



**INSTITUTO
FEDERAL**
Paraíba

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba Campus
João Pessoa**

**Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação Nível
Mestrado Profissional**

SAMARA DA SILVA BRITO

**UMA ANÁLISE DAS DIMENSÕES COGNITIVAS E
SOCIAIS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM
IMERSIVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO PESSOA – PB

2026

Samara da Silva Brito

**Uma análise das dimensões cognitivas e sociais no processo de
aprendizagem imersiva**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Petrônio Alencar de Medeiros

João Pessoa – PB
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha - *campus* João Pessoa, PB.

B862a Brito, Samara da Silva.

Uma análise das dimensões cognitivas e sociais no processo de aprendizagem imersiva / Samara da Silva Brito. – 2025.

128 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação (PPGTI), 2025.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Petrônio Alencar de Medeiros.

1. Ambiente *virtual* imersivo. 2. Aprendizagem colaborativa. 3. Atenção visual. 4. Carga cognitiva. 5. Realidade virtual na educação. I. Título.

CDU 004.738.5:37.018.43(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO
SENSU MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

SAMARA DA SILVA BRITO

**UMA ANÁLISE DAS DIMENSÕES COGNITIVAS E SOCIAIS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM
IMERSIVA**

DISSERTAÇÃO apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação, pelo Programa de Pós- Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB - Campus João Pessoa.

Aprovado em 04 de março de 2026.

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Petrônio Alencar de Medeiros

Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Orientador

Prof. Dr. Lafayette Batista Melo

Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Examinador

Profa. Dra. Elaine Cristina Juvino de Araújo

Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Documento assinado eletronicamente por:

- Francisco Petronio Alencar de Medeiros, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/03/2026 09:31:14.
- Elaine Cristina Juvino de Araujo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/03/2026 13:29:02.
- Lafayette Batista Melo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/04/2026 11:17:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autencar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 851566
Verificador: 5c5afa1b85
Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOÃO PESSOA / PB, CEP 58015-435
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

Dedico este trabalho a todos que se permitem estar em constante construção, que acolhem as incertezas como parte do caminho, abraçam o novo com coragem e compreendem que o conhecimento não é um destino, mas uma jornada contínua de transformação.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus, por ter sido minha fonte de força, sabedoria e perseverança em cada etapa desta jornada. Sou grata, também, a todas as pessoas cuja presença, apoio e colaboração foram essenciais ao longo do caminho, contribuindo de maneiras distintas para a realização deste trabalho.

Agradeço, com todo o carinho, ao meu esposo Rodrigo, pela paciência e acolhimento diante dos desafios, perdas e incertezas, bem como pelo incentivo constante e confiante, que fortaleceu minha trajetória. Estendo minha gratidão aos meus pais e demais familiares, de modo geral, pela compreensão e apoio contínuos, que sustentaram cada etapa deste processo.

Registro minha profunda gratidão ao professor Petrônio, meu orientador, cuja orientação contribuiu significativamente para o aprofundamento do meu aprendizado e da minha formação acadêmica. Seu compromisso com a qualidade e a habilidade em articular saberes da Psicologia e da Tecnologia foi fundamental para a conclusão desta pesquisa.

Aos colegas e colaboradores: em especial, ao meu colega Erberson, com quem compartilhei a temática da realidade virtual e que adaptou o ambiente por ele desenvolvido para atender aos objetivos desta pesquisa. Agradeço também aos bolsistas Adiel e Bruno, pelas contribuições relevantes no suporte tecnológico e na fase empírica da pesquisa, assim como aos voluntários Itallo, Luis, Paulo e Pâmela, pelo comprometimento e disponibilidade na condução dos procedimentos experimentais.

Aos colegas de turma, especialmente Liana, Rodrigo, Laerty, Juan, Mário, Rayllon e tantos outros com quem compartilhei aprendizados, ideias, desafios e conquistas ao longo do curso, deixo meu sincero agradecimento pela parceria e pelo incentivo mútuo.

Sou grata ao Instituto Federal da Paraíba, pela oportunidade de formação de qualidade e pela concessão da bolsa, que possibilitou minha dedicação integral ao mestrado. Agradeço também à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação pelo suporte institucional ao longo do curso.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Esta dissertação analisa os efeitos da imersão em ambientes virtuais de aprendizagem sobre dimensões cognitivas e sociais, à luz de teorias construtivistas e colaborativas. O objetivo geral foi investigar e comparar os níveis de atenção visual, carga cognitiva e presença social em contextos imersivos e não imersivos. Trata-se de uma pesquisa de abordagem mista, estruturada em cinco etapas: mapeamento sistemático da literatura, *benchmark* de ambientes virtuais, experimento empírico, análise estatística e discussão integrada dos resultados. Participaram 48 estudantes, graduandos ou graduados, alocados aleatoriamente em grupos imersivo (VR) e não imersivo (computador), submetidos a tarefas padronizadas em dois ambientes educacionais distintos: *Escape Simulator*, ambiente que utiliza aprendizagem ativa para abordar temas interdisciplinares, e *NetVerse Edu*, um ambiente de aprendizagem com propósito específico integrado ao currículo de um curso. A atenção visual foi avaliada por meio de tempos de manipulação e execução de tarefas, analisados com os testes de Shapiro-Wilk e t de Welch. A carga cognitiva foi mensurada com o questionário NASA-TLX, cujos dados foram analisados pelo teste de Mann-Whitney, considerando os valores ponderados. A presença social foi avaliada por meio de questionário com respostas dicotômicas, analisado por correlação de Spearman. A discussão dos resultados, com base em uma análise quantitativa, revela que a imersão impacta de forma relevante a atenção visual, a carga de trabalho cognitiva, e a presença social. No *Escape Simulator* imersivo, caracterizado pela resolução coletiva dos desafios dentro do ambiente, observaram-se índices mais elevados de atenção visual, tanto no tempo de atividade específica quanto no tempo total, bem como maiores níveis de carga cognitiva nas dimensões demanda física e sofrimento, além de correlações estatisticamente significativas relacionadas à presença social. Em contrapartida, no *NetVerse Edu*, o grupo imersivo não apresentou resultado significativo no que se refere à presença social, possivelmente em função do caráter mais individualizado das atividades, mas exibiu níveis mais elevados de atenção visual no tempo de atividade específica e no tempo total, assim como maiores níveis de esforço e satisfação relacionados à carga cognitiva, sugerindo que a imersão pode potencializar aspectos da experiência de aprendizagem. Conclui-se que a efetividade do uso de tecnologias imersivas na educação relaciona-se ao alinhamento entre as características do ambiente — como a proximidade entre os participantes, a visualização compartilhada das ações dos avatares e a resolução conjunta das atividades —, o contexto de aplicação e o perfil dos aprendizes. As evidências obtidas oferecem uma contribuição relevante para instituições de ensino, desenvolvedores de plataformas educacionais e profissionais envolvidos na concepção e implementação de experiências digitais de aprendizagem mais significativas e eficazes.

Palavras-chave: ambientes virtuais imersivos; aprendizagem colaborativa; atenção visual; carga cognitiva; realidade virtual na educação.

ABSTRACT

This dissertation analyzes the effects of immersion in virtual learning environments on cognitive and social dimensions, grounded in constructivist and collaborative learning theories. The general objective was to investigate and compare levels of visual attention, cognitive workload, and social presence in immersive and non-immersive contexts. This dissertation is a mixed-methods study structured into five stages: systematic literature mapping, benchmarking of virtual environments, empirical experimentation, statistical analysis, and integrated discussion of the results. A total of 48 undergraduate and graduate students participated, randomly assigned to immersive (VR) and non-immersive (desktop) groups, and exposed to standardized tasks in two distinct educational environments: Escape Simulator, which employs active learning to address interdisciplinary topics, and NetVerse Edu, a purpose-specific learning environment integrated into a course curriculum. Visual attention was assessed through task manipulation and execution times, analyzed using the Shapiro–Wilk and Welch's t tests. Cognitive workload was measured using the NASA-TLX questionnaire, and data were analyzed using the Mann–Whitney test based on weighted scores. Social presence was assessed using a questionnaire with dichotomous (yes/no) responses, and the data were analyzed using Spearman's correlation. The discussion of the results, grounded in quantitative analysis, reveals that immersion has a relevant impact on visual attention, cognitive workload, and social presence. In the immersive Escape Simulator, characterized by the collective resolution of challenges within the environment, higher levels of visual attention were observed—both in task-specific and total activity time—along with greater cognitive workload in the physical demand and frustration dimensions, and statistically significant correlations with social presence. In contrast, in NetVerse Edu, the immersive group did not show significant effects on social presence, possibly because the activities were more individualized. However, it exhibited higher levels of visual attention in both task-specific and total activity time, as well as greater effort and satisfaction related to cognitive workload, suggesting that immersion may enhance aspects of the learning experience. It is concluded that the effectiveness of immersive technologies in education is associated with the alignment between environmental characteristics—such as participant proximity, shared visualization of avatar actions, and joint task resolution—the application context, and learner profiles. The evidence obtained provides a relevant contribution to educational institutions, educational platform developers, and professionals involved in the design and implementation of more meaningful and effective digital learning experiences.

Keywords: immersive virtual environments; collaborative learning; visual attention; cognitive load; virtual reality in education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interseções dos conceitos-chave no contexto da aprendizagem imersiva	18
Figura 2 - Óculos Quest 2 de realidade virtual e controles	20
Figura 3 - Periféricos de VR: controlador de movimento, farol, rastreador, esteira omnidirecional, luva háptica e traje	30
Figura 4 - Ambientes imersivos de aprendizagem em realidade virtual	31
Figura 5 - Nuvem de palavras sobre os temas principais dos trabalhos relacionados	42
Figura 6 - Diagrama de Venn ilustrando a quantidade de ambientes imersivos e não imersivos classificados conforme as categorias analisadas	51
Figura 7 - Jogo educacional Escape Simulator do gênero escape room	53
Figura 8 - Ambiente de aprendizagem de propósito específico NetVerse Edu	54
Figura 9 - Participantes realizando o teste piloto em ambiente imersivo	59
Figura 10 - Participantes realizando o teste piloto em ambiente não imersivo	60
Figura 11 - Participantes durante a execução das atividades experimentais nos ambientes imersivo e não imersivo	66
Figura 12 - Boxplot dos Tempos de Atenção Visual nas Tarefas – Escape Simulator (Imersivo e Não Imersivo)	71
Figura 13 - Boxplot dos Tempos de Atenção Visual nas Tarefas – NetVerse Edu (Imersivo e Não Imersivo)	73
Figura 14 - Heatmap das correlações no Escape Simulator	79
Figura 15 - Heatmap das correlações no NetVerse Edu	79
Figura 16 - Boxplots da carga de trabalho nos grupos imersivo e não imersivo (Escape Simulator)	82
Figura 17 - Boxplots da carga de trabalho nos grupos imersivo e não imersivo (NetVerse Edu)	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos relacionados e categorização com base nos eixos principais de pesquisa deste projeto	41
Tabela 2 - Detalhamento das classes de problema	46
Tabela 3 - <i>Benchmark</i> para análise de ambientes imersivos e não imersivos com propósito de aprendizagem colaborativa	47
Tabela 4 - Organização das sessões experimentais e distribuição dos participantes	56
Tabela 5 - Atividade proposta no Escape Simulator	57
Tabela 6 - Atividade proposta no NetVerse Edu	57
Tabela 7 - Questionário de presença social para ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem	58
Tabela 8 - Respostas dos participantes referente ao questionário de presença social no ambiente NetVerse Edu imersivo e Escape Simulator não imersivo para análise do teste piloto	61
Tabela 9 - Primeira fase do instrumento NASA TLX: valor individual dado a cada categoria para análise do teste piloto	62
Tabela 10 - Segunda fase do instrumento NASA- TLX: Frequência de seleção das categorias indicadas como mais exigentes no teste piloto	63
Tabela 11 - Terceira fase do instrumento NASA- TLX: média ponderada para análise do teste piloto	63
Tabela 12 - Quantidade de tempo por atividade nos ambientes Escape Simulator (não imersivo) e NetVerse Edu (imersivo)	64
Tabela 13 - Testes estatísticos aplicados e respectivas justificativas metodológicas por variável analisada	68
Tabela 14 - Resultados do teste de atenção visual no ambiente Escape Simulator imersivo	69
Tabela 15 - Resultados do teste de atenção visual no ambiente Escape Simulator não imersivo	69
Tabela 16 - Análise estatística das métricas de atenção visual no Escape Simulator	70
Tabela 17 - Resultados do teste de atenção visual no ambiente Netverse Edu imersivo	71
Tabela 18 - Resultados do teste de atenção visual no ambiente Netverse Edu não imersivo	72
Tabela 19 - Análise estatística das métricas de atenção visual no NetVerse Edu	72
Tabela 20 - Resultados do teste de presença social no ambiente Escape Simulator imersivo	74
Tabela 21 - Resultados do teste de presença social no ambiente Escape Simulator não imersivo	75
Tabela 22 - Resultados do teste de presença social no ambiente Netverse Edu imersivo	75

Tabela 23 - Resultados do teste de presença social no ambiente Netverse Edu não imersivo	74
Tabela 24 - Correlação de Spearman no Escape Simulator Imersivo	75
Tabela 25 - Correlação de Spearman no Escape Simulator Não Imersivo	76
Tabela 26 - Correlação de Spearman no NetVerse Edu Imersivo	76
Tabela 27 - Correlação de Spearman no NetVerse Edu Não Imersivo	77
Tabela 28 - Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Escape Simulator imersivo	80
Tabela 29 - Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Escape Simulator não imersivo	80
Tabela 30 - Carga de trabalho percebida no Escape Simulator (teste de Mann-Whitney)	81
Tabela 31 - Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Netverse Edu imersivo	83
Tabela 32 - Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente NetVerse Edu não imersivo	83
Tabela 33 - Carga de trabalho percebida no NetVerse Edu (teste de Mann-Whitney)	84
Tabela 34 - Tabela-Síntese dos Achados por Ambiente (comparação entre grupos imersivo e não imersivo)	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
ACVA	Ambientes Colaborativos Virtuais de Aprendizagem
AR	Realidade aumentada
AVA	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
AVs	Agentes virtuais
EAD	Educação à distância
HMD	Head-mounted display
IA	Inteligência artificial
IHC	Interação Humano-Computador
LARA	Laboratório de Realidade Aumentada e Virtual
MxR	Realidade mista
NASA TLX	NASA Task Load Index
VR	Realidade virtual
UX	Experiência do Usuário

