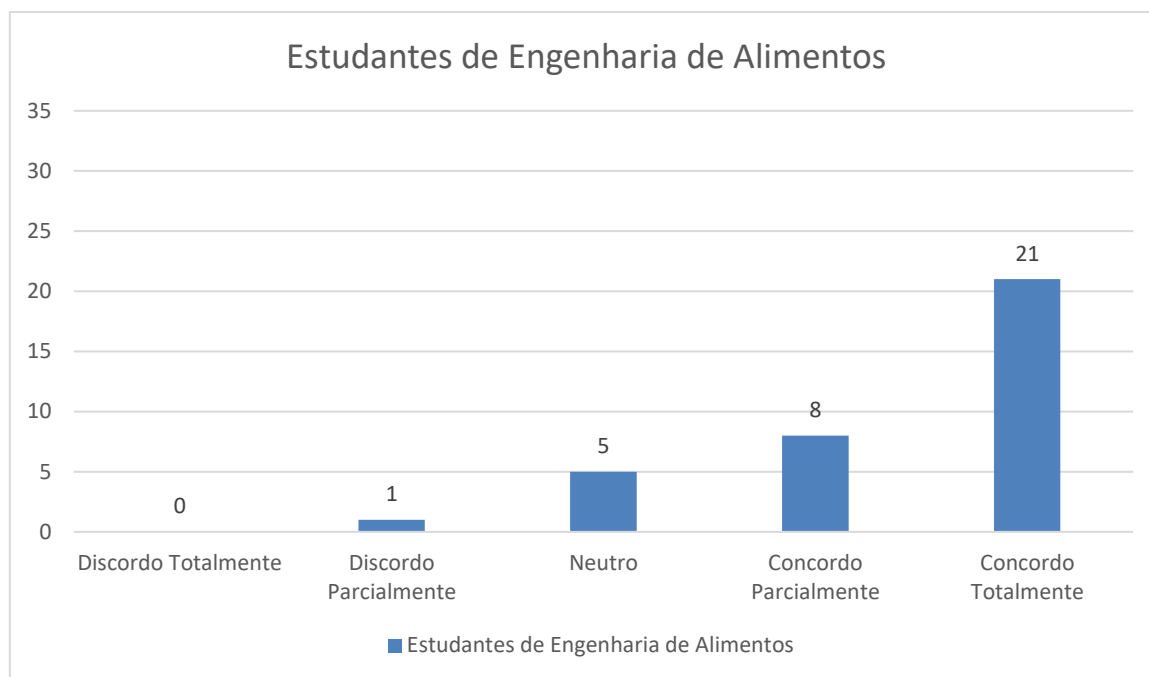
Fonte: Autor (2025)

Todos os 35 alunos afirmaram que seria mais provável buscar educação adicional na área de processamento de alimentos caso módulos de aprendizagem em RV estivessem disponíveis. Essa unanimidade demonstra não apenas aceitação, mas um forte potencial de mobilização acadêmica, indicando que a RV não atua apenas como ferramenta complementar, mas também como um estímulo direto ao aprofundamento dos estudos. Tal resultado é especialmente relevante em cursos que frequentemente enfrentam desafios de engajamento devido à complexidade dos conteúdos técnicos.

Além disso, a concordância total sugere que a RV é percebida como um recurso capaz de tornar o aprendizado mais atrativo, acessível e motivador. A sensação de presença, a possibilidade de visualizar equipamentos e processos industriais e a interatividade proporcionada pelo ambiente virtual parecem contribuir para despertar maior curiosidade e disposição para continuar aprendendo.

06) “É mais provável que eu busque educação adicional em processamento de alimentos se módulos de aprendizagem em ambiente virtual estiverem disponíveis.”

Figura 80 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 6ª questão



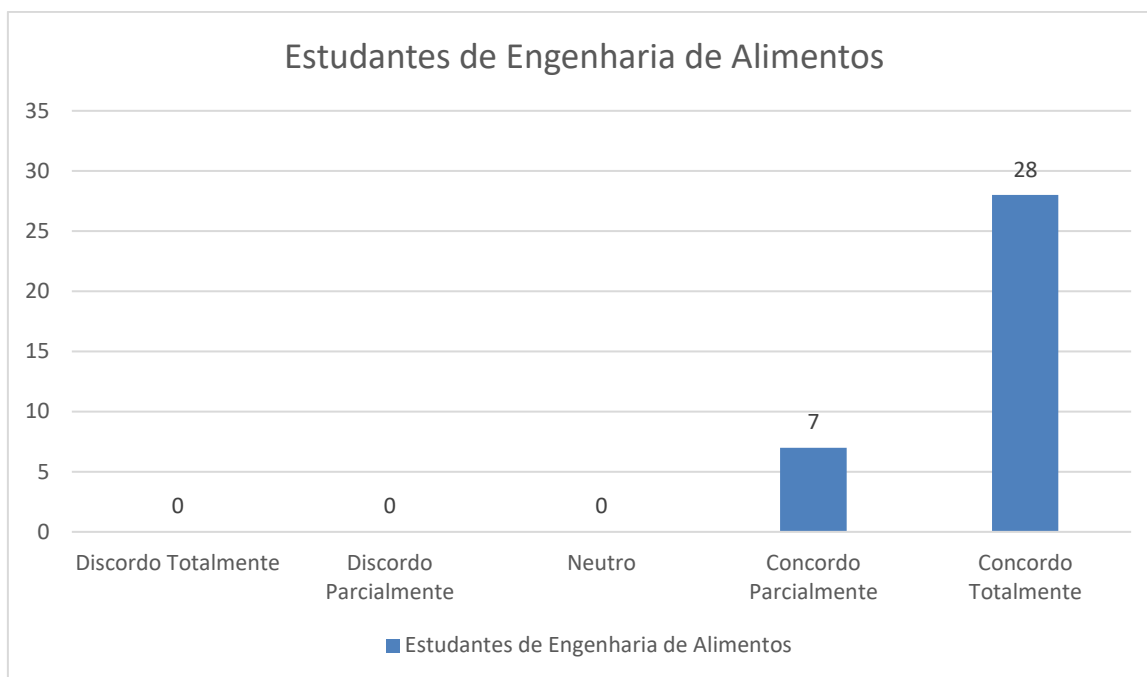
Fonte: Autor (2025)

Os dados mostram que a grande maioria dos participantes percebe a RV como um fator motivador para buscar formação adicional em processamento de alimentos. Somando-se as respostas “Concordo Totalmente” (8 alunos) e “Concordo Parcialmente” (21 alunos), temos 29 participantes, o que corresponde a 82,8% da turma, indicando que módulos de aprendizagem baseados em VR aumentariam sua probabilidade de continuar estudando o tema. Esse resultado reforça a ideia de que a tecnologia imersiva não apenas facilita a compreensão de conteúdos complexos, mas também desperta maior interesse e engajamento contínuo.