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação e definição de problema	18
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	Questão de pesquisa e hipóteses	20
1.4	Metodologia	20
1.4.1	Laboratório e materiais	21
1.4.2	Arcabouço metodológico	21
1.4.2.1	Etapa 1 - Mapeamento sistemático	21
1.4.2.2	Etapa 2 - <i>Benchmark</i>	22
1.4.2.3	Etapa 3 - Experimento	23
1.4.2.4	Etapa 4 - Validação das hipóteses de pesquisa	23
1.4.2.4.1	Validação da hipótese 1 utilizando o teste de atenção visual	23
1.4.2.4.2	Validação da hipótese 2 utilizando o instrumento NASA TLX	24
1.4.2.4.3	Validação da hipótese 3 utilizando o questionário de presença social (Kim, 2011)	25
1.5	Estrutura do documento	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	Aprendizagem colaborativa à distância	27
2.2	Ambientes Virtuais de Aprendizagem	28
2.3	Ambiente imersivo de aprendizagem	29
2.4	Cognição	31
2.4.1	Atenção	32
2.4.2	Percepção	33
2.5	Presença social	34
2.6	Interação incorporada	35
2.7	Carga de trabalho cognitivo	37

2.8	Trabalhos relacionados	38
3	BENCHMARK PARA A ANÁLISE DE AMBIENTES IMERSIVOS DE APRENDIZAGEM COLABORATIVA	44
3.1	Análise de competidores	44
3.2	Definição das classes	45
3.3	Detalhamento das classes de problema	46
3.4	Resultados e discussões do <i>Benchmark</i>	47
4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	53
4.1	Descrição dos ambientes selecionados	53
4.1.1	Ambiente “Escape Simulator”	53
4.1.1.1	Características do ambiente de aprendizagem.....	54
4.1.1.2	Metodologias de aprendizagem.....	54
4.1.1.3	Estratégias de colaboração	54
4.1.2	Ambiente “NetVerse Edu”	54
4.1.2.1	Características do ambiente de aprendizagem.....	55
4.1.2.2	Metodologias de aprendizagem.....	55
4.1.2.3	Estratégias de colaboração	55
4.2	Cenário de teste	56
4.2.1	Teste de atenção visual	58
4.2.2	Teste de carga cognitiva.....	58
4.2.3	Teste de presença social	59
4.3	Teste piloto	60
4.3.1	Teste piloto no ambiente imersivo	60
4.3.2	Teste piloto no ambiente não imersivo	61
4.3.3	Dados obtidos no teste piloto.....	61
4.3.4	Análise do teste piloto.....	64
4.4	Condução do experimento	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES DO EXPERIMENTO	67
5.1	Análise comparativa dos dados de atenção visual nos ambientes	68
5.2	Análise estatística dos resultados do questionário de presença social	73
5.3	Análise estatística dos resultados do NASA-TLX	79

5.4	Integração dos resultados e verificação das hipóteses	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6.1	Ameaças à validade	92
6.2	Contribuições	93
6.3	Propostas de Trabalhos Futuros	94
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICE	103
	Apêndice 1	104

1 INTRODUÇÃO

A crescente integração das tecnologias imersivas na educação, especialmente aquelas baseadas em realidade virtual, representa um marco importante na evolução da educação a distância, redefinindo as formas de aprender e interagir em sintonia com as mudanças sociais. A pandemia da COVID-19 intensificou essa transformação, ao exigir soluções digitais eficazes frente aos desafios do distanciamento físico (Allam et al., 2022). Em resposta, tecnologias inovadoras têm se mostrado promissoras ao promover maior interatividade, agilidade e colaboração no contexto educacional (Harasim, 2012 apud Medeiros, 2013). Entretanto, os impactos cognitivos e sociais dessa integração ainda carecem de investigações empíricas aprofundadas.

Historicamente, as teorias construtivistas forneceram base para compreender a aprendizagem como um processo ativo. Piaget abordou a cognição como um fenômeno individual, enquanto Vygotsky enfatizou a mediação cultural por meio da linguagem e da colaboração, destacando a coautoria na construção do conhecimento (Medeiros, 2013). No campo da aprendizagem mediada pela tecnologia, Harasim (2012 apud Medeiros, 2013) propôs a Teoria da Aprendizagem Colaborativa Online, com ênfase nas etapas de organização, confronto e clarificação de ideias. Já Garrison, Anderson e Archer (2000) destacaram a importância das presenças docente, social e cognitiva na educação online (Lari, 2008 apud Medeiros, 2013), com ênfase nas duas últimas para esta pesquisa.

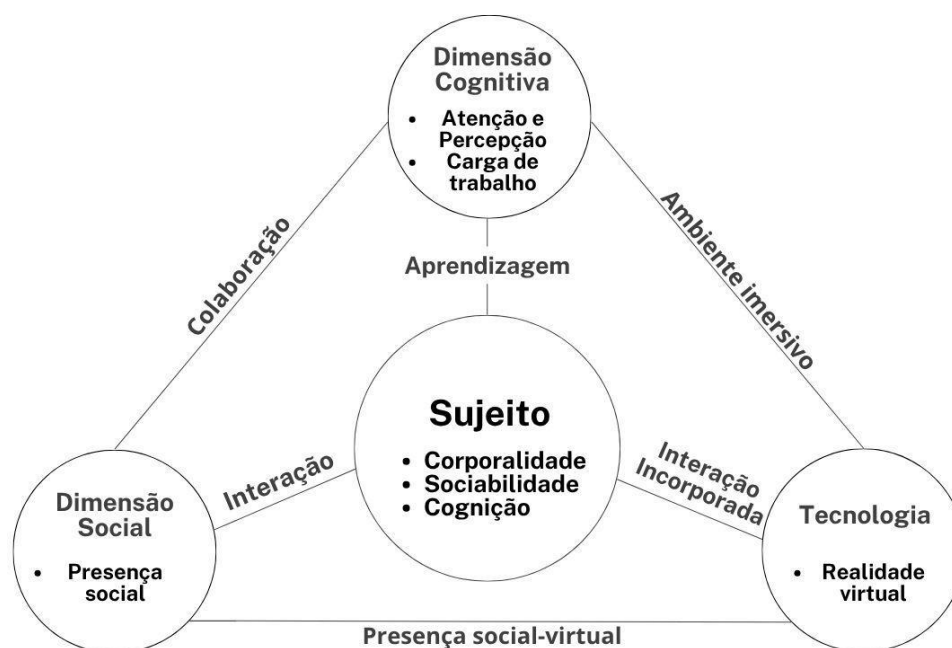
Com base na concepção biopsicossocial do ser humano (Irtelli e Durbano, 2020), esta pesquisa considera a cognição como processo central da aprendizagem, envolvendo atenção, percepção, memória e raciocínio (Norman, 1993 apud Sharp, Rogers e Preece, 2019). A atenção é aqui entendida como um filtro seletivo (Kandel, 2009 apud Endo e Roque, 2017), enquanto a percepção organiza e interpreta os estímulos recebidos (Lamb et al., 2012 apud Endo e Roque, 2017), aspectos investigados com apoio de instrumentos específicos.

No campo tecnológico, Dourish (2001) propôs a teoria da interação incorporada, articulando computação tangível (física) e social (coletiva) para explicar como o corpo interage com tecnologias digitais e constrói significados. Essa teoria sustenta a análise de ambientes como o metaverso, um espaço virtual 3D, persistente e imersivo, que permite interações sociais, econômicas e educacionais (Ritterbusch e Teichmann, 2023). No escopo desta pesquisa, quatro características são consideradas essenciais nos ambientes imersivos: imersão, persistência, incorporação e interatividade.

Dada a complexidade das interseções conceituais abordadas, a Figura 1 oferece uma representação visual das dimensões analisadas. O sujeito, no centro do processo de aprendizagem, é compreendido em sua corporalidade, sociabilidade e cognição, articulando aspectos biológicos (atenção, percepção e carga cognitiva) e sociais (interação, colaboração e

presença social), mediados por tecnologias imersivas. Nesse contexto, a colaboração não é entendida como uma interseção direta entre dimensões, mas como um fenômeno que emerge das interações entre sujeitos, possibilitadas pela presença social e pela atividade cognitiva no ambiente virtual.

Figura 1: Interseções dos conceitos-chave no contexto da aprendizagem imersiva



Fonte: Elaboração própria

Embora reconheça outros desdobramentos possíveis, esta dissertação concentra-se nas inter-relações entre os temas selecionados, contribuindo para a compreensão das dimensões cognitivas e sociais na aprendizagem em ambientes imersivos, em um contexto no qual a tecnologia se apresenta como parte integrante da sociedade contemporânea. Nesse contexto, torna-se pertinente explicitar os elementos que motivam esta investigação, bem como delimitar o problema de pesquisa que orienta o estudo.

1.1 Motivação e definição de problema

A aprendizagem, enquanto processo ativo, subjetivo, biológico e social, mediado pelo discurso, colaboração e tecnologia, busca aprimorar a comunicação e garantir acessibilidade aos estudantes (Filho, 2011). Na modalidade de educação a distância, o uso de tecnologias pode superar limitações e amplia o alcance, a eficácia e a eficiência da aprendizagem colaborativa online (Carvalho, 2009 apud Medeiros, 2013). Nesse contexto, Ambientes Colaborativos Virtuais de Aprendizagem (ACVA) constituem tecnologias promissoras na educação, embora sua efetividade demande investigações mais abrangentes (Barbosa et al., 2021). Os ACVA no metaverso podem favorecer a “sensação de presença” e fortalecer a colaboração entre professores e estudantes (Zuckerberg, 2021 apud Cerasa et al., 2022). Assim, estudos com usuários permitem aprofundar a compreensão sobre o potencial dessas tecnologias.

Diante disso, a primeira etapa deste estudo consistiu na realização de um mapeamento sistemático da produção científica acerca das implicações dos processos cognitivos no contexto do Metaverso aplicado à educação conforme estudo apresentado no Apêndice 1. Apesar dos resultados demonstrarem um crescimento substancial de estudos nesse campo interdisciplinar após a pandemia da COVID-19, ainda evidencia a escassez de investigações empíricas, de metaversos voltados para a educação e de estudos científicos aprofundados. Ademais, os achados evidenciam que os ambientes imersivos têm potencial para servir como poderosa ferramenta educacional, capazes de instigar a construção e o registro do conhecimento sob a mediação do docente, além de estimular aspectos cognitivos (atenção visual, percepção e outros) e sociais dos alunos. No entanto, surgem preocupações pertinentes em relação a possíveis sobrecargas cognitivas dos estudantes, o que reforça a necessidade de pesquisas de caráter experimental em ambientes imersivos educacionais, bem como a questões éticas e de segurança (Brito e Medeiros, 2024), que, por sua vez, não constituem objeto central de investigação neste estudo.

Em síntese, esta pesquisa é motivada pela convergência entre a evolução tecnológica da aprendizagem, a percepção de presença em ambientes virtuais e os aspectos cognitivos envolvidos no uso desses ambientes. O estudo parte de uma lacuna identificada no estado da arte e no mapeamento sistemático, que reconhecem a relevância do tema e indicam a necessidade de investigações mais aprofundadas. Assim, o problema de pesquisa consiste em compreender a manifestação de impactos cognitivos e sociais no uso de ambientes virtuais imersivos de aprendizagem. Os dados obtidos, portanto, visam oferecer um aporte teórico e prático para ampliar o conhecimento sobre o tema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo propõe investigar e comparar os níveis de atenção, a carga cognitiva e presença social em ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem.

1.2.2 Objetivos específicos

- Conduzir um *Benchmark* de ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem;
- Explorar como as experiências educacionais no ambiente imersivo podem ser adaptadas para atender às necessidades cognitivas e sociais de diferentes perfis de alunos;
- Propor possíveis recomendações para aprimorar o desenvolvimento de ambientes imersivos para a educação.

1.3 Questão de pesquisa e hipóteses

Visando aprofundar a compreensão sobre a integração das tecnologias imersivas na educação e o seu impacto na cognição e relações sociais no processo de aprendizagem, a seguinte questão de pesquisa foi delineada: Quais os impactos na cognição e na presença social dos usuários de ambientes virtuais imersivos de aprendizagem em comparação com ambientes virtuais educacionais não imersivos?

As hipóteses de pesquisa formuladas neste estudo buscam direcionar a investigação e testar previsões específicas sobre o impacto das tecnologias imersivas na educação à distância. As hipóteses norteadoras da pesquisa que requerem testes empíricos são:

Hipótese 1: Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem requerem um maior grau de atenção visual que ambientes virtuais não imersivos.

Hipótese 2: Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem requerem uma maior carga cognitiva dos usuários que ambientes virtuais não imersivos.

Hipótese 3: Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem proporcionam um maior grau de presença social aos usuários que os ambientes virtuais não imersivos.

1.4 Metodologia

A metodologia deste estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental de abordagem quali-quantitativa, estruturada para analisar as dimensões cognitivas e sociais em ambientes imersivos de aprendizagem. Este estudo caracteriza-se como uma investigação baseada na coleta pontual de percepções e desempenho, sem registro de dados que possibilitem a identificação dos participantes, em conformidade com princípios éticos voltados à proteção das informações e à integridade dos envolvidos. Nessa perspectiva, alinha-se à definição da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa para pesquisas que consistem em consultas pontuais, realizadas de forma verbal ou escrita, destinadas à obtenção de avaliações e percepções sem identificação dos respondentes. Considerando esse enquadramento, bem como as disposições da Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde — em especial o parágrafo único do Artigo 1º e o item VII, que contempla pesquisas voltadas ao aprofundamento teórico de práticas profissionais —, esta pesquisa encontra-se dispensada de apreciação por Comitê de Ética.

Adotou-se uma perspectiva integrada, com interpretação dos dados obtidos por diferentes instrumentos de coleta e procedimentos de análise. Este tópico apresenta o laboratório e os materiais empregados, bem como o arcabouço metodológico que orientou o desenvolvimento da pesquisa, contemplando: o mapeamento sistemático que fundamenta o estado da arte; o *benchmark* utilizado para a seleção dos ambientes; o experimento conduzido com os participantes; e a validação das hipóteses, com a descrição dos instrumentos de coleta e de análise dos dados.

1.4.1 Laboratório e materiais

O Laboratório de Realidade Aumentada e Virtual do IFPB campus João Pessoa (LARA), coordenado pelos Professores Alexandre D'Andrea e Francisco Petrônio Alencar de Medeiros, é um espaço multidisciplinar para pesquisa e extensão tecnológica. Desde 2021, o laboratório atendeu cerca de 500 estudantes da rede pública com oficinas e workshops, tendo seus produtos registrados como propriedade intelectual no INPI e suas pesquisas apresentadas em eventos nacionais e internacionais. O laboratório possui equipamentos avançados, incluindo 6 óculos Quest 2 de realidade virtual com sistema operacional independente e controle remoto, como ilustrado na Figura 2, além de notebooks e monitores disponíveis para a realização desta pesquisa (Laboratório de Realidade Aumentada e Virtual - LARA, s.d.).