Apesar da forte tendência positiva, é relevante observar que 5 estudantes (14,2%) permaneceram neutros e apenas 1 aluno (2,8%) discordou parcialmente. Esses resultados sugerem que, embora a tecnologia seja amplamente aceita, ainda existem fatores individuais, como preferências pessoais de aprendizagem, desconforto com o uso do *headset* ou familiaridade limitada com ambientes virtuais.

07) “Os ambientes virtuais são um substituto eficaz para a visualização ou interação presencial com sistemas de processamento de alimentos.”

Figura 81 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 7ª questão



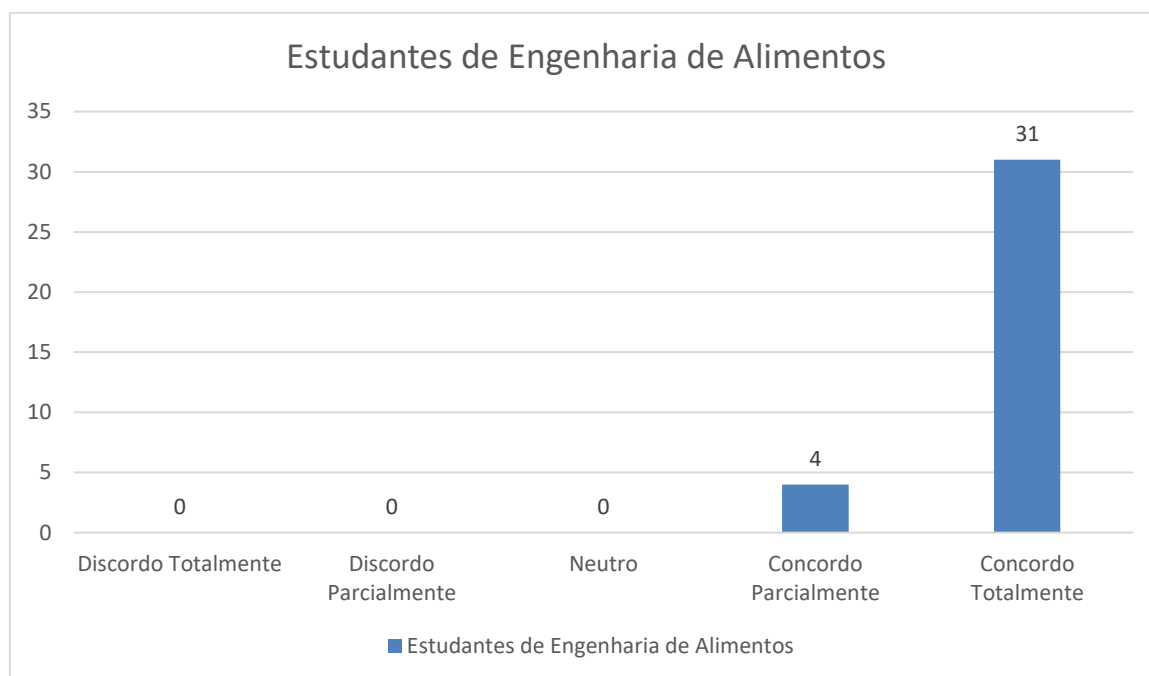
Fonte: Autor (2025)

Os resultados desta questão mostram concordância unânime entre os 35 participantes quanto ao potencial dos ambientes virtuais como substitutos eficazes para visitas presenciais a sistemas de processamento de alimentos. Do total, 7 alunos (20%) selecionaram “Concordo Totalmente” e 28 alunos (80%) marcaram “Concordo Parcialmente”, resultando em 100% de respostas positivas. Embora a maior parte dos estudantes tenha optado por uma concordância parcial, a ausência completa de respostas neutras ou negativas indica uma percepção generalizada de que a RV oferece uma representação suficientemente clara e funcional dos processos industriais.

Do ponto de vista institucional, esses dados são particularmente relevantes, pois apontam para um potencial significativo de otimização logística e financeira. Visitas técnicas a fábricas costumam exigir deslocamento, disponibilidade de transporte, autorização das empresas, seguro estudantil e compatibilidade de agenda

08) “Os ambientes virtuais melhoraram a qualidade do ensino remoto.”