Figura 2: Óculos *Quest 2* de realidade virtual e controles



Fonte: Carnevale et al. (2022).

O Oculus Quest 2, dispositivo de realidade virtual sem fio com tecnologia de rastreamento de dentro para fora, dispensa sensores externos para monitorar o HMD e os controladores, que exibem imagens digitais diretamente no campo de visão do usuário e atuam como efetores da cadeia cinemática dos membros superiores (Carnevale et al., 2022). Os materiais e equipamentos do LARA fornecem a estrutura de ambientes físico e virtual necessários ao desenvolvimento desta pesquisa, em conformidade com a necessidade do arcabouço metodológico definido.

1.4.2 Arcabouço metodológico

O arcabouço metodológico deste estudo é composto por três etapas principais. A primeira etapa envolve o "Mapeamento Sistemático" do estado da arte sobre as funções cognitivas no processo de aprendizagem dentro do ambiente imersivo. A segunda etapa é dedicada ao "*Benchmark*" de ambientes imersivos e não imersivos, com o objetivo de comparar as características, vantagens e desvantagens de cada tipo de ambiente para a seleção dos ambientes para a realização dos experimentos. A terceira etapa foi a realização dos experimentos nos ambientes imersivos e não imersivos, visando a coleta de dados para posterior análise. Finalmente, a quarta etapa consiste na "Validação das Hipóteses da Pesquisa", na qual são utilizados instrumentos metodológicos para testar e verificar as hipóteses formuladas inicialmente.

1.4.2.1 Etapa 1 - Mapeamento sistemático

O mapeamento sistemático, apresentado no Apêndice 1 deste trabalho, intitulado “Desafios e Oportunidades do Metaverso na Educação: Uma Análise das Funções Cognitivas e Implicações Pedagógicas”, de Brito e Medeiros (2024), analisa a extensão e a natureza dos fenômenos envolvidos na questão abordada. O tipo de estudo conduzido teve uma abordagem exploratória e descritiva. A metodologia envolveu a definição das questões de pesquisa, a coleta de estudos primários relevantes por meio de busca em indexadores específicos, a aplicação de critérios de exclusão e a triagem dos artigos selecionados. Foram selecionados 12 artigos e excluídos o total de 267 artigos. Foi utilizado o método de análise de conteúdo para tratar e examinar as informações dos artigos.

Os resultados do mapeamento sistemático evidenciaram um aumento expressivo de estudos sobre o uso de ambientes imersivos na educação nos últimos três anos (entre 2022 e 2025), com destaque para investigações centradas em atenção, percepção e melhora cognitiva. Também foram relatados benefícios como engajamento e colaboração, ao lado de limitações relacionadas à sobrecarga cognitiva, usabilidade, acessibilidade, inclusão, segurança e implicações éticas. Por fim, os achados apontam para o potencial dos ambientes imersivos na melhoria da experiência e da colaboração entre alunos. Reforça-se a necessidade de pesquisas adicionais que explorem os recursos específicos desses ambientes e aprofundem a compreensão da interação entre aspectos cognitivos e sociais em contextos virtuais (Brito e Medeiros, 2024). Após a realização dessa análise preliminar, é necessário buscar ambientes imersivos-não imersivos adequados para a realização da pesquisa deste estudo.

1.4.2.2 Etapa 2 - *Benchmark*

O *benchmark* caracteriza-se como uma metodologia estruturada para análise e organização de dados (Santos et al., 2021), servindo como base metodológica para a presente pesquisa. Esta etapa permitiu identificar e categorizar jogos educativos de aprendizagem ativa e plataformas com objetivos específicos visando selecionar ambientes para o desenvolvimento da pesquisa. Os ambientes foram avaliados considerando critérios como disponibilidade, modo de acesso, capacidade de promover a aprendizagem, interação tátil virtual e colaboração. Entre as 34 plataformas analisadas, 24 estão acessíveis ao público, 17 são multiplataforma, 23 se configuram como ambientes virtuais de aprendizagem, 26 possuem interação tátil, e apenas 6 atenderam a todos os critérios estabelecidos. Foram escolhidos o *Escape Simulator* e o *NetVerse Edu*, cuja aplicação e análise detalhada encontram-se descritas no Capítulo 3.

Em síntese, o *Escape Simulator*, um jogo do gênero *escape room*, utiliza aprendizagem ativa para abordar temas interdisciplinares, estimulando a resolução de enigmas por meio de interpretação, experimentação e lógica. Já o *NetVerse Edu*, incentiva a construção ativa do conhecimento por meio da interação com o ambiente e o grupo através de jogos e quizzes. Ambas as abordagens desenvolvem habilidades como trabalho em equipe, liderança e pensamento criativo, além de aumentar o engajamento e o aprendizado.

Ressalta-se que a análise não consiste na comparação entre os ambientes Escape Simulator e NetVerse Edu, uma vez que possuem naturezas distintas, mas sim na comparação entre as condições imersiva e não imersiva dentro de cada ambiente. Dessa forma, busca-se isolar o efeito da imersão, reduzindo a influência de características específicas de cada plataforma nos resultados obtidos. Com a definição desses ambientes, tornou-se possível avançar para a etapa experimental, na qual foram examinadas, de modo sistemático, as diferenças entre experiências de aprendizagem imersivas e não imersivas.

1.4.2.3 Etapa 3 - Experimento

O experimento foi conduzido em ambos os ambientes de aprendizagem selecionados (Escape Simulator e NetVerse Edu), considerando suas versões imersivas e não imersivas. Participaram 48 estudantes adultos familiarizados com tecnologia, distribuídos aleatoriamente em quatro grupos de 12 participantes. Dois grupos utilizaram o ambiente imersivo, acessado por meio de óculos de realidade virtual, enquanto os outros dois grupos utilizaram o ambiente não imersivo, acessado por computador, possibilitando a comparação entre as experiências de aprendizagem. As sessões foram realizadas em laboratório controlado, garantindo padronização das condições ambientais, configuração técnica uniforme e registro audiovisual para fins de análise. Antes da execução definitiva, foi realizado um teste piloto, cujo objetivo foi ajustar parâmetros operacionais, sequenciamento das atividades e adequação dos instrumentos de coleta.

Durante o experimento, foram aplicados três instrumentos metodológicos alinhados aos objetivos da pesquisa: o teste de atenção visual, utilizado para mensurar o foco dos participantes durante as atividades; o NASA Task Load Index (NASA-TLX), empregado para avaliar a carga de trabalho cognitiva percebida; e o Instrumento de Presença Social de Kim, destinado a identificar a qualidade das interações. A descrição detalhada desses instrumentos e das atividades realizadas encontra-se no Capítulo 4 (delineamento experimental). Com base nas etapas anteriores, passa-se à seção de validação das hipóteses de pesquisa.

1.4.2.4 Etapa 4 - Validação das hipóteses de pesquisa

A validação das hipóteses consiste na verificação metodológica das expectativas formuladas neste estudo, utilizando os instrumentos de teste de atenção visual, o NASA TLX e o questionário de presença social, seguida da análise estatística dos dados obtidos.

1.4.2.4.1 Validação da hipótese 1 utilizando o teste de atenção visual

De acordo com Wong, Volonte, Liu, Ebrahimi e Babu (2023), a atenção visual refere-se à capacidade de direcionar e manter o foco em estímulos visuais relevantes, sendo essencial para o processamento de informações e para a interação com o ambiente. Trata-se de um indicador do interesse e do estado mental durante tarefas colaborativas, permitindo compreender como os indivíduos processam informações e coordenam suas ações. A pesquisa

desses autores concentrou-se na compreensão da atenção visual durante a realização de tarefas colaborativas com agentes virtuais (AVs) em ambientes virtuais imersivos, revelando o acoplamento entre percepção e ação, além de indicar o desempenho colaborativo nas tarefas. As métricas para avaliar o desempenho dos participantes foram: o tempo médio total de execução da tarefa, a duração da atenção em alvos específicos, a alocação da atenção sem desvio de foco e a frequência de transições do olhar entre diferentes pontos.

No presente estudo, testou-se a Hipótese 1, a qual investigou se o nível de atenção visual dos participantes em ambientes imersivos seria superior ao observado em ambientes não imersivos. Para isso, aplicou-se um teste de atenção visual a ambos os grupos em ambiente controlado e adaptado para gravação. Nesta pesquisa, as métricas analisadas incluíram o tempo de tarefa total e de atividades específicas, o tempo de manipulação de objetos e/ou tempo de leitura e o tempo de inatividade durante a realização de uma tarefa de aprendizagem. A análise estatística foi conduzida por meio dos testes de Shapiro-Wilk e t de Welch, considerando a pequena amostra e a heterogeneidade das variâncias. Partiu-se da expectativa de que os participantes do ambiente imersivo apresentassem níveis mais elevados de atenção visual devido ao maior engajamento sensorial e ao grau de interatividade, que tendem a reduzir distrações externas e aumentar o foco.

1.4.2.4.2. Validação da hipótese 2 utilizando o instrumento NASA TLX

O NASA Task Load Index (NASA-TLX) é um procedimento subjetivo e multidimensional utilizado para avaliar a carga de trabalho cognitivo por indivíduos durante a realização de uma tarefa. A escala contém seis subdimensões, sendo três relacionadas ao indivíduo (demanda mental, demanda física e demanda temporal) e três referentes à interação com a tarefa (esforço, sofrimento/frustração e satisfação/performance). O processo de aplicação envolve duas etapas: inicialmente, o participante indica, em 15 pares de comparação entre as seis subescalas, quais fatores considera mais relevantes; em seguida, atribui uma pontuação de 0 a 100 para cada subescala. A pontuação global é calculada pelo produto das pontuações e pesos correspondentes, seguido da média ponderada resultante (NASA, 1986). Estudos como o de Prabaswari, Basumerda e Utomo (2019), propõe a classificação do resultado desse teste em: muito baixa (0–9), baixa (10–29), moderada (30–49), alta (50–79) e muito alta (80–100).

O NASA-TLX oferece uma avaliação ágil da carga percebida durante uma tarefa, servindo como uma base para avaliar a carga de trabalho cognitivo quando em conjunto com outras métricas (Kosch et al., 2023). Dessa maneira, para validar a hipótese 2 sobre o nível de carga cognitivo no ambiente imersivo ser maior do que no ambiente não imersivo, os participantes de ambos os grupos responderam ao questionário NASA TLX após a realização do experimento proposto. Os resultados foram analisados por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, utilizando os valores ponderados dos participantes, por se tratar de um teste

não paramétrico apropriado para dados assimétricos e amostras independentes. A análise dos resultados permitiu comparar a percepção da carga cognitiva entre os dois ambientes, verificando se a imersão aumenta a demanda cognitiva devido à maior complexidade e riqueza de estímulos apresentados.

1.4.2.4.3. Validação da hipótese 3 utilizando o questionário de presença social (Kim, 2011)

A presença social dos participantes foi analisada por meio do instrumento de Presença Social proposto por Kim (2011), o qual mensura o nível das relações interpessoais mediadas por tecnologias no contexto da educação superior a distância. A escala é composta por 19 itens, distribuídos em quatro construtos fundamentais: (i) atenção e apoio mútuos, que avalia a sensibilidade às necessidades dos colegas e a disposição para apoiá-los com empatia; (ii) conectividade afetiva, que mensura o vínculo emocional e social entre os participantes; (iii) sentido de comunidade, que reflete o grau de identificação com o grupo; e (iv) comunicação aberta, que indica a compreensão das opiniões alheias e o nível de conforto e satisfação nas interações. A Questão 4 (“Consegui perceber a presença e me sentir percebido pelos colegas no ambiente virtual, ajudando a realizar as tarefas educacionais em grupo?”) foi adotada como variável independente, por sintetizar a percepção global de presença social, sendo utilizada como referência para a comparação com todas as demais questões do instrumento.

Para testar a Hipótese 3, que postulou que o ambiente imersivo proporciona um maior grau de presença social em comparação ao ambiente não imersivo, foi elaborado um instrumento de avaliação baseado no questionário de Kim (2011) e aplicado aos participantes dos grupos experimentais. Esse instrumento mensura a qualidade das interações e o sentimento de vínculo estabelecido nos ambientes imersivos de aprendizagem. A análise foi conduzida por meio da correlação de Spearman, dada a natureza binária das variáveis. Partiu-se da expectativa de que os participantes do ambiente imersivo apresentassem maiores níveis de presença social, em função das características de realismo e interatividade que tendem a superar aquelas observadas em ambientes não imersivos. Com o objetivo de orientar a leitura e situar o desenvolvimento da pesquisa, descreve-se a composição dos capítulos que compõem este documento.

1.5. Estrutura do documento

Este documento está organizado em capítulos estruturados de acordo com a progressão lógica da pesquisa. O Capítulo 1 apresentou o problema investigado, a motivação do estudo, os objetivos geral e específicos, as questões e hipóteses de pesquisa, além da descrição do laboratório, dos materiais utilizados e do arcabouço metodológico aplicado ao experimento. O Capítulo 2 reúne a Fundamentação Teórica, abordando as bases conceituais relacionadas às dimensões cognitiva e social da aprendizagem e ao uso de tecnologias educacionais, incluindo temas como aprendizagem colaborativa a distância, ambientes imersivos, atenção e percepção, presença social, interação incorporada e trabalhos relacionados.

O Capítulo 3 descreve o método de *benchmark* utilizado para analisar e comparar ambientes imersivos (com óculos de realidade virtual) e não imersivos (com dispositivos 2D), classificando-os em duas categorias: jogos educativos, utiliza aprendizagem ativa para abordar temas interdisciplinares, e ambiente de aprendizado com propósito específico, integradas ao currículo de um curso ou disciplina. O Capítulo 4 detalha o experimento realizado, incluindo as metodologias de aprendizagem e as estratégias colaborativas dos ambientes selecionados, as condições de aplicação dos instrumentos e os resultados do teste piloto, com análise de sua adequação e ajustes necessários.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões, organizados em cinco eixos: (i) análise comparativa da atenção visual; (ii) presença social com base no questionário aplicado; (iii) carga cognitiva avaliada pelo NASA-TLX; e (iv) integração dos resultados e verificação das hipóteses, integrando atenção visual, carga cognitiva e presença social à luz das hipóteses da pesquisa. Por fim, o Capítulo 6 reúne as considerações finais, retomando os objetivos propostos e destacando as contribuições do estudo para a compreensão da ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem, bem como implicações para a área de Interação Humano-Computador e para a educação mediada por tecnologias.

No Apêndice 1, apresenta-se o mapeamento sistemático conduzido no contexto desta pesquisa, com base na análise de estudos selecionados, incluindo método, resultados e análise interpretativa, o que aprofunda o entendimento das funções cognitivas envolvidas na aprendizagem em ambientes imersivos e reforça seu potencial como ferramenta educacional.

Diante dessa organização estrutural, apresenta-se a Fundamentação Teórica que sustenta esta dissertação, aprofundando os conceitos e modelos que embasam a análise das dimensões cognitivas e sociais nos ambientes virtuais de aprendizagem, com ênfase nas tecnologias imersivas e suas implicações educacionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira seção concentra-se na Aprendizagem Colaborativa à Distância, com destaque para o conceito de colaboração. A segunda seção aborda o tema dos Ambientes Virtuais. A terceira enfatiza o conceito de ambiente imersivo na tecnologia de realidade virtual. A quarta explora a Cognição, delineando as funções cognitivas da atenção e da percepção. A quinta trata da Presença Social. A sexta introduz a teoria da Interação Incorporada e a sétima discute a Carga de Trabalho Cognitivo. Por fim, a última seção discorre sobre os Trabalhos Relacionados.

2.1 Aprendizagem colaborativa à distância

Com base no conceito de Aristóteles (1944), que descreve os seres humanos como sociais, e na observação de Young (2008) sobre a necessidade inata de interação, os avanços tecnológicos facilitaram a integração de ferramentas nas nossas interações (Zallio e Clarkson, 2022). Diversas tecnologias, como rádio, televisão e TICs, foram adotadas ao longo do tempo como recursos de educação (Medeiros, 2013). Inicialmente, a educação por computadores se limitava a CDs e DVDs, com alunos em posições passivas, com interação por chats e e-mails que não possuem colaboração (Moore, 2013). Com o advento da "Web 2.0", surgiram práticas mais interativas e colaborativas, como o "cyberspace", termo cunhado por Gibson em 1986, tecnologia acessada por óculos e luvas específicas que inserem usuários em mundos computacionais (Santos, 2001), fortalecendo novas práticas educacionais.

A análise da aprendizagem colaborativa a distância foi orientada pela perspectiva construtivista, com base nas contribuições de Piaget e Vygotsky. Segundo Weisz (2006), Piaget postula que o desenvolvimento biológico cerebral é um pré-requisito para o desenvolvimento humano. Já Vygotsky enfatiza que o desenvolvimento sócio-cultural é o principal impulsionador do desenvolvimento humano e que o discurso e a colaboração, mediados pela linguagem, são fundamentais para a construção do conhecimento por meio de pensamentos divergentes (Medeiros, 2013). Castorina et al., 2002, ainda destacam que, para Vygotsky, o sujeito é ativo, interativo e que a "internalização" de conhecimento representa o mecanismo predominante na formação das funções psíquicas superiores e desenvolvimento psicológico humano, mesmo reconhecendo a importância da dimensão biológica.

Nesse cenário, a aprendizagem é um processo ativo, social e colaborativo, na qual todos os membros do grupo são corresponsáveis pela produção do conhecimento (Medeiros, 2013). Harasim (2012 apud Medeiros, 2013) definiu o modelo da aprendizagem colaborativa *online* associada ao uso da *Internet* e da *Web*, possibilitando a inter-relação e colaboração dos docentes e discentes. Para o autor, a aprendizagem se define pela exposição de tópicos e articulação, confronto, organização e análise dessas ideias para conclusão de uma produção colaborativa. Enquanto Onrubia e Engel (2009) optaram em categorizá-la pela exposição, clarificação,

confronto e reparação das ideias, constatando os significados apresentados e fase de co-construção para obter o produto final (Medeiros, 2013).

Outra abordagem relacionada à aprendizagem colaborativa à distância é o “modelo conceitual de experiência educacional *online*” que, segundo Garrison et al. (2000), integra a presença cognitiva, social e docente. A presença cognitiva envolve a participação ativa dos envolvidos na formulação do conhecimento, enquanto a presença social refere-se à percepção do usuário em ambiente *online*. Já a presença docente diz respeito à gestão da dinâmica social e cognitiva pelo professor, envolvendo aspectos pedagógicos, sociais, gerenciais e técnicos, através de orientações, mediações, avaliações, entre outros (Lari, 2008 apud Medeiros, 2013). Apesar do auxílio do professor, a autonomia do estudante é fundamental no contexto de aprendizagem, permitindo-lhe organizar e elaborar sua produção conforme reconhece as contribuições dos outros (Spósito et al., 2008 apud Medeiros, 2013).

Nos anos 80 e anos 90, as aplicações permitiam espaços de interação, usabilidade e colaboração limitados (Medeiros, 2013). Com o avanço dos ACVA (Ambientes colaborativos virtuais de aprendizagem), passaram a ser incorporados recursos de gestão, organização e reutilização de conteúdos, promovendo maior comunicação e colaboração (De Bra e Cristea, 2004, apud Medeiros, 2013). Harasim (2012) classifica esses ambientes por atributos como comunicação desvinculada de localização física e temporal, diálogo entre múltiplos participantes, aplicação de texto e multimídia como base para o discurso e interação mediada pela Internet (Medeiros, 2013), configurando-os como ambientes virtuais estruturados para a aprendizagem.

2.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem

Inspirados nos princípios pedagógicos do sócio-construtivismo, os AVA representam uma síntese evolutiva entre os saberes educacionais e o avanço tecnológico. Esses ambientes possuem um ou mais recursos que facilitam a interação humano-computador e são classificados em duas dimensões principais: os ambientes bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D), como discutido por Lee et al. (2022). Tanto os ambientes 2D quanto os 3D podem suportar a educação à distância, cada um seguindo princípios pedagógicos distintos para planejar sessões virtuais e alcançar resultados desejados nos programas de aprendizagem.

Nos ambientes 2D, a limitação técnica pode afetar a percepção de profundidade e a avaliação das dimensões dos elementos observados (Lee et al., 2022). Existem diversas aplicações aptas para educação que possuem interface 2D como o *Adobe Connect*, o *Kaltura*, o *Teams* e o *GotoWebinar*. Os AVA 2D permitem a interatividade dos alunos através de textos, áudio e vídeo, assim como a mediação docente por supervisão ou revisão individual dos trabalhos do aluno, porém, são recursos limitados e que se restringem ao aprendizado autodirigido (Saleeb, 2021). Durante a pandemia, o *Zoom* tornou-se o *software* mais utilizado, facilitando que os funcionários se conectassem através de videoconferências. Contudo, o uso

prolongado dessas interações ocasionou a "fadiga do *Zoom*" devido ao excesso de contato visual causando aumento da carga cognitiva devido à visualização constante da própria imagem na câmera e limitações quanto à mobilidade física (Iqbal e Campbell, 2023).

Com relação às tecnologias 3D, embora não haja consenso terminológico na literatura, destacam-se três modalidades: a realidade aumentada (AR), a realidade virtual (VR) e a realidade mista (MxR). A AR é compreendida como uma tecnologia que insere objetos virtuais no mundo "real", sobrepondo elementos que complementam a imagem percebida e podem estimular o sentido da audição, do tato, do olfato, paladar e visão (Daşdemir, 2022). Já a VR é acessada pela tecnologia do óculos virtual denominado Head-mounted display (HMD), que consegue fornecer um alto nível de presença através de interfaces sensoriais, motoras e sensorio-motoras mais naturais e realistas, confundindo as duas realidades física e virtual na imagem projetada no óculos (Dincelli e Yayla, 2022). A MxR é a combinação da AR e da VR, sendo interpretado como a criação de objetos virtuais (conceito 3D) para interação dos usuários (López, Chaux e Alvarez, 2022).

Tais tecnologias - AR, VR e MR - têm o potencial de expandir as limitações de espaço e podem influenciar o ensino e a aprendizagem na educação (Zhang et al., 2023). Lee et al. (2022) apontam que a visão tridimensional em VR melhora o desempenho em exercícios que envolvem o reconhecimento ou a manipulação de objetos. Ademais, a VR oferece uma solução para mitigar o cansaço causado pelos dispositivos bidimensionais de contato visual constante, promovendo interações mais realistas e autênticas (Iqbal e Campbell, 2023). Diante do exposto, os ambientes imersivos de aprendizagem - acessados por tecnologia VR tornou-se o elemento fundamental desta pesquisa.

2.3 Ambiente imersivo de aprendizagem

Os avanços tecnológicos recentes têm possibilitado diferentes experiências em realidade virtual para os usuários (Rauschnabel et al., 2022). Nesse contexto, o ambiente imersivo de aprendizagem surge como uma das novas tecnologias, permitindo interações em realidade virtual num mundo virtual tridimensional com pessoas, ambientes e objetos (Daşdemir, 2022). Obras como *Neuromancer* (1986) e *Nevasca* (1992) inspiraram conceitos de avatares e mundos virtuais em 3D, influenciando ambientes como *Second Life*, que em 2008 já acolhia 13 milhões de residentes e mais de 250 universidades e faculdades (Moore, 2013). Esta pesquisa utilizou ambientes imersivos em VR, acessados por óculos HMD, e ambientes não imersivos executados em dispositivos 2D, como computadores.

O cenário global, marcado pela pandemia de Covid-19, intensificou a busca por soluções digitais eficazes para trabalho, estudo e comércio (Allam et al., 2022). Também, o anúncio da transição do Facebook para Meta visou estabelecer o ambiente imersivo e impulsionar o interesse pelo tema (Hutson, 2022). O termo "metaverso", que combina "meta", sugerindo "transcendência", com "universo" (Hwang, 2023), remonta ao romance de ficção

científica "Snow Crash" (Allam et al., 2022), onde a fusão entre a realidade "real" e "virtual" gerava valor por meio de atividades sociais. Mark Zuckerberg prevê que o metaverso representará uma nova era para a Internet, oferecendo uma experiência virtual única através do corpo (Cerasa et al., 2022). Assim, o ambiente imersivo é um espaço de interação sociocultural e de conteúdo sustentável acessado por tecnologias AR e VR, além de ser uma tecnologia escalável, capaz de hospedar diversas pessoas (López, Chaux e Alvarez, 2022).

Além disso, o ambiente imersivo pode combinar elementos de tecnologia e conceitos de mídia social para criar um espaço de interação transcultural em tempo síncrono ao mundo "real", com arquitetura descentralizada que conecta estações locais a uma rede maior de computadores, permitindo alto grau de liberdade e presença dos usuários (Hwang, 2023). López et al. (2022) sintetizaram suas características como: interconectividade, persistência, ampla imersão, capacidade de aprendizagem, personalizável, criabilidade, compartilhável, monetizável, escalabilidade dentre outros. Enquanto Dincelli e Yayla (2022) destacam: a incorporação, que possibilita avatares alinhados aos movimentos físicos gerando sensação de presença; a navegabilidade, que assegura deslocamento livre no ambiente virtual; a interatividade, com objetos e avatares, inclusive agentes controlados por IA; a criação, ligada aos recursos de renderização para desenvolver ambientes e componentes virtuais; e, por fim, a capacidade sensorial, ampliada por meio de *hardwares* especializados.

Na revisão sistemática conduzida por Ritterbusch e Teichmann (2023), o ambiente imersivo foi organizado em duas definições. A primeira definição é descrita como um ambiente *online* tridimensional onde os usuários, representados por avatares, interagem em espaços virtuais independentes do mundo físico. A segunda amplia essa noção ao incorporar características como persistência, maior grau de imersão e participação social, incluindo criação e compartilhamento de conteúdo, e a realização de atividades econômicas apoiadas por tecnologias como *blockchain*. Esta pesquisa concentra-se em quatro características dos ambientes virtuais — imersão, persistência, incorporação e colaboração — entendidas, respectivamente, como a profundidade da experiência virtual, a continuidade do ambiente independentemente da presença do usuário, a integração de elementos virtuais ao espaço físico e a carga de trabalho compartilhada entre usuários para alcançar um objetivo comum.

Conforme apresentado na Figura 3, Spence et al. (2017 e Maggioni et al., 2020 apud Dincelli e Yayla, 2022) trouxeram exemplos de *hardwares* especializados, como luvas e trajes hápticos, que potencializam o sentido do tato, e periféricos que estimulam o olfato e o paladar através de módulos olfativos ou estimulação elétrica.

Figura 3: Periféricos de VR: controlador de movimento, farol, rastreador, esteira omnidirecional, luva háptica e traje



Fonte: Dincelli e Yayla, 2022.

Dentro do ecossistema dos ambientes imersivos, a VR é a tecnologia mais pesquisada na área da educação (Alfaisal et al., 2022 apud Garcia et al., 2023). Ambientes sociais de realidade virtual, como *VRChat*, *AltspaceVR*, *Rec Room* ou *Horizon Worlds*, proporcionam uma nova forma de interação social *online* (Van Brakel, Barreda-Ángeles e Hartmann, 2023). Na Figura 4 podemos ver alguns ambientes em VR como o *Virbela*, o *Edu-Metaverse* e o *Metaverse Learning* que foram desenvolvidos para auxiliar no processo de aprendizagem.

Figura 4 - Ambientes imersivos de aprendizagem em realidade virtual



Fonte: Dados da pesquisa

Apesar das soluções digitais existentes atenderem às necessidades dos usuários em termos de interações sociais, ainda há preocupações com a qualidade dessas tecnologias (Bailenson, 2021 apud Makransky e Klingenberg, 2022), necessitando que as tecnologias evoluam para garantir acessibilidade, facilidade de implementação e utilização desse recurso promissor (López et al., 2022). Além disso, questões de segurança de informações pessoais e possíveis impactos negativos na saúde mental são preocupações no uso dos ambientes virtuais em VR (Cerasa et al., 2022). No contexto educacional, os avatares viabilizam interações síncronas entre alunos e professores por meio de áudio, *chat* e outros (Saleeb, 2021). Diante do avanço tecnológico nos processos de aprendizagem, este estudo analisa as dimensões sociais e cognitivas associadas ao uso de ambientes imersivos.