Figura 82 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 8ª questão



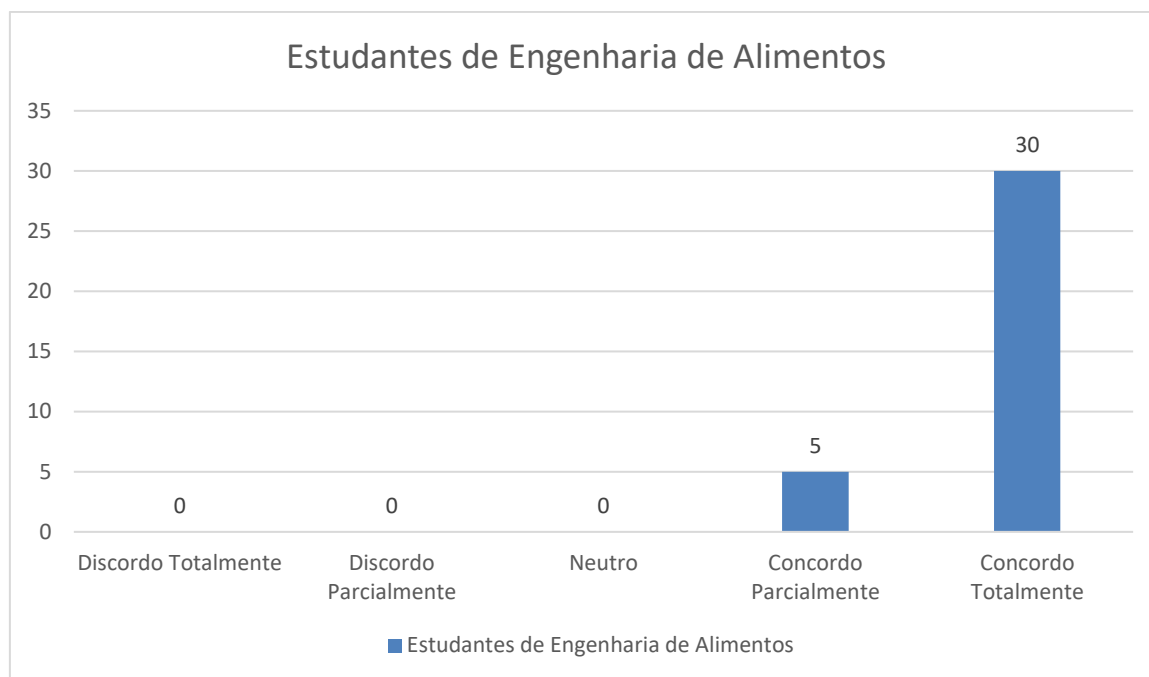
Fonte: Autor (2025)

Os resultados desta questão revelam concordância absoluta entre os 35 participantes quanto ao impacto positivo dos ambientes virtuais na melhoria do ensino remoto. Do total, 4 estudantes (11,4%) afirmaram “Concordo Totalmente”, enquanto 31 estudantes (88,6%) marcaram “Concordo Parcialmente”, resultando em 100% de respostas positivas. Embora a maior parte tenha optado pela concordância parcial, a ausência completa de respostas neutras ou negativas indica que todos os alunos percebem a RV como um recurso capaz de aprimorar a qualidade das atividades realizadas a distância.

Essa descoberta ganha relevância especial no cenário pós-pandemia, período em que instituições de ensino enfrentaram desafios significativos para manter a qualidade do aprendizado remoto. Os dados sugerem que a RV pode suprir lacunas deixadas pelos métodos tradicionais de ensino online, oferecendo maior imersão, interatividade e clareza na visualização de processos complexos.

09) “Os ambientes virtuais seriam um complemento útil ao aprendizado presencial tradicional.”

Figura 83 – Gráfico tipo Likert mostrando as respostas dos alunos em relação a 9ª questão



Fonte: Autor (2025)

Os resultados desta questão indicam concordância unânime entre os 35 participantes quanto ao papel da RV como ferramenta complementar ao ensino presencial. Do total, 5 estudantes (14,3%) selecionaram “Concordo Totalmente”, enquanto 30 estudantes (85,7%) marcaram “Concordo Parcialmente”. A ausência de respostas neutras ou negativas demonstra que todos os alunos reconhecem a utilidade dos ambientes virtuais quando integrados ao modelo tradicional de ensino.

Essa concordância total revela uma percepção madura de que a RV não deve substituir o ensino presencial, mas sim atuar como uma ferramenta complementar que amplia suas possibilidades. A RV pode reforçar conteúdos, facilitar a compreensão de processos complexos e oferecer experiências que muitas vezes não são viáveis fisicamente, como visitas técnicas ou manipulação de equipamentos industriais. Assim, os dados sugerem que os estudantes não enxergam a tecnologia como algo isolado ou desconectado do ensino tradicional; ao contrário, consideram-na uma peça que se integra ao modelo presencial,

contribuindo diretamente para um aprendizado mais completo, dinâmico e eficaz.

10) “Por favor, adicione quaisquer comentários relacionados às suas experiências com os ambientes virtuais. Eles podem incluir aspectos que você acha que ajudaram ou desafiaram sua compreensão e motivação para aprender o material, como facilidade de uso, clareza, interesses pessoais e prioridades profissionais.”

Nesta parte dos resultados, podemos ver os comentários abertos dos participantes sobre suas experiências com o ambiente virtual. Os principais foram os seguintes:

“O equipamento é muito interessante, o fato de poder interagir virtualmente gera maior interesse no assunto. É um ótimo investimento para a nossa geração, pois estamos conectados à tecnologia.”

"Acredito que o uso de óculos de RV facilita muito a compreensão do assunto, pois demonstra claramente que o tema abordado é algo 'novo' e muito educativo."

“Senti um pouco de tontura e achei que ia cair, mas acredito que o ambiente virtual é muito melhor para trabalhar e apresentar aos alunos. Claro, trabalhando em conjunto com o ambiente tradicional.”

A análise das respostas abertas revela que a maioria dos estudantes demonstrou uma percepção altamente positiva em relação ao uso dos ambientes virtuais no aprendizado de processamento de alimentos. Muitos destacaram que a possibilidade de interagir diretamente com elementos virtuais aumentou significativamente o interesse pelo conteúdo, tornando a experiência mais dinâmica e motivadora. Comentários como “o equipamento é muito interessante, o fato de poder interagir virtualmente gera maior interesse no assunto” evidenciam que a interatividade é vista pelos alunos como um diferencial importante no processo de aprendizagem.

Além disso, vários participantes enfatizaram que a RV facilita a visualização de processos que, no ensino tradicional, são mais difíceis de representar. Um dos comentários afirma: “o uso de óculos de RV facilita muito a compreensão do assunto, pois demonstra claramente que o tema abordado é algo novo e muito educativo.” Esse tipo de observação reforça o papel da RV como uma ferramenta que torna conteúdos abstratos mais concretos, aproximando o estudante de situações reais que, por questões de segurança, logística ou custo, dificilmente seriam acessíveis durante a graduação. Também houve estudantes que associaram a tecnologia à identidade da própria geração, destacando que tais recursos dialogam diretamente com seu repertório digital e com as práticas de inovação presentes no cotidiano.