2.4 Cognição

A cognição é um campo intrinsecamente complexo, abrangendo uma gama de processos cognitivos interdependentes, tais como a memória, o aprendizado, a comunicação, resolução de problemas, planejamento, raciocínio e outros, que delineiam a maneira como os seres humanos adquirem, processam, armazenam e utilizam informações (Norman, 1993 apud Sharp et al., 2019). Conforme Norman (1993), há ainda os modos de cognição que regem as respostas dos seres humanos de duas maneiras: a experiencial que é intuitiva e sem esforço devido ao conhecimento prévio e a reflexiva que exige esforço explícito, atenção, julgamento

e decisão para a construção de um saber. Kahneman e Tversky (2011), denomina esses eventos por outras terminologias, que são: o pensamento rápido ou Sistema 1 (semelhante ao modo experiencial) e o pensamento lento ou Sistema 2 (semelhante ao modo reflexivo), mantendo as características já mencionadas (Barbosa, 2021).

À luz da interação humano-computador, Rogers (2012 apud Sharp, 2019) declara que a cognição é estudada pelo contexto e uso das ferramentas, artefatos e interfaces. Eysenck e Brysbaert (2018 apud Sharp, 2019) sustentam que existem quatro classificações para a cognição, que são: a distribuída, a situada, a ampliada e a incorporada. Esta dimensão foi abordada nesta pesquisa, sendo relacionada a funções cognitivas como atenção e percepção.

2.4.1 Atenção

Atualmente, estamos imersos em uma profusão de estímulos sensoriais, mas a capacidade do nosso cérebro para processar informações é limitada, levando-nos a focar em alguns aspectos e ignorar outros. Assim, a atenção atua como “filtro”, selecionando estímulos para processamento adicional (Kandel, 2009, apud Endo e Roque, 2017). Myers (2012, apud Endo e Roque, 2017) compara a atenção a um “feixe de luz” iluminando apenas um aspecto específico do que está sendo observado. É importante observar que a capacidade dos nossos receptores sensoriais excede a capacidade do cérebro para processar essas informações, resultando na necessidade de seletividade (Endo e Roque, 2017).

Ao detalhar o conceito de atenção, percebemos que esta engloba características como alerta (vigília), concentração (foco intenso), seleção (escolha específica), perscrutação (exame minucioso) e exploração (investigação). Aspectos importantes a serem considerados incluem a formação reticular, que recebe conexões de praticamente todas as vias sensoriais do corpo, permitindo comparações entre o mundo interno e externo, e fatores como respiração e frequência cardíaca, que também podem influenciar o estado de atenção seletiva. O estado de alerta, a condição mais básica da atenção, é hipoteticamente controlado pelo sistema reticular ascendente (SARA), o qual regula o tônus muscular, os reflexos e a prontidão para o movimento. A reação à orientação é uma resposta à percepção do estímulo ambiental, envolvendo direcionamento seletivo dos olhos e da cabeça. Assim, a atividade neuronal pode aumentar ou diminuir em resposta a estímulos motivadores (Brandão, 2002).

Fazendo uma revisão teórica, Johnston e Dark (1986), afirmam que a atenção “seletiva” é caracterizada pelo processamento de múltiplas fontes de informação de forma simultânea. Sarter et al. (2001), caracterizam a atenção “sustentada” como a capacidade do ser humano detectar determinados sinais ao longo de períodos extensos de tempo e a atenção “executiva” que, segundo Posner et al. (2007), é compreendida como a habilidade de detectar e resolver conflitos (Dolcos et al., 2020). A atenção voluntária é um ato social complexo e multissensorial que molda a percepção sensorial e o comportamento social. A teoria do processamento de

informações de Broadbent sugere que todas as informações são inicialmente processadas em um nível físico quando prestamos atenção e não semântico (Brandão, 2002).

No contexto da interação humano-computador, a atenção visual tem sido estudada através do "desvio de fixação", que investiga a velocidade dos movimentos oculares ao redor de um ponto fixo. A modelagem computacional do desvio de fixação pode fornecer informações sobre a estabilidade da entrada visual na retina e suas implicações cognitivas, trazendo benefícios significativos para o desenvolvimento de aplicações (Poletti, Listorti e Rucci, 2010 apud Rigas, Friedman e Komogortsev, 2018). Neste aspecto, a manutenção da atenção é afetada por diversos fatores, sendo a percepção uma função cognitiva fundamental associada a esse processo.

2.4.2 Percepção

A percepção é uma função cognitiva complexa que engloba outros processos, como atenção, memória e linguagem. Em síntese, a atenção direciona os recursos cognitivos para informações específicas, enquanto a percepção organiza e interpreta esses estímulos (Wolff, 1956). Roth (1986) afirma que a percepção é o processo pelo qual obtemos informações de objetos, eventos, sons e sabores do através dos sentidos: visão, audição, paladar, olfato e tato. Para Lamb, Hair e McDaniel (2012 apud Endo e Roque, 2017), a percepção envolve a seleção, organização e interpretação de estímulos, transformando-os em uma imagem coerente e significativa, por meio de categorias, metonímias e metáforas conceituais, que reflete a forma como percebemos o mundo (Barbora, 2021).

O excesso de estímulos nos obriga a praticar a exposição seletiva, buscando notar os estímulos relevantes e ignorar os demais (Endo e Roque, 2017). Complementarmente, Souza (2006), ao tratar da Teoria da Influência Seletiva, identifica quatro elementos centrais: a atenção seletiva, guiada por interesses individuais; a percepção seletiva, que organiza e interpreta estímulos conforme crenças e valores; a recordação seletiva, que mantém ou descarta informações de acordo com estruturas cognitivas; e a ação seletiva, que corresponde à maneira singular como cada indivíduo responde ao material percebido (Endo e Roque, 2017). Segundo Rigas, Friedman e Komogortsev (2018), atenção e percepção são processos interligados que permitem interpretar o ambiente percebido, trabalhando em conjunto no processamento de estímulos visuais (Dolcos et al., 2020).

Henry Garret (1961) acrescenta que a percepção visual envolve simetria, proporção e tonalidade, influenciando a interpretação estética e emocional das imagens, de modo que composições desequilibradas podem gerar desconforto perceptivo, manifestado como esforço ou tensão muscular. Para pessoas sem deficiência visual, a visão é o sentido predominante, seguida pela audição e pelo tato. Soma-se a esses a cinestesia, relacionada à consciência corporal proveniente de órgãos sensoriais dos músculos e articulações, chamados de proprioceptores (Sharp et al., 2019). A percepção de movimento envolve a captação, controle,

coordenação e precisão, podendo manifestar-se como movimento real — quando objetos mudam efetivamente de posição; movimento aparente — quando imagens estáticas criam a ilusão de deslocamento; ou movimento induzido — quando o movimento de um objeto faz outro, imóvel, parecer mover-se (Day, 1972).

Embora a investigação das funções cognitivas e dos ambientes imersivos sejam recentes, estudos de autores como Singh et al. (2021) e Albus et al. (2021) indicam que a aprendizagem com realidades estendidas (AR, VR e MR) pode reduzir a carga cognitiva dos alunos no processamento de informações, dependendo do *design* dos objetos nesses ambientes (Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo e Martín-Párraga, 2023). No *design* de interação, é possível agrupar itens ou destacar informações-chave para facilitar a percepção dos usuários (Sharp et al., 2019). Atualmente, a área de Interação Humano-Computador (IHC) e Experiência do Usuário (UX) concentra-se nos sentidos da visão, audição, toque e cinestesia (Barbosa et al., 2021). Dessa forma, as percepções sensoriais permitem uma interatividade mais intensa por meio do computador, transcendendo as relações sem significado para uma experiência que ultrapassa os limites físicos.

2.5 Presença social

Nossa existência social é moldada pela identidade civil e valores individuais, refletindo nossos sentimentos e emoções em relação à sociedade. Vygotsky complementa essa visão destacando a importância das relações interpessoais na atribuição de significado às palavras (De Menezes, 2015). Com o avanço tecnológico, a linguagem passou a ser mediada por dispositivos tecnológicos e estudada no contexto da presença social, conceito introduzido por Short, Williams e Christie (1976) e reforçado por Segundo Biocca et al. (2003) e Oh, Bailenson e Welch (2018, apud Van Brakel et al., 2023). Gunawardena e Zittle (1997, apud Medeiros, 2013) e Weidlich e Kreijns (2024) salientam que essa comunicação percebe o outro como uma "pessoa real" e "presente" na interação.

Na perspectiva da educação, o modelo conceitual de experiência educacional *online*, conforme Garrison et al. (2000 apud Medeiros, 2013), integra três tipos de presença: cognitiva, social e docente. A presença cognitiva envolve a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento em busca de objetivos comuns. A presença docente abrange a responsabilidade do professor na gestão, coordenação e monitoramento das dinâmicas sociais e cognitivas, incluindo aspectos pedagógicos, sociais, gerenciais e técnicos. E a presença social refere-se à percepção "real" dos usuários em ambientes online, facilitada pela tecnologia (Lari, 2008 apud Medeiros, 2013), que envolve a sensação de conexão e proximidade entre indivíduos, permitindo a colaboração virtual (Yung et al., 2021). Garrison et al. (2000) enfatiza que a presença social apoia a presença cognitiva quanto à construção do pensamento crítico e contribui para a experiência de interação agradável e satisfatória.

Aprofundando tal entendimento, a presença social tem sido estudada desde a década de 1980, com o intuito de criar ambientes de aprendizagem que facilitem o compartilhamento de informações e promovam o conforto dos professores e alunos (Aragon, 2003 apud Medeiros, 2013). Além dos aspectos práticos, é importante considerar a responsabilidade dos alunos em projetar-se social e emocionalmente através da interação nas comunidades em que estão inseridos (Rourke et al., 1999 apud Medeiros, 2013). Çelik e Baturay (2024) destacaram que a presença social refere-se ao nível em que os participantes em uma interação ou comunidade virtual percebem e vivenciam um sentimento de ligação, sociabilidade e presença dos demais, o que pode indicar que a experiência de aprendizagem digital pode ser substancial e imersiva.

No contexto dos Ambientes Computacionais Virtuais de Aprendizagem (ACVAs), o grau de presença está relacionado ao contexto social, aos recursos disponíveis e ao nível de interatividade da tecnologia (Tu e Mclsaac, 2002 apud Medeiros, 2013). A presença social tem contribuído para o desenvolvimento da VR no que diz respeito à percepção e satisfação do usuário. Além disso, Ravaja et al. (2018) e Pimentel e Vinkers (2021) afirmaram que o ser humano é afetado emocionalmente pelos avatares mais do que por outros objetos. O'Leary et al. (2012, apud Yung et al., 2022) acrescentam que o significado simbólico ultrapassa o contexto físico, o que reforça a necessidade de modelos analíticos capazes de categorizar diferentes formas de presença social nos ACVAs

Nesta investigação, a avaliação da presença social em ambientes virtuais foi realizada por meio de instrumentos adaptados de questionários consolidados na literatura, como a “Matriz padrão da escala de presença social”, desenvolvida por Kim (2011, apud Medeiros, 2013), a qual examina as dimensões psicológicas e emocionais das interações em contextos de educação a distância. Considerando a tipologia do cubo SPEL, que categoriza os ambientes virtuais a partir de três eixos — presença social, localização (físico-virtual) e virtualidade (real-virtual) (Yung et al., 2022) — esta pesquisa adotou ambientes imersivos em VR, a fim de assegurar o mais elevado nível de imersão e interatividade entre os usuários. Essa presença social-virtual pode ser potencializada quando elementos corporais e gestuais são integrados às interações digitais.

2.6 Interação incorporada

Filósofos, psicólogos, sociólogos e outros estudiosos têm investigado a fenomenologia para compreender a interação entre o sujeito e o objeto. Heidegger sugere que a forma como agimos confere significado à vida, pontuando que o uso de equipamentos pode promover a relação entre a ação e o significado. Merleau-Ponty buscou unir a filosofia de Husserl e Heidegger, destacando três pilares da fenomenologia: sujeito, objeto e corpo. Dreyfus identifica três significados de corporificação na obra de Merleau-Ponty: a personificação física de um sujeito, as habilidades e respostas corporais culturais. Gibson, por sua vez, contribui com a psicologia ecológica ao conceituar *affordance* como a complexa relação entre

organismo, ação e ambiente. Assim, a abordagem filosófica da fenomenologia integra as experiências, os pensamentos, as percepções e as ações (Dourish, 2001), oferecendo fundamento para compreender a interação por meio da tecnologia.

Inserida entre o mundo físico e a tecnologia, a computação ubíqua tem impulsionado pesquisas e práticas voltadas a tornar a interação entre usuário e computador mais realista (Mejia-Puig e Chandrasekera, 2023). A computação tangível permite e incentiva ao usuário interagir e adotar dispositivos no seu contexto e no seu cotidiano, através da configuração do espaço, da relação corpo-tarefa a ser realizada e das restrições físicas. Já a computação social busca compreender a ‘comunicação’ humano-computador a partir da antropologia e sociologia. Ambas se baseiam na incorporação, pois a computação tangível identifica a incorporação física na ação no mundo e a computação social identifica a incorporação social na construção de significado, a união desses pensamentos servirá de base para a teoria da “interação incorporada”. É importante constatar a diferença entre ter metáforas inspiradas no mundo real para interação e a incorporação, esta que parte do princípio de não dissociar a realidade física e social, implicando que haja participação nesta interação (Dourish, 2001).

A interação incorporada não surge apenas da tecnologia ou da cognição; ela resulta da interação dinâmica entre o usuário e o ambiente tecnológico. Esse conceito refere-se à criação, estabelecimento e comunicação de significados por meio de tecnologias interativas, sem necessariamente ser o elemento central da interação. Os princípios subjacentes a essa ideia destacam que a computação é um meio que possibilita a interatividade, permitindo que as tecnologias participem ativamente do mundo que representam. Nesse contexto, os usuários assumem o papel de criadores e comunicadores de significados, transformando suas ações em significado. Os *designers* têm a responsabilidade de projetar artefatos que permitam aos usuários se apropriarem deles, adaptando-os e construindo significados de forma individual. Essa abordagem unifica mente e corpo, representação e objeto, permitindo que a ação se torne significativa na interação humano-tecnologia (Dourish, 2001).

Em suma, a interação incorporada defende a ideia de que a tecnologia e a prática não são entidades separadas, mas sim elementos interdependentes que se desenvolvem em conjunto. Nesse sentido, tanto a ação quanto o significado desempenham papéis ativos e interligados: as ações do usuário moldam o significado atribuído às tecnologias, ao passo que o significado influencia as ações realizadas. A combinação da interação social com ambientes tridimensionais pode ampliar a sensação de presença e colaboração, potencializando a imersão do usuário em ambientes virtuais (Dourish, 2001), ambiente analisado nesta pesquisa. A compreensão da interação incorporada também tem implicações significativas na carga de trabalho cognitivo, podendo afetar a quantidade de carga cognitiva exigida durante a interação com sistemas tecnológicos.