Entretanto, embora o conjunto de respostas seja majoritariamente positivo, também surgiram comentários apontando desafios, principalmente relacionados ao conforto fisiológico durante o uso do *headset* de RV. Um estudante relatou ter sentido tontura e instabilidade durante a atividade, mencionando: “Senti um pouco de tontura e achei que ia cair, mas acredito que o ambiente virtual é muito melhor para trabalhar e apresentar aos alunos.” Esse tipo de efeito adverso é conhecido na literatura como *cybersickness* e pode ocorrer devido a diferenças entre o movimento real e a percepção visual no ambiente virtual (Jasper, 2021). Apesar disso, mesmo esse aluno reconheceu o potencial pedagógico da ferramenta, indicando que o desconforto não anulou a percepção positiva sobre a experiência.

Por fim, os comentários coletados reforçam que os ambientes virtuais são bem aceitos pelos estudantes e possuem grande potencial para complementar o ensino tradicional, ampliando o engajamento e melhorando a compreensão de conceitos complexos. Ao mesmo tempo, os relatos também indicam a necessidade de ajustes contínuos para garantir maior conforto e acessibilidade, como otimização da movimentação na cena, calibragem do campo de visão e disponibilização de pausas ou alternativas para alunos sensíveis à imersão. Em conjunto, essas respostas confirmam que a RV é uma ferramenta promissora e valorizada pelos estudantes, especialmente quando integrada de forma equilibrada às metodologias presenciais.

Após analisar todas as questões, ficou evidente que o ambiente de RV desenvolvido demonstrou ser uma ferramenta eficaz para o ensino de conceitos relacionados ao processamento de alimentos. A maioria dos alunos expressou concordância, parcial ou total, de que a RV melhorou sua compreensão do conteúdo, além de aumentar o envolvimento e a motivação durante a atividade. Esses resultados indicam que a imersão proporcionada pelo ambiente virtual favorece a aprendizagem, especialmente em áreas onde a visualização de processos industriais é essencial para o entendimento.

Os dados também mostraram que a experiência imersiva foi capaz de aproximar teoria e prática, permitindo que os estudantes visualizassem etapas do processamento de leite que, fora do ambiente virtual, exigiriam visitas técnicas complexas e custosas. A interação com o ambiente, somada à possibilidade de observar equipamentos industriais em escala real, contribuiu para tornar o aprendizado mais intuitivo e significativo. Esse impacto positivo reforça o papel da RV como uma ferramenta complementar potente, capaz de enriquecer a formação acadêmica e expandir as possibilidades pedagógicas tradicionais.

Embora a recepção tenha sido amplamente favorável, alguns participantes relataram leves desconfortos, como tontura ou instabilidade, indicando que ainda há espaço para ajustes ergonômicos e de navegação no sistema. Mesmo assim, tais observações não diminuíram o reconhecimento geral do valor educacional da tecnologia. De forma conclusiva, os resultados apontam que a RV foi percebida como um complemento valioso ao ensino presencial, oferecendo maior clareza na visualização dos processos, despertando interesse e contribuindo para uma experiência de aprendizado mais engajadora e eficaz.

9. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu explorar de maneira abrangente o potencial da RV como ferramenta educacional em diferentes áreas do conhecimento. Ao longo da pesquisa, foram criados e testados três sistemas distintos, a Linha de Processamento de Leite, o jogo Point-and-Click e o VR-Lab químico, cada uma abordando desafios específicos do ensino atual. A integração entre tecnologia imersiva, interatividade e simulação visual possibilitou a construção de experiências que vão muito além dos métodos tradicionais, oferecendo novas formas de engajamento e compreensão conceitual.

O primeiro módulo, a Linha de Processamento de Leite, foi desenvolvido com o objetivo de permitir que estudantes visualizassem de forma clara e segura o funcionamento de uma indústria de laticínios. A proposta consistiu em substituir parcialmente visitas técnicas presenciais, que muitas vezes são inviáveis por motivos de logística, custo ou segurança. A aplicação prática desse sistema levou à coleta de dados com 35 alunos do curso de Engenharia de Alimentos, permitindo uma avaliação quantitativa consistente sobre a eficácia do ambiente virtual como ferramenta pedagógica.

Os resultados obtidos foram expressivos: todos os participantes concordaram que a RV melhora o aprendizado remoto, e 100% também consideraram que os ambientes virtuais podem complementar, ou até substituir, visitas presenciais em linhas de produção. Além disso, mais de 80% afirmaram que buscariam formação complementar caso fossem disponibilizados módulos adicionais em RV. Esses dados revelam não apenas uma aceitação positiva da tecnologia, mas também o reconhecimento de seu valor pedagógico, especialmente para conteúdo que envolvem visualização detalhada de processos industriais complexos.

Durante o experimento, observou-se que a imersão proporcionada pelo ambiente virtual facilitou a conexão entre teoria e prática. Os alunos puderam observar de perto equipamentos, fluxogramas e etapas do processamento de leite, eliminando dificuldades comuns em aulas exclusivamente teóricas. A interação direta com os elementos do ambiente reforçou a aprendizagem contextualizada, permitindo que conceitos abstratos se tornassem mais visuais, intuitivos e significativos.

O segundo sistema desenvolvido foi o jogo educacional Point-and-Click, voltado para o aprendizado inicial de inglês. Diferentemente do ambiente industrial, esse módulo

utilizou uma abordagem “divertida” para reforçar vocabulário e reconhecimento de objetos. A proposta demonstrou que a RV também pode ser aplicada com sucesso em áreas não laboratoriais, oferecendo uma plataforma motivadora para estudantes em níveis básicos de aprendizagem. Embora não tenha sido avaliado por meio de questionários formais, o sistema confirmou a versatilidade da RV e sua capacidade de promover aprendizado ativo por meio de explorações e interações simples.

O terceiro e mais complexo ambiente desenvolvido foi o VR-Lab, cujo objetivo foi recriar um laboratório químico com alto nível de imersão e segurança. Este módulo exigiu uma série de desafios técnicos, como o mapeamento de interações manuais, otimização de modelos 3D, implementação de barreiras físicas invisíveis, tratamento de colisões e sincronização de elementos animados. O ponto alto do sistema foi a simulação completa da reação de oxidação da dipirona, incluindo a troca progressiva das moléculas e a mudança de cor do líquido em tempo real, algo que é extremamente difícil de observar com clareza no laboratório físico devido à velocidade da reação.

O desenvolvimento do VR-Lab demonstrou que a RV pode replicar fenômenos químicos complexos, permitindo que o estudante observe etapas invisíveis a olho nu, compreenda estruturas moleculares e visualize transições químicas com precisão controlada. Esse nível de detalhe tem o potencial de transformar aulas práticas, tornando-as mais seguras e acessíveis, além de possibilitar o estudo de reações que podem envolver riscos no ambiente real.

Os três módulos desenvolvidos evidenciam que a RV pode funcionar como uma plataforma educacional integrada, capaz de atender a múltiplas áreas do conhecimento com propostas distintas, mas igualmente eficazes. A imersão proporcionada pela tecnologia mostrou-se capaz de aumentar a motivação dos estudantes, gerar maior engajamento e tornar conteúdos complexos mais acessíveis. Mesmo nos casos em que ocorreram desconfortos, como tontura relatada por alguns participantes, tais limitações são reconhecidas na literatura e podem ser mitigadas com ajustes de ergonomia, otimização gráfica e sessões mais curtas.

No âmbito institucional, a adoção de ferramentas desse tipo pode trazer benefícios significativos. Ambientes virtuais reduzem custos logísticos, diminuem riscos associados ao uso de equipamentos laboratoriais reais, permitem repetição ilimitada de experimentos e tornam o processo educativo mais inclusivo. Além disso, o uso de ambientes virtuais pode fortalecer estratégias de ensino híbrido e complementar aulas remotas, tendência que se

intensificou após o período da pandemia.

Em síntese, os resultados deste estudo demonstram que a RV tem grande potencial para enriquecer o ensino técnico e científico, proporcionando experiências mais dinâmicas e eficazes do que os métodos tradicionais isolados. Os sistemas desenvolvidos oferecem uma base sólida para futuras pesquisas, que podem explorar métricas de desempenho, avaliações de longo prazo e o desenvolvimento de novos módulos educacionais. Assim, esta dissertação contribui tanto com produtos tecnológicos funcionais quanto com evidências práticas sobre o papel transformador da imersão e da interatividade na educação atual.

REFERÊNCIAS

ABUHAMMAD, A. *et al.* “MedChemVR”: A Virtual Reality Game to Enhance Medicinal Chemistry Education. **Multimodal Technologies and Interaction**, Basel, Suíça, ano 2021, v. 5, n. 3, 4 mar. 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/mti5030010>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2414-4088/5/3/10>. Acesso em: 19 nov. 2024.

APPLE DEVELOPER, Augmented Reality: A quick Look Gallery. [S. l.], 1 jan. 2025. Disponível em: <https://developer.apple.com/augmented-reality/quick-look/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

AFONSO, G. B.; MARTINS, C. C.; KATERBERG, L. P.; BECKER, T. M.; SANTOS, V. C. dos; AFONSO, Y. B. Potencialidades e fragilidades da RV imersiva na educação. **REVISTA INTERSABERES**, [S. l.], v. 15, n. 34, 2020. DOI: 10.22169/revint.v15i34.1800. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/view/1800>. Acesso em: 7 jan. 2025.. Acesso em: 19 nov. 2024

A-FRAME. A web framework for building virtual reality experiences. Disponível em: <https://aframe.io/>. Acesso em: 28 out. 2024.

BARNARD, D. History of VR – Timeline of Events and Tech Development. , 17 out. 2024. Disponível em: <<https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>>. Acesso em: 25 out. 2024.

BARUA, Rakesh. **AR and VR Using the WebXR AP**: Learn to Create Immersive Content with WebGL, Three.js, and A-Frame. Brookfield, WI, USA: Apress, 30/11/2020. 341 p. ISBN 978-1-4842-6317-4. DOI <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6318-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-6318-1#about-this-book>. Acesso em: 21 out. 2025.

BLENDER FOUNDATION. blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. Disponível em: <https://www.blender.org/about/foundation/>. Acesso em: 28 out. 2024.

BUTCHER, Peter; JOHN, Nigel; RITSOS, Panagiotis. VRIA: A Web-Based Framework for Creating Immersive Analytics Experiences. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, [S. l.], ano 7, v. 27, p. 3213-3225, 1 jul. 2021. DOI 10.1109/TVCG.2020.2965109. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8954824>. Acesso em: 28 out. 2024.

CABELLO, R. . mrdoob/three.js. **GitHub**, [S. l.], p.1, 24 abr. 2010. Disponível em: <<https://github.com/mrdoob/three.js>>. Acesso em: 12 nov. 2024.

CHESTER , West. **What Are Vertices, Edges, and Faces? A Complete Overview**. Mathnasium, 2 maio 2025. Disponível em: <https://www.mathnasium.com/math-centers/westchester/news/vertices-edges-faces>. Acesso em: 24 set. 2025.

CHRISTENSEN, K. et al. Deadly UCLA lab fire leaves haunting questions. **Los Angeles Times**, Los Angeles, Califórnia, ano 2009, 1 mar. 2009. Disponível em: <https://www.latimes.com/local/lanow/me-uclaburn1-story.html>. Acesso em: 2 set. 2024.

COBURN, J.; FREEMAN, I.; SALMON, J.. A Review of the Capabilities of Current Low-Cost Virtual Reality Technology and Its Potential to Enhance the Design Process. **ASME Digital Collection: Journal of Computing and Information Science in Engineering**, Nova York, v. 17, ed. 3, 17 set. 2017. DOI 10.1115/1.4036921. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/computingengineering/article/17/3/031013/370980/A-Review-of-the-Capabilities-of-Current-Low-Cost>. Acesso em: 31 dez. 2024.