2.7 Carga de trabalho cognitivo

A compreensão da carga de trabalho é essencial em diversos contextos, pois reflete a carga exigida para concluir as demandas de uma tarefa. Embora o cenário ideal envolva a execução rápida e precisa das atividades, fatores como fadiga e estresse interferem na carga de trabalho (NASA, 1986). Leplat e Cuny (1983 apud Cardoso e Gontijo, 2012) afirmam que a carga mental é definida de acordo com a subjetividade de cada indivíduo. Para Wisner (1994 apud Cardoso e Gontijo, 2012), atividades cotidianas envolvem aspectos físicos, cognitivos e psicológicos, os quais desempenham um papel significativo no processo de sobrecarga. Velázquez, Lozano e Escalante (1995 apud Cardoso e Gontijo, 2012) explicam que carga física, a carga cognitiva e a carga psicológica são interdependentes.

De modo geral, a demanda psicológica é evidente em todas as áreas onde ocorrem os procedimentos de vivência e conduta humanas. Esse conceito engloba também os aspectos cognitivos, informacionais e emocionais da vida humana, incluindo desde elementos cognitivos (como atenção, foco, lembrança, percepção e decisão) até os aspectos emocionais, que abarcam sentimentos, emoções e o ímpeto em relação ao trabalho. A sobrecarga cognitiva surge como resultado do ato de o trabalhador desempenhar a atividade em questão, considerando toda a realidade complexidade presente no contexto laboral (Cardoso e Gontijo, 2012).

Desde sua concepção na década de 1980, a teoria de sobrecarga cognitiva de Sweller emergiu como um campo influente no *design* educacional e instrucional. Sweller elaborou essa teoria, uma estrutura que esclarece como o processo de aprendizagem é restringido pelo arranjo do *design* instrucional. Inicialmente fundamentada na psicologia educacional, essa teoria explora como o *design* das instruções pode moldar o processo de aprendizagem ao considerar as limitações dos recursos cognitivos. Em contraponto à teoria de sobrecarga cognitiva, a carga de trabalho cognitivo se refere aos recursos cognitivos necessários para a execução de uma tarefa. O desempenho e a atenção são afetados de forma mais significativa à medida que a exigência de recursos mentais aumenta (Kosch et al., 2023).

Na área de Interação Humano-Computador (IHC), os pesquisadores empregam comumente termos como “carga de trabalho cognitivo”, “carga cognitiva” ou “carga de trabalho mental” para caracterizar a demanda cognitiva de uma tarefa. Essa linha de investigação busca aprimorar a usabilidade e a experiência do usuário por meio da análise e avaliação dessas cargas, utilizando métodos tradicionais — como questionários e protocolos de pensamento em voz alta — e, mais recentemente, tecnologias de detecção que permitem mensurações mais objetivas e em tempo real (Kosch et al., 2023). No contexto desta pesquisa, os estudos da área evidenciam que a presença social, a cognição e os processos de atenção e percepção constituem categorias centrais para a análise de ambientes imersivos de aprendizagem.

2.8 Trabalhos relacionados

Nesta seção, apresentam-se os trabalhos relacionados que fundamentam a discussão teórica e servem como referência comparativa para esta pesquisa. Parte desses estudos foi extraída de um mapeamento sistemático previamente conduzido sobre o tema. Além disso, foram incluídas outras pesquisas relevantes que abordam a realidade virtual, em razão de sua contribuição metodológica e empírica significativa. Essa análise abrangente contextualiza o estudo no panorama acadêmico atual, destacando avanços frente ao estado da arte e apontando oportunidades para novas investigações.

O estudo intitulado "*Exploring User Perceptions of Virtual Reality Scene Design in Metaverse Learning Environments*" investigou as percepções dos usuários em relação aos elementos de *design*, como estilo, cor, textura, objeto e fundo, em duas cenas de aprendizagem em realidade virtual. A pesquisa envolveu 16 participantes e empregou uma metodologia que incluiu a utilização da escala *Likert* de sete pontos para classificação das cenas, o teste U de *Mann-Whitney* para validar as diferenças de preferências entre elas, e o questionário NASA TLX para avaliar o impacto na carga cognitiva durante as duas situações. Os resultados revelaram que o *design* e problemas relacionados à visão provocaram níveis distintos de distração e demanda cognitiva entre os participantes, podendo influenciar o processo de aprendizagem (Ferdousi et al., 2024).

No artigo denominado "*An Immersive Learning System with Multimodal Cognitive Processes Inference*", os autores Bian et al. (2022) usaram uma tecnologia multimodal para verificar os processos cognitivos na aprendizagem, levando em consideração as ações, as emoções e a atenção dos alunos. A pesquisa utilizou tecnologias como realidade virtual (VR), rastreamento ocular, frequência cardíaca e ondas cerebrais para coletar dados e inferir o estado cognitivo e emocional dos alunos durante o processo de aprendizagem. Assim, o sistema proposto ofereceu uma abordagem inovadora para compreender e apoiar a aprendizagem individual e em grupo mais eficaz.

Zhang et al. (2023) conduziram o estudo comparativo "*Is Metaverse Better than Video Conferencing in Promoting Social Presence and Learning Engagement?*" a respeito do uso do metaverso e videoconferências na EAD, observando maior motivação e satisfação dos alunos no metaverso devido à sua maior interatividade e presença social, resultando em um maior engajamento na aprendizagem. Apesar disso, o estudo identificou um efeito mínimo no envolvimento cognitivo. O experimento envolveu 28 alunos em três fases distintas, utilizando questionários com escala *Likert* de cinco pontos, análise estatística com o SPSS 25.0 e o JASP, e o cálculo do tamanho do efeito com o *d* de Cohen. No entanto, o estudo apresentou limitações, incluindo a ausência de testes de conhecimento e o possível viés decorrente do "efeito novidade" e do efeito Rosenthal.

O artigo intitulado "*A Framework for Constructing a Technology-Enhanced Education Metaverse: Learner Engagement with Human–Machine Collaboration*" delineou o desenvolvimento do Edu-Metaverso, fundamentado no conhecimento da cognição incorporada como um elemento fundamental para a colaboração e aprendizagem. Esse estudo de caso envolveu 95 estudantes de graduação chineses para construção do ambiente virtual Edu-Metaverso. Seu objetivo foi analisar o metaverso sob a perspectiva da colaboração homem-máquina, focando em aspectos como o envolvimento na formação guiada pelo Edu-Metaverso, a participação na colaboração apoiada pela tecnologia e o engajamento criativo capacitado pelo ambiente. Os resultados fornecem informações sobre a eficácia e potencial do Edu-Metaverso como ferramenta educacional inovadora (Han, Tu e Huang, 2023).

O estudo "*Comparing Visual Attention with Leading and Following Virtual Agents in a Collaborative Perception-Action Task in VR.*" de Wong, Ebrahimi, Volonte, Babu e Liu (2023), explora os comportamentos de atenção visual de 17 participantes universitários durante a atividade de colaboração com agentes virtuais (AVs) em ambiente de realidade virtual. A pesquisa utilizou métricas para avaliar o tempo de tarefa, a duração da atenção, a alocação da atenção e a transição da atenção, assim como questionário demográfico e questionário de doença do simulador. O estudo concluiu que a atenção visual está relacionada à atenção seletiva, sendo possível entender que a atenção visual é uma manifestação da atenção seletiva no contexto da percepção visual. Em outras palavras, quando nos concentramos em um objeto específico em nosso campo de visão, estamos aplicando a atenção seletiva para direcionar nossa atenção a esse objeto, enquanto filtramos ou ignoramos outros estímulos visuais ao nosso redor.

O artigo intitulado "*Conceptions of the metaverse in higher education: A draw-a-picture analysis and surveys to investigate the perceptions of students with different motivation levels*" investigou as concepções e percepções de 89 estudantes universitários sobre o uso do metaverso na educação superior, abordando sua mentalidade construtiva, atitudes de aprendizagem e autoeficácia. Foi realizada uma palestra sobre o tema, pesquisa de motivação para aprendizagem, pesquisa de mentalidade construtiva e desenho. Descobriu-se que os alunos mais motivados demonstraram maior atenção e interesse em atividades de aprendizagem experiencial, prática e construtiva, enquanto os menos motivados tendiam a se concentrar em atividades estáticas. Esses resultados destacam a importância de estratégias para promover o engajamento dos alunos nesses ambientes de aprendizagem (Hwang, Tu e Chu, 2023).

O estudo quanti-qualitativo intitulado "*MILES Virtual World: A Three-Dimensional Avatar-Driven Metaverse-Inspired Digital School Environment for FEU Group of Schools*" teve como objetivo a concepção e exploração do potencial do Miles Virtual World, integrando os conceitos de *lifelogging* e mundos espelhados, oferecendo aos usuários a capacidade de personalização individual. A pesquisa envolveu 52 participantes que utilizaram o aplicativo em seus smartphones e posteriormente forneceram feedback sobre suas experiências por meio de um formulário. Os autores enfatizaram que o sucesso acadêmico potencial desse ambiente se

deve à sua natureza motivadora, interativa, colaborativa e de presença social corporificada, o que impulsionou a motivação e fortaleceu as conexões interpessoais, contribuindo para o processo de aprendizado (Garcia et al., 2023).

No artigo "*A dynamic approach for teaching algorithms: Integrating immersive environments and virtual learning environments*", Nunes et al. (2017) exploraram a integração do ambiente Moodle e do *Opensim Virtual World* com a solução *Sloodle* para o ensino de algoritmos no curso de Engenharia da Computação, com o objetivo de combater a evasão escolar decorrente da dificuldade dessa disciplina. A pesquisa começou com uma revisão teórica seguida pela integração dos ambientes, culminando em um estudo de caso com 13 alunos no grupo experimental e 21 alunos no grupo controle avaliados por meio de um questionário. Os resultados revelaram que o ambiente imersivo manteve os alunos motivados e concentrados, sendo que o uso do Metaverso demonstrou maior nível de atenção em comparação à educação tradicional de algoritmos. No entanto, a sobrecarga cognitiva devido ao excesso de informações e elementos no Metaverso foi identificada como um possível desafio.

O estudo "*Gather in the metaverse: Learning outcomes, virtual presence, and perceptions of high-and low-achieving pre-service teachers of English as a Foreign Language.*" ressaltou os benefícios do Gather como suporte para a aprendizagem EAD entre futuros professores. Foram envolvidos 46 estudantes juniores em duas tarefas de planejamento de aulas: discussões em sala de aula e uso do Gather. Os pesquisadores analisaram o desempenho dos alunos, suas respostas à Escala de Presença Múltipla e seus diários reflexivos. Os resultados destacaram que a colaboração e interação com instrutores e colegas promoveram uma maior sensação de imersão e presença social. Esses achados ressaltam a importância da presença física, social e auto presença na aprendizagem online com suporte de ambientes virtuais (Chen, 2023).

A revisão sistemática denominada "*Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid narrative review based on the technology affordance perspective.*" explora as vantagens dos recursos tecnológicos imersivos, como o Metaverso, em diversas áreas, incluindo treinamento, educação, saúde, entretenimento, varejo, entre outros. A pesquisa ressalta que a realidade virtual imersiva pode influenciar positivamente a atenção, cognição e motivação, embora a percepção do tempo possa variar de acordo com o conteúdo estudado. Além disso, enfatiza que o *design* do ambiente virtual pode impactar a carga cognitiva dos usuários, afetando seu nível de atenção. A metodologia incluiu a revisão de 362 artigos, a seleção de 151 deles e a categorização em linhas de pesquisa específicas, utilizando uma abordagem baseada em recursos tecnológicos para analisar a interação usuário-artefato (Dincelli e Yayla, 2022).

Após a exposição desses estudos, o Tabela 1 detalha os trabalhos relacionados, destacando o(s) conceito(s) abordados por cada artigo, categorizados com base nos eixos principais de pesquisa deste projeto: atenção e/ou percepção, cognição e presença social. Além disso, a metodologia empregada em cada pesquisa também se encontra descrita.

Tabela 1: Trabalhos relacionados e categorização com base nos eixos principais de pesquisa deste projeto.

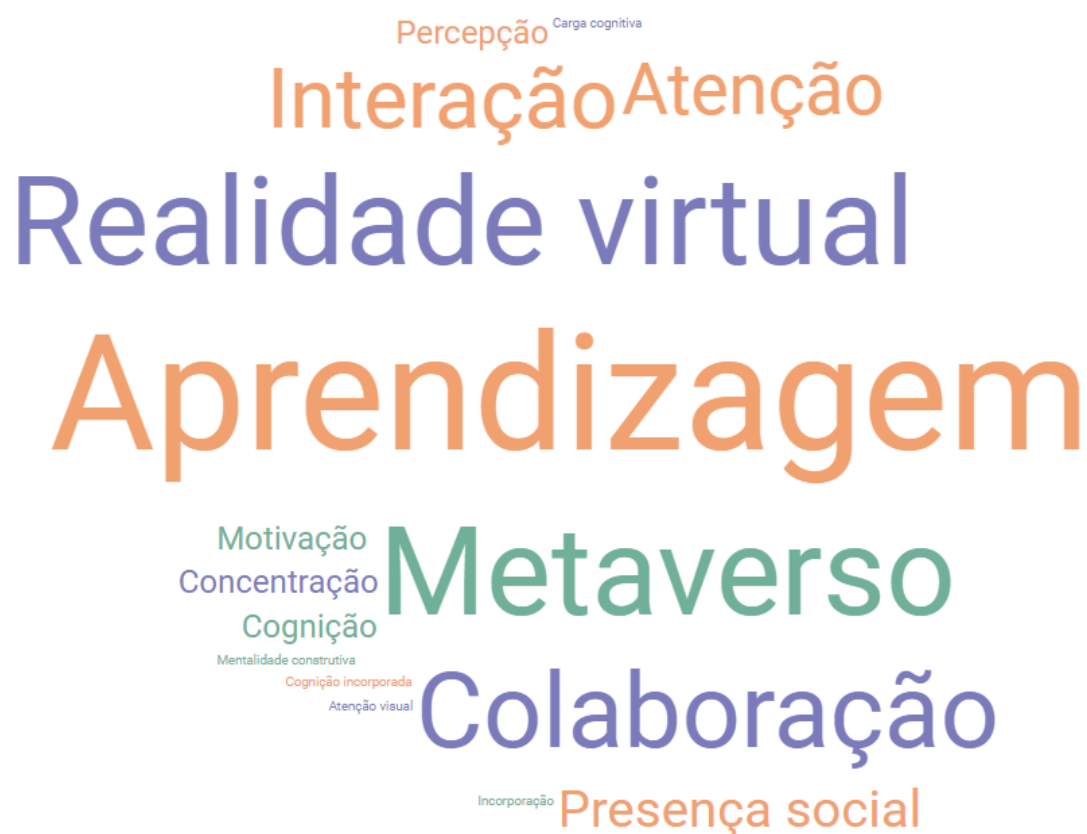
Artigos	Atenção e/ou Percepção	Cognição	Presença social	Metodologia
A dynamic approach for teaching algorithms: Integrating immersive environments and virtual learning environments.	Maior nível de atenção comparado à educação tradicional.	Excesso de informações e elementos podem resultar em sobrecarga cognitiva.	-	Ambiente Moodle e o Opensim Virtual World com a solução Sloodle Questionário
A Framework for Constructing a Technology-Enhanced Education Metaverse: Learner Engagement With Human-Machine Collaboration	-	Associa a aprendizagem à cognição incorporada.	-	Atividade de criação de ambiente virtual
An Immersive Learning System with Multimodal Cognitive Processes Inference	Analisou a atenção para inferir processos cognitivos na aprendizagem.	-	-	Dados coletados por câmeras, rastreador ocular, frequência cardíaca, dispositivos EEG.
Comparing Visual Attention with Leading and Following Virtual Agents in a Collaborative Perception-Action Task in VR.	Explora os comportamentos de atenção visual dos usuários durante a colaboração com agentes virtuais.	-	-	Avaliar do tempo de tarefa, a duração da atenção, a alocação da atenção e a transição da atenção Questionário demográfico Questionário de doença do simulador.
Conceptions of the metaverse in higher education: A draw-a-picture analysis and surveys to investigate the perceptions of students with different motivation levels	Atenção relacionada à motivação e nível de mentalidade construtiva.	-	-	Palestra Pesquisa de motivação para aprendizagem Pesquisa de mentalidade construtiva Desenho
Exploring User Perceptions of Virtual Reality Scene Design in Metaverse Learning Environments	Verificou que a percepção do design interfere no processo de aprendizagem.	Confirmou que o design afeta a carga cognitiva.	-	NASA TLX Escala Likert Teste U

Gather in the metaverse: Learning outcomes, virtual presence, and perceptions of high- and low-achieving pre-service teachers of English as a Foreign Language	-	-	Sensação de presença social por meio de colaboração.	Planejamentos de aula Escala de presença Múltipla Diários reflexivos
Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid narrative review based on the technology affordance perspective.	A realidade virtual imersiva pode favorecer a atenção plena.	A realidade virtual imersiva pode melhorar a cognição.	A maior resolução e fidelidade gráfica contribuem para a sensação de "presença perceptiva" e da incorporação.	Seleção e categorização de 151 artigos científicos.
Is Metaverse Better than Video Conferencing in Promoting Social Presence and Learning Engagement?	-	Não houve diferença significativa quanto ao aprendizado ser no metaverso ou por vídeoconferência.	O metaverso aumentou intensamente os sentimentos de presença social.	Questionário Escala Likert SPSS 25.0 JASP
MILES Virtual World: A Three-Dimensional Avatar-Driven Metaverse-Inspired Digital School Environment for FEU Group of Schools	-	-	Verificaram a Presença Social Corporificada a partir de aspectos como: a corporificação, a co-presença, a agência, a imersão e o relacionamento social.	Personalização individual da aplicação Formulário.

Fonte: Dados da pesquisa

No contexto desta pesquisa, a nuvem de palavras demonstrada na Figura 5, foi utilizada para destacar os principais temas relevantes, com especial atenção para realidade virtual, aprendizagem e colaboração. Essas palavras foram identificadas como proeminentes nos trabalhos relacionados selecionados, refletindo sua importância central no ambiente imersivo e na dinâmica colaborativa que o caracteriza.

Figura 5: Nuvem de palavras sobre os temas principais dos trabalhos relacionados



Fonte: Dados da pesquisa

Esta pesquisa diferencia-se dos trabalhos relacionados por integrar, de forma articulada e abrangente, os conceitos de atenção, percepção, cognição e presença social — elementos que, na literatura, costumam ser investigados isoladamente ou em pares. Apenas uma revisão sistemática identificou simultaneamente esses quatro constructos, porém, sem aprofundar suas inter-relações nem realizar uma avaliação detalhada de cada dimensão. Esta pesquisa busca suprir a lacuna existente na literatura ao realizar uma análise integrada das dimensões cognitivas e sociais em ambientes imersivos de aprendizagem. Nesse sentido, o Capítulo 3 aborda o *benchmark* dos ambientes imersivos e não imersivos de aprendizagem como processo de seleção de ambientes para os experimentos desta pesquisa.

3 BENCHMARK PARA A ANÁLISE DE AMBIENTES IMERSIVOS DE APRENDIZAGEM COLABORATIVA

Conforme descrito por Santos et al. (2021), o processo de *benchmark* é estruturado em cinco fases: Competitor Survey (análise dos competidores); Definition of Classes (definição das classes ou categorias); Problem Analysis (investigação do problema); Details of the Problem Classes (detalhamento das categorias); Analysis and Comparison (comparação e análise). Neste trabalho são consideradas as fases Competitor Survey, Definition of Classes, Details of the Problem Classes e Analysis and Comparison.

O presente *benchmark* tem como objetivo investigar ambientes imersivos e não imersivos no desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais em contextos educacionais, considerando tanto o estado da arte quanto soluções disponíveis no mercado. Para isso, foram definidas duas categorias de ambientes de aprendizagem: um jogo educativo, utilizado de forma mais independente como apoio a um tópico específico da disciplina, e um ambiente de aprendizado com propósito específico, integrado ao currículo do curso/disciplina. Ambos os tipos de ambiente devem ser acessíveis por meio de óculos de realidade virtual e dispositivo 2D. A análise concentra-se nas capacidades técnicas, usabilidade e compatibilidade desses ambientes com os processos de aprendizagem, visando identificar características que possam potencializar os resultados educacionais.

Na seção "Análise de competidores", é descrito o processo de busca das plataformas candidatas. Em seguida, a seção "Definição das classes" apresenta as categorias necessárias para classificar os ambientes. A terceira seção "Detalhamento das classes de problema" oferece uma análise detalhada de cada uma dessas classes. Finalmente, na última seção "Resultados e discussões", focado em análises e detalhamento dos ambientes encontrados conforme as categorias estabelecidas. O estudo não incluiu a fase de "Problem Analysis (Investigação de problema)", pois a análise do problema já foi previamente desenvolvida na etapa do mapeamento sistemático, apresentado no Apêndice 1. Assim, o presente trabalho dá prosseguimento à investigação, concentrando-se nas demais fases do *benchmark*.

3.1 Análise de competidores

A fase de pesquisa dos concorrentes iniciou-se com a definição de duas principais fontes de busca para ambientes imersivos e não imersivos. Na primeira etapa, foram coletados dados a partir de trabalhos relacionados, extraídos do mapeamento sistemático previamente conduzido pelos autores desta pesquisa de Brito e Medeiros (2024), além de pesquisas relevantes sobre realidade virtual e ambientes imersivos realizadas em indexadores como IEEE, Scopus, ACM, Science Direct e Wiley. Após a análise dos artigos, o mapeamento sobre

ambientes imersivos de aprendizagem não identificou nenhum trabalho específico de *benchmark* que proporcionasse um conhecimento sobre os ambientes disponíveis.

No entanto, foram encontrados artigos que desenvolveram ou utilizaram ambientes virtuais existentes no mercado, com o objetivo de promover maior aprendizagem e colaboração (Brito e Medeiros, 2024). Dentre os ambientes citados nos artigos, temos o estudo de Han, Tu e Huang (2023) que desenvolveu o Edu-Metaverse, a integração do Moodle com o Opensim Virtual World por Nunes, Herpich, Amaral, Voss, Zunguze Medina e Tarouco (2017); Pigultong (2022) utilizou o space.oi; Zhao, Zhao e Wan (2022) propuseram a tutoria inteligente PLSEM, Hwang (2023) fez uso do Frame VR, Franco Loup-Escande, Loiseaux, Chotard, Zapata-Dominguez, Ciger, Leclere, Denisart e Lelong (2023) adotaram o Smart Grid MR; Zhang, Luo, Liu e Cheng (2023) usaram o Virbela; Quintana e Fernández (2015) projetaram a ilha TYMMI; Lo e Tsai (2022) construíram o VRAM; Danylec et al. (2022) desenvolveram o Driver Training Framework e Garcia et al. (2023) criaram o Miles Virtual World.

Na segunda etapa, além dos ambientes identificados nos artigos científicos candidatos à seleção, foram realizadas buscas em sites de pesquisa e em sites especializados em jogos e ambientes virtuais. A pesquisa no Google resultou na identificação de ambientes educacionais, como o VictoryXR e o Education XR. A busca foi estendida a sites de jogos direcionados à educação e sem propósito específico como Meta Store e Steam. Outros ambientes como Spatial e VRChat podem ser adaptados para a educação, permitindo a inclusão de arquivos de texto, vídeos e objetos 3D. Após essa etapa de levantamento dos concorrentes em ambientes imersivos e não imersivos, foi realizada a definição das classes fundamentais dessa tecnologia no contexto do processo de aprendizagem.

3.2 Definição das classes

As características observáveis dos ambientes virtuais são fundamentais para a escolha ou exclusão de uma ferramenta em uma pesquisa ou para seu uso educacional (Santos et al., 2021). A definição das classes é guiada pela necessidade de obter um panorama abrangente do contexto estudado e categorizá-las adequadamente para permitir um estudo comparativo entre os elementos analisados, considerando que nem todas as categorias estão presentes em cada cenário.

Brito e Medeiros (2024), desenvolveram um mapeamento sistemático para investigar o potencial dos ambientes imersivos na promoção de funções cognitivas, interação social e construção de conhecimento. Devido às lacunas encontradas no mapeamento, esta pesquisa foi orientada pela seguinte questão: os ambientes imersivos em VR conseguem reduzir a carga cognitiva, intensificar a atenção visual e aumentar a colaboração em atividades compartilhadas em comparação com ambientes não imersivos em dispositivo 2D? Para responder a essa pergunta, foram definidas métricas relacionadas às dimensões cognitivas e sociais, como:

disponibilidade (se é acessível ou não ao público), modo de acesso (VR ou dispositivo 2D), capacidade de promover a aprendizagem, interação tátil virtual e colaboração— cujos desdobramentos fundamentam a seção destinada ao detalhamento das classes estabelecidas.

3.3 Detalhamento das classes de problema

As classes foram definidas a partir do desafio de obter conhecimento sobre os ambientes imersivos e não imersivos de aprendizagem, com o objetivo de identificar aqueles que apresentam menos limitações para aplicação e com mais recursos que possam expandir as possibilidades de ensino. O primeiro aspecto considerado foi a disponibilidade, levando em conta se o ambiente foi descontinuado ou se não é acessível ao público.

A pesquisa também possibilitou a divisão das classes em ambientes imersivos e não imersivos, buscando assegurar que os ambientes desenvolvidos fossem acessíveis tanto por VR quanto em computadores ou dispositivos 2D, garantindo maior facilidade de acesso e abrangência do público. Outro aspecto relevante é o nível de interação tátil virtual, que possibilita ao usuário manipular objetos 3D, incluindo ações como pegar, segurar, rotacionar e soltar. Por fim, destaca-se a importância de ser um espaço colaborativo, ou seja, um ambiente que permita a participação de dois ou mais usuários, possibilitando a colaboração para a solução de um problema ou atividade em comum. A Tabela 2 apresenta todas as classes definidas e seus respectivos detalhes.

Tabela 2: Detalhamento das classes de problema

CATEGORIAS	DESCRIÇÃO
Disponível ao público	Disponibilidade reduzida de ambientes imersivos voltados à aprendizagem (Barbosa, Silva, Gasparini, Darin e Barbosa, 2021), agravada por descontinuidade financeira e restrições institucionais que bloqueiam ou excluem o acesso.
Imersivo	O ambiente imersivo é acessado por óculos <i>Head-mounted display</i> que oferece alto nível de presença através de interfaces sensoriais, motoras e sensório-motoras (Dincelli e Yayla, 2022).
Não imersivo	O ambiente não imersivo é a tecnologia acessada por meio de um computador ou dispositivo 2D (Dincelli e Yayla, 2022).
Ambiente virtual de aprendizagem	Ambientes imersivos de aprendizagem melhoram a experiência do usuário, elevando atenção, percepção e memória, com eficácia comparável ou superior a outros recursos educativos (Brito e Medeiros, 2024).
Interação tátil virtual (manipulação do objeto 3D)	O reconhecimento e/ou a manipulação de objetos na visão tridimensional em VR melhoraram o desempenho em exercícios e atividades (Lee e Hwang, 2022).

Suporta trabalho colaborativo	A conectividade e a interatividade no ambiente imersivo viabilizam o compartilhamento de informações com rapidez, facilidade e eficiência, utilizando-se de ferramentas de colaboração como bate-papo, compartilhamento de arquivos, ferramentas de trabalho colaborativo e outras (Ye e Wang, 2022).
-------------------------------	---

Fonte: Dados da pesquisa

O detalhamento das classes de problema possibilita a realização de um estudo comparativo e uma análise aprofundada dos ambientes imersivos e não imersivos voltados para o processo de aprendizagem disponíveis no mercado. Essa investigação é fundamental, pois fornece uma visão abrangente dos resultados, permitindo um entendimento mais claro do panorama atual desses ambientes.

3.4 Resultados e discussões do *Benchmark*

Após a realização do *benchmark* dos ambientes de aprendizagem disponíveis nas versões imersiva e não imersiva, com foco na experiência multiplayer para atividades conjuntas em ambientes de aprendizagem de propósito específico ou em jogos educacionais, foi possível identificar os ambientes que contemplaram as classes de problemas, consideradas as mais pertinentes para a educação. A Tabela 3 apresenta uma síntese dos ambientes imersivos e não imersivos com base em sua disponibilidade, categorizados como ambientes virtuais de aprendizagem, interação tátil virtual e colaboração.