COHEN, Hillary; GILMOUR, Sandy. CSB Releases Investigation into 2010 Texas Tech Laboratory Accident; Case Study Identifies Systemic Deficiencies in University Safety Management Practices. **CSB News Release**, [S. l.], p. 1, 19 out. 2011. Disponível em: <https://www.csb.gov/csb-releases-investigation-into-2010-texas-tech-laboratory-accident-case-study-identifies-systemic-deficiencies-in-university-safety-management-practices/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CRASH Bandicoot - Evolución Poligonal / KVN. Direção: KVN. Equador: [s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hB8Mvu3BBzc>. Acesso em: 3 nov. 2025.

CURTISS, A. Valley Weekend : VIDEO GAMES : Virtual Boy a Blend of Familiar and Strange : Although hardware for the latest Nintendo offering is odd and cumbersome, the play action is big and Loud. . **Los Angeles Times**, Los Angeles, Califórnia, ano 1995, 31 ago. 1995. Disponível em: <<https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1995-08-31-ca-40702-story.html>>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ENOIU, D.; SABOU, A. . Chemistry Laboratory in Virtual Reality for Immersive Learning Experiences. **RoCHI - International Conference on Human-Computer Interaction**, Bucareste, România, p. 101-108, 21 set. 2023. DOI 10.37789/rochi.2023.1.1.16. Disponível em: <https://rochi.utcluj.ro/articole/11/RoCHI2023-Enoiu.pdf>. Acesso em: 26 out. 2024.

FONTENELLE, Giovanna; FOLETTO, Leonardo; PIAANTÁ, Lucas; PAVARIN, Victor; LANA, Alice; LANA, Pedro; PIAZANTIN, Nanashara; TOLEDO, M. **Sobre as Licenças**. [S. l.]: Creative Commons, 1 jan. 2025. Disponível em: <https://br.creativecommons.net/licencas/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

DEAN, K. . A Visually-Coupled Airborne Systems Simulator (VCASS) - An Approach to Visual Simulation. **AIR FORCE AEROSPACE MEDICAL RESEARCH LAB WRIGHT-PATTERSON AFB OH**, [S. l.], n. 1, p. 1-11, 18 maio 1977. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA039999>. Acesso em: 23 nov. 2024.

DPVR. How virtual reality is used for industrial staff training. **DPVR**, [S. l.], p. 1, 10 jul. 2021. Disponível em: <https://www.dpvr.com/en/how-virtual-reality-is-used-for-industrial-staff-training/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

EDWARDS , B.; ZAGAL , J. . Virtual Boy: The bizarre rise and quick fall of Nintendo's enigmatic red console: How Nintendo took a gamble on a new kind of gaming experience in the '90s.. **Ars Technica**, [S. l.], ano 2024, p. 1, 15 maio 2024. Disponível em: <https://arstechnica.com/gaming/2024/05/virtual-boy-the-bizarre-rise-and-quick-fall-of-nintendos-enigmatic-red-console/>. Acesso em: 22 out. 2024

EPIC GAMES. Blueprints Visual Scripting in Unreal Engine. **Epic Games**, [S. l.], 12 nov. 2024. Disponível em: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine>. Acesso em: 28 out. 2024.

FAB. Unreal Engine Marketplace. **Epic Games**, [S. l.], 22 out. 2024. Disponível em: <https://www.fab.com/>. Acesso em: 28 out. 2024.

GUERRA-TAMEZ, Cristobal. The Impact of Immersion through Virtual Reality in the Learning Experiences of Art and Design Students: The Mediating Effect of the Flow Experience. **MDPI - educational science**, Monterrei, México, 185, v. 13, p. 1-18, 9 fev. 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/educsci13020185>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/2/185>. Acesso em: 29 out. 2025.

GUERRA-TAMEZ, Cristobal; DÁVILA-AGUIRRE, Mário; CODINA, José; RODRIGUEZ, Pablo. Analysis of the Elements of the Theory of Flow and Perceived Value and Their Influence in Craft Beer Consumer Loyalty. **Journal of International Food & Agribusiness Marketing**, [S. l.], v. 33, n. 5, p. 487-517, 27 set. 2020. DOI <https://doi.org/10.1080/08974438.2020.1823929>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08974438.2020.1823929>. Acesso em: 29 out. 2025.

GUNAWARDENA, Gamini. **Disproportionation**. Utah Valley University, 14 nov. 2025. Disponível em: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Reference/Organic_Chemistry_Glossary/Disproportionation. Acesso em: 11 set. 2025.

HALABI, Osama *et al.* Virtual and Augmented Reality in Surgery: The Disruptive Fourth Industrial Revolution. **Lecture Notes in Electrical Engineering**, [S. l.], v. 674, p. 257-285, 14 jul. 2020. DOI 10.1007/978-3-030-48230-5_11. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-48230-5_11. Acesso em: 8 out. 2024.

HASKINS, Amanda; MENTCH, Jeff; BOTCH, Thomas; ROBERTSON, Carline. Active vision in immersive, 360° real-world environments. **Sci Rep**, [S. l.], 14304, v. 10, p. 1-11, 31 ago. 2020. DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71125-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71125-4#citeas>. Acesso em: 29 out. 2025.

JASIECKA, A; MAŚLANKA, T; JAROSZEWSKI, J. Pharmacological characteristics of metamizole. **Polish Journal of Veterinary Sciences**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 207–214, 2014. DOI <https://doi.org/10.2478/pjvs-2014-0030>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24724493/>. Acesso em: 5 set. 2025.

JASPER, Angela. “Cybersickness”, os sintomas de longas horas na frente da tela. [S. l.]: Fast Company Brasil, 10 ago. 2021. Disponível em: <https://fastcompanybrasil.com/tech/cybersickness-os-sintomas-de-longas-horas-na-frente-da-tela/>. Acesso em: 13 out. 2025.

JUMBRI, K.; ISHAK, M. . Can Virtual Reality Increases Students Interest in Computational Chemistry Course? A Review. **Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan e-Saintika**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 190-201, 1 nov. 2022. DOI 10.36312/esaintika.v6i3.885. Disponível em: <https://journal-center.litpam.com/index.php/e-Saintika/article/view/885>. Acesso em: 19 set. 2024.

KALGUTKAR, Amit; DALVIE, Deepak; O'DONNELL, John; TAYLOR, Timothy; SAHAKIAN, Diana. On the Diversity of Oxidative Bioactivation Reactions on Nitrogen Containing Xenobiotics. **Current Drug Metabolism**, Emirados Árabes Unidos, v. 3, n. 4, p. 379-424, 1 set. 2002. DOI 10.2174/1389200023337360. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12093357/>. Acesso em: 3 set. 2025.

KHRONOS GROUP. Khronos glTF Registry. Beaverton, Estados Unidos: Khronos Group, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://registry.khronos.org/glTF/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

KIM, Keunyeong; KEUNYEONG, Michael; BELLUR, Saraswathi; CHUNG, Mun-Young; FRAUSTINO, Julia; DARDIS, Frank; AHERNN, Lee. Is it a sense of autonomy, control, or attachment? Exploring the effects of in-game customization on game enjoyment. **Computers in Human Behavior**, [S. l.], v. 48, p. 695-705, 11 mar. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563215001090>. Acesso em: 29

out. 2025.

KOROLOV, M. . Report: 98% of VR headsets sold this year are for mobile phones. **Hypergrid Business**, [S. l.], p. 1, 30 nov. 2016. Disponível em: <https://www.hypergridbusiness.com/2016/11/report-98-of-vr-headsets-sold-this-year-are-for-mobile-phones/>. Acesso em: 5 set. 2024.

KRUEGER, M. Videoplace 1975. Disponível em: <https://aboutmyronkrueger.weebly.com/videoplace.html>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

KUMAR , Bharath. Exploring Virtual Laboratories in Chemical Education: Methodologies, Learning Theories, Outcomes, and Pedagogical Insights. **International Journal of Current Review**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-6, 2 ago. 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>. Disponível em: <https://www.multipaperjournal.com/archives/2025/vol1/issue1>. Acesso em: 15 dez. 2025.

LEE, Elinda; WONG, Kok; FUNG, Chung. How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. **Computers & Education**, Austrália, v. 55, n. 4, p. 1424-1442, 22 jun. 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131510001661#aep-abstract-id7>. Acesso em: 29 out. 2025.

LENCINA, Walter. O que é um framework e para que serve?. **EBAC - Escola Britânica de Artes Criativas e Tecnologia**, [S. l.], p. 1, 26 ago. 2023. Disponível em: <https://ebaonline.com.br/blog/framework-seo>. Acesso em: 12 nov. 2024.

LIMA, G. . Bootstrap: O que é, Documentação, como e quando usar. **Alura**, [S. l.], p. 1, 18 set. 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/bootstrap?srsId=AfmBOooX62iXUWQjzzeWdZO6xbQ42SODSdsU5P1vVB5LoiR3xGqEDtqU>. Acesso em: 14 nov. 2024.

LOPES, M. . React: o que é e como funciona. **EBAC - Escola Britânica de Artes Criativas e Tecnologia**, [S. l.], p. 1, 3 out. 2023. Disponível em: <https://ebaonline.com.br/blog/react-o-que-e-como-funciona>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MELLYZAR, A et al. VR Based Media for Three-Dimensional (3D) Visualization in Chemical Laboratory. **Jurnal Penelitian Pendidikan IPA**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 1-6, 31 mar. 2024. DOI [10.29303/jppipa.v10i3.6180](https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.6180). Disponível em: <https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/6180>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MILGRAM, P. ; KISHINO, F. . A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. **IEICE-Transactions on Information and Systems**, [S. l.], v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1 dez. 1994. Disponível em: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

MOYNIHAN, Tim. The Oculus Rift Is Coming In Early 2016: The first-generation Oculus VR headset for consumers will ship in Q1 2016, with pre-orders starting this year. **WIRED**, [S. l.], p. 1, 6 maio 2015. Disponível em: <https://www.wired.com/2015/05/oculus-rift-coming-early-2016/>. Acesso em: 4 set. 2024.

OXIDAÇÃO da dipirona. Direção: Rodrigo Bispo Bragança. YouTube: Química Integral, 19 jul. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3v-Zgl3WS0>. Acesso em: 5 set. 2025.

PANTELIDIS , V. . Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. **Klidarithmos Computer Books: THEMES IN SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION**, Carolina do Norte, Estados Unidos, p. 59-70, 1 jan. 2009. Disponível em: <https://www.thehumanimprint.com/wp-content/uploads/2018/09/Reasons-to-Use-VR-in-Ed-and-Model-to-Determine-when-to-use-VR.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2024.

PIETIKÄINEN, O. . VRChem: Amolecular modeling software for Virtual Reality. **Aalto University**, Finlândia, Espoo, p. 51, 5 fev. 2018. Disponível em: <https://aalto.fi/items/dff091a7-8e60-49ec-b58c-e53195a0993a>. Acesso em: 30 dez. 2024.

PIETIKÄINEN, Otso; HÄMÄLÄINEN, Perttu; LEHTINEN, Jaakko; KARTTUNEN, Antti. VRChem: A Virtual Reality Molecular Builder. **Applied Sciences - MDPI**, Espoo, Finlândia, ano 22, v. 11, p. 1-18, 15 nov. 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/app112210767>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/10767>. Acesso em: 21 out. 2025.

PIRES, F. D.; OLIVEIRA, V. B. AGRANULOCITOSE RELACIONADA AO USO DE DIPIRONA: UMA REVISÃO. **Visão Acadêmica**, Curitiba, Paraná, v. 16, n. 2, p. 187-199, 2015. DOI <https://doi.org/10.5380/acd.v16i2.43023>. Disponível em: <https://share.google/9MVdok20lQOmIjFgi>. Acesso em: 13 nov. 2025.

RABELO, Julio César de Athayde. **Oxidação da dipirona**. Nova Venécia, Espírito Santo: Wikipedia, 12 ago. 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Oxida%C3%A7%C3%A3o_da_dipirona. Acesso em: 8 set. 2025.