Tabela 3: *Benchmark* para análise de ambientes imersivos e não imersivos com propósito de aprendizagem colaborativa

NOME DOS AMBIENTES	DISPONÍVEL AO PÚBLICO	IMERSIVO	NÃO IMERSIVO	AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM	INTERAÇÃO TÁTIL VIRTUAL	SUPORTA TRABALHO COLABORATIVO
3D Organon XR	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
AltspaceVR*	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Brink Traveler	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Buzz Aldrin: Cycling Pathways to Mars	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
Driver Training Framework	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Edu-Metaverse	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Education XR	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Escape Simulator	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Frame VR	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Futuclass Education	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não

Meta Horizon Worlds	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Metaverso FTD	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Metaverse learning	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Miles Virtual World	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Mozilla Hubs*	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
NASA's Exoplanet Excursions	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não
NetVerse Edu	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Noun Town VR	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Opensimulator	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
Paradiddle	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
PLSEM	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Roblox	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Smart Grid MR	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Spatial	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Subnautica	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Tipagem sanguínea - Telesapiens	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
TYMMI - Second Life *	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Vermilion - VR Painting	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
VictoryXR	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Virbela	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
VirtualSpeech	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
VRAM	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
VR Chat	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
VR Drive School	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados da pesquisa revelaram um total de 25 ambientes acessíveis ao público, são estes: 3D Organon XR, Brink Traveler, Buzz Aldrin, Edu-Metaverse, Education XV, Escape Simulator, Frame VR, Futuclass Education, Meta Horizon Worlds, Metaverso FTD, Metaverse learning, NASA's Exoplanet Excursions, Netverse Edu, Noun Town VR, Paradiddle, Roblox, Spatial, Subnautica, Tipagem sanguínea - Telesapiens, Vermilion - VR Painting, VictoryXR, Virbela, VirtualSpeech, VR Chat e VR Drive School. Dependendo do tipo de cadastro, os usuários podem acessar diferentes recursos. Dos ambientes virtuais

analisados, três foram identificados com asterisco por estarem indisponíveis — em razão de descontinuação ou venda — e não houve verificação adicional dessas remoções, por se tratarem de informações externas ao escopo definido para este *benchmark*.

A continuidade do estudo revelou a presença de 17 ambientes multiplataforma (imersivo e não imersivo), o que evidencia o investimento no desenvolvimento de ambientes virtuais, dentre os quais se destacam: AltspaceVR, Escape Simulator, Frame VR, Metaverso FTD, Metaverse learning, Miles Virtual World, Mozilla Hubs, NetVerse Edu, Roblox, Spatial, Subnautica, Tipagem sanguínea - Telesapiens, VictoryXR, Virbela, VirtualSpeech, VR Chat e VR Drive School. Esse número reflete o esforço contínuo em tornar as tecnologias mais versáteis para superar barreiras tecnológicas e otimizar experiências. Além disso, esses ambientes permitem a integração simultânea e em tempo real de diferentes tecnologias dentro de uma única aplicação, ultrapassando limitações e expandindo a acessibilidade. Essa sinergia tecnológica não apenas melhora a usabilidade, mas também democratiza o acesso.

A pesquisa constatou que 23 ambientes disponibilizam salas dedicadas ao compartilhamento de conhecimento teórico e à realização de atividades práticas, com metodologias ativas e sócio-construtivistas de aprendizagem. Entre os ambientes estudados, incluem-se: 3D Organon XR, Brink Traveler, Buzz Aldrin, Driver Training Framework, Edu-Metaverse, Education XV, Escape Simulator, Frame VR, Futuclass Education, Metaverse learning, Miles Virtual World, NASA's Exoplanet Excursions, NetVerse Edu, Noun Town VR, Paradiddle, PLSEM, Smart Grid MR, Tipagem sanguínea - Telesapiens, Vermilion - VR Painting, VictoryXR, VirtualSpeech, VRAM e VR Drive School. A integração entre teoria e prática fortalece a compreensão dos conteúdos e estimula habilidades cognitivas, como atenção e percepção (Brito e Medeiros, 2024). Nesses ambientes, os usuários são estimulados a resolver desafios e aprofundar conhecimentos por meio de recursos como jogos interativos, quizzes, *puzzles*, textos e outras atividades complementares.

Os dados revelam o interesse e a capacidade de promover atividades colaborativas. Os 23 ambientes *multiplayer* que viabilizam a colaboração foram: AltspaceVR, Edu-Metaverse, Education XV, Escape Simulator, Frame VR, Meta Horizon Worlds, Metaverse learning, Miles Virtual World, Mozilla Hubs, NetVerse Edu, Paradiddle, PLSEM, Roblox, Smart Grid MR, Spatial, TYMMI - Second Life, Vermilion - VR Painting, VictoryXR, Virbela, VirtualSpeech, VRAM e VR Chat. A navegação livre, a comunicação e as atividades conjuntas favorecem a colaboração, a interação social e a troca de conhecimento, ampliando o engajamento e o aprendizado. Nesse contexto, a aprendizagem mediada pela tecnologia configura-se como um processo ativo, contextual, subjetivo, biológico e social, sustentado pelo discurso e pela colaboração entre alunos e professores (Filho, 2011).

Além disso, 26 ambientes possuem objetos 3D que simulam objetos reais, permitindo visualização e manipulação. Entre esses ambientes incluem-se: 3D Organon XR, AltspaceVR,

Brink Traveler, Driver Training Framework, Education XV, Escape Simulator, Frame VR, Futuclass Education, Meta Horizon Worlds, Metaverse learning, Miles Virtual World, Mozilla Hubs, NetVerse Edu, Noun Town VR, Paradiddle, PLSEM, Roblox, Smart Grid MR, Spatial, Subnautica, Tipagem sanguínea - Telesapiens, TYMMI - Second Life, Vermilion - VR Painting, VictoryXR, VR Chat e VR Drive School. Os elementos gráficos metafóricos, funcionando de modo semelhante ao mundo físico, facilitam a comunicação e a interação social em ambientes 3D, intensificando a sensação de presença, a colaboração e o aprendizado. Cabe aos *designers* a criação de artefatos que permitam aos usuários apropriarem-se, adaptarem-se e construir significados de maneira individual, integrando mente e corpo na interação com a tecnologia (Dourish, 2001).

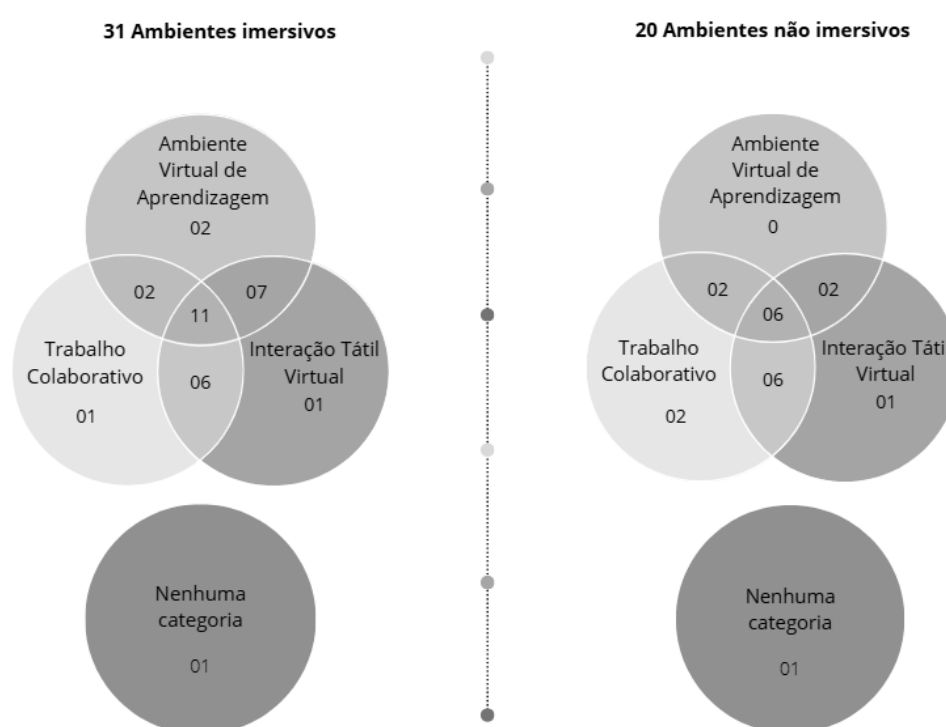
Entre os ambientes analisados no *benchmark*, sete contemplaram todas as classes: Escape Simulator, FrameVR, Metaverse Learning, Miles Virtual World, Netverse Edu, Telesapiens e VictoryXR. Esses ambientes variam quanto ao modelo de acesso (público ou privado), ambientação, métodos de aprendizagem e limite de usuários, e cada um possui um objetivo específico. Por exemplo, o Escape Simulator é focado em desafios e raciocínio lógico em um formato de jogo de fuga; FrameVR permite criar ambientes personalizados para reuniões; Metaverso Learning dedica-se a experiências educacionais; Miles Virtual World foca em experiências para crianças; NetVerse Edu simula um laboratório para o ensino de redes de computadores; Telesapiens é voltado para a educação médica; e VictoryXR abrange vários tópicos educacionais. A versatilidade desses ambientes ressalta sua capacidade de adaptação a diferentes objetivos pedagógicos e públicos-alvo, sendo fator determinante na seleção dos ambientes mais adequados para experimentos desta pesquisa.

O *benchmark* auxiliou na seleção de um jogo educacional e um ambiente de aprendizagem de propósito específico, visando a realização de experimentos para investigar a atenção visual, a carga cognitiva e a colaboração. O primeiro foi o Escape Simulator, um jogo do gênero escape room de aprendizagem ativa que aborda temas interdisciplinares, estimulando a resolução de enigmas por meio de interpretação, experimentação e lógica. Fundamentadas no construtivismo, essas atividades promovem colaboração prática e reflexiva, favorecendo a autonomia no aprendizado (Prince, 2004 apud López-Pernas, Gordillo, Barra e Quemada, 2019). E o NetVerse Edu, voltado ao ensino de redes de computadores, combina teoria e práticas interativas, como jogos e quizzes. Baseada no sócio-construtivismo, o ambiente incentiva a construção ativa do conhecimento por meio da interação com o ambiente e o grupo. Ambos desenvolvem o trabalho em equipe, liderança e pensamento criativo, aumentando o engajamento e o aprendizado (López-Pernas et al., 2019).

A análise dos ambientes selecionados revela padrões significativos, como mostrado na Figura 6, que compara a distribuição dos ambientes em categorias como "Ambiente Virtual de Aprendizagem", "Trabalho Colaborativo" e "Interação Tátil Virtual". Nos ambientes

imersivos, destaca-se uma maior concentração na interseção das três categorias, com 11 ambientes que combinam todas as funcionalidades; sete ambientes com a combinação de "Ambiente Virtual de Aprendizagem" com "Interação Tátil Virtual"; e seis ambientes que integram a "Interação Tátil Virtual" e o "Trabalho Colaborativo". Entre os ambientes não imersivos, os maiores resultados foram da interseção total contendo seis ambientes e a combinação entre "Interação Tátil Virtual" e o "Trabalho Colaborativo" com, também, seis ambientes. Apenas um ambiente em cada tipo (imersivo e não imersivo) não se enquadra em nenhuma das categorias especificadas, evidenciando a predominância de ambientes que buscam oferecer funcionalidades integradas e abrangentes.

Figura 6: Diagrama de Venn ilustrando a quantidade de ambientes imersivos e não imersivos classificados conforme as categorias analisadas



Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados do *benchmark* possibilitaram uma comparação entre os diversos ambientes imersivos e não imersivos. Embora os ambientes ofereçam soluções práticas para a educação, nem todos possuem os recursos para proporcionar uma experiência de aprendizagem transformadora. De fato, quanto menos limitações houver em um ambiente, maior será o potencial para promover o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais nos usuários. Além disso, deve-se reconhecer que muitos desses ambientes têm a capacidade de evoluir com o tempo, incorporando atualizações e recursos tecnológicos inovadores que os tornam ainda mais adequados às demandas dinâmicas e em constante transformação da educação moderna. Esses dados fomentam um conhecimento não apenas para futuros pesquisadores, mas também

para educadores e profissionais de apoio pedagógico, pois oferecem subsídios para uma tomada de decisão mais informada, prática e estratégica.

Adicionalmente, a etapa de *benchmark*, que compõe a metodologia desta pesquisa, foi publicada no artigo “Benchmark para a análise de ambientes imersivos de aprendizagem colaborativa” (Brito e Medeiros, 2025). Este método permitiu selecionar o Escape Simulator e o NetVerse Edu, por atenderem de forma mais abrangente aos critérios estabelecidos e possibilitarem a comparação entre experiências de aprendizagem em contextos imersivos e não imersivos. Esses ambientes foram, então, utilizados na etapa experimental, com o propósito de investigar atenção, carga cognitiva e presença social. O delineamento experimental que sustenta esta investigação é exposto no Capítulo 4, abrangendo a caracterização dos ambientes, o cenário experimental, o teste piloto e a condução dos experimentos voltados à análise dos efeitos da imersão na atenção visual, carga cognitiva e presença social.

4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta o delineamento experimental adotado nesta pesquisa, abrangendo a descrição dos ambientes selecionados (Escape Simulator e NetVerse Edu), as metodologias de aprendizagem e as estratégias de colaboração empregadas. Na sequência, detalha-se o cenário experimental, incluindo o procedimento de aplicação dos instrumentos de avaliação de atenção visual, carga cognitiva e presença social. Por fim, apresenta-se o teste piloto conduzido nos ambientes imersivo e não imersivo, bem como os dados obtidos e suas respectivas análises.

4.1 Descrição dos ambientes selecionados

A seleção dos ambientes baseou-se em sua capacidade de proporcionar experiências interativas e imersivas, permitindo a observação e a análise de diferentes aspectos cognitivos e colaborativos. O experimento com o Escape Simulator pode ser estruturado para analisar a colaboração dos jogadores com o ambiente do jogo e as habilidades cognitivas e sociais acionadas durante a resolução dos *puzzles*. Já o experimento com o NetVerse Edu visa construir conhecimento prático e colaborativo sobre redes de computadores. Cada ambiente é descrito de maneira sistemática, incluindo suas características, metodologias de aprendizagem e estratégias de colaboração adotadas nos experimentos.

4.1.1 Ambiente “Escape Simulator”

O jogo educacional *Escape Simulator*, desenvolvido pela empresa Pine Studio, do gênero *escape room*, conforme ilustrado na Figura 7, utiliza uma metodologia ativa de aprendizagem por meio da resolução de enigmas. Compatível com realidade virtual e dispositivo 2D, permite a participação de equipes de até oito jogadores. Com uma abordagem interdisciplinar, abrange temas como história, matemática e arqueologia, incentivando cálculos, correlação de informações e interpretação de textos. O cenário 'Labyrinth of Egypt' é uma sala temática inspirada no Egito Antigo e os jogadores enfrentam desafios que incluem decifração de códigos e manipulação de objetos arqueológicos. Jogos desse tipo estimulam funções cognitivas como atenção, percepção e memória, além de promoverem colaboração.

Figura 7: Jogo educacional Escape Simulator do gênero escape room



Fonte: Valve