RASTOGI, Yash et al. VIRTUAL CHEMISTRY LAB. **DTC Journal of Computational Intelligence**, India, v. 3, n. 2, p. 1-5, 1 dez. 2024. ISSN: 2583-6749. Disponível em: <https://jci.delhitechnicalcampus.ac.in/archive-2024/volume-3-issue-2-december-2024/>. Acesso em: 15 dez. 2025.

RANA, A.; OZCINAR, C.; SMOLIC, A. Towards generating ambisonics using audio-visual cue for virtual reality. **ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)**. Anais...IEEE, 2019. Acesso em: 18 nov. 2024.

ROGERS, Sol. 2019: The Year Virtual Reality Gets Real. **Forbes**, [S. l.], p. 1, 1 jul. 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/06/21/2019-the-year-virtual-reality-gets-real/>. Acesso em: 5 set. 2024.

SEIBERT, Jonmichael; SHAFER, Daniel. Control mapping in virtual reality: effects on spatial presence and controller naturalness. **Springer**, Tallahassee, Estados Unidos, v. 22, p. 79-88, 3 jan. 2018. DOI <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0316-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-017-0316-1>. Acesso em: 29 out. 2025.

SIMPSON, James. **Howler.js - Audio library for the modern web**. [S. l.], 28 jan. 2013. Disponível em: <https://howlerjs.com/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SILVA, Reginaldo Costa; CARDOSO, Alexandre; JÚNIOR, Jose Rubens Macedo. VIRTUAL SUBSTATION um sistema de RV para treinamento de operadores de subestações elétricas. **Repositório Intitucional - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais**, p. 1-138, 12 out. 2012. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2012.352>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14515>. Acesso em: 29 jan. 2025.

SOBCHYSHAK, Oleksandra; BERREZUETA-GUZMAN, Santiago; WAGNER, Stefan. Pushing the Boundaries of Immersion and Storytelling: A Technical Review of Unreal Engine. **ArXiv**, Heilbronn, Alemanha, 10 jul. 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/html/2507.08142v1#bib.bib8>. Acesso em: 14 out. 2025.

SUTHERLAND, Ivan. The Ultimate Display. **Information Processing Techniques Office**, [S. l.], p. 506-508, 1 jan. 1964. Disponível em: https://worrydream.com/refs/Sutherland_1965_-_The_Ultimate_Display.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

UNREAL ENGINE. Extended Reality (XR). **Unreal Engine**, [S. l.], 14 mar. 2019. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/pt-BR/xr>. Acesso em: 28 out. 2024.

W3C. WebXR Device API. **W3C**, [S. l.], 1 out. 2025. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/webxr/>. Acesso em: 4 nov. 2025

GLOSSÁRIO

Ambiente Virtual: espaço digital tridimensional criado por computador que simula locais, sistemas ou processos reais. No projeto, refere-se ao laboratório químico virtual e à linha de processamento de leite.

Ambiente Virtual Imersivo: tipo de ambiente virtual no qual o usuário é completamente envolvido pela simulação, geralmente com o uso de óculos de RV (HMD), aumentando a sensação de presença e engajamento.

Realidade Aumentada (RA): tecnologia que sobrepõe elementos virtuais ao ambiente real, diferente da RV, que cria um ambiente totalmente artificial.

Realidade Virtual (RV): tecnologia que cria ambientes simulados tridimensionais nos quais o usuário pode interagir de forma imersiva. Foi a base do laboratório químico virtual desenvolvido.

Baixa Poli (Low Poly): estilo de modelagem 3D com poucos polígonos, indicado para aplicações que precisam de alto desempenho, como jogos ou ambientes VR leves.

Desempenho (Performance): capacidade do sistema de executar a simulação de forma fluida, sem travamentos ou perda de qualidade visual. Depende de otimização, quantidade de triângulos dos modelos e scripts.

FPS (Frames per Second): taxa de quadros por segundo. Indica a fluidez de uma simulação em VR. Valores baixos podem causar desconforto ou náusea.

Head-Mounted Display (HMD): óculos ou capacete de RV utilizado pelo usuário para acessar ambientes imersivos.

Imersão: sensação psicológica de estar presente dentro do ambiente virtual. A imersão é influenciada pelo realismo visual, sonoro e pela interação natural.

Interatividade: capacidade do usuário de manipular objetos, realizar ações e interferir no funcionamento do ambiente virtual. É um dos principais fatores que impactam a eficácia do treinamento.

Linha de Processamento de Leite: ambiente virtual desenvolvido para simular etapas industriais do processamento de alimentos, permitindo ao usuário entender cada

equipamento e operação unitária de forma interativa.

Mesh: estrutura geométrica de um modelo 3D composta por vértices, arestas e triângulos.

Modelo 3D: representação tridimensional de um objeto real ou imaginário. No contexto da dissertação, refere-se a equipamentos laboratoriais, cenários e personagens virtuais.

Point & Click: método de interação no qual o usuário seleciona e interage com objetos apontando e clicando. No projeto, esse método foi empregado em um protótipo inicial de aprendizagem de inglês.

Triângulos (ou Polígonos): unidades básicas que formam a superfície de um modelo 3D. A quantidade de triângulos impacta diretamente o realismo e o desempenho do ambiente.

Polígonos: partes que formam a estrutura de um modelo 3D, geralmente triângulos. Quanto maior o número de polígonos, maior o nível de detalhes, mas maior o custo computacional.

Presença: sensação subjetiva de “estar” dentro do ambiente virtual, frequentemente associada a experiências de VR de alta qualidade.

Processamento de Alimentos: área da engenharia de alimentos que estuda processos industriais de transformação, conservação e embalagem de produtos alimentícios. Foi tema do experimento com alunos.

Simulação: representação virtual de um processo ou situação real. No projeto, refere-se ao funcionamento de equipamentos laboratoriais e etapas químicas.

Tontura/Motion Sickness: desconforto provocado pela discrepância entre o movimento visual e o movimento real do corpo. Pode acontecer em experiências mal otimizadas de VR.

Vértices: Pontos que formam a geometria de um modelo 3D. Quanto mais vértices, maior a complexidade da malha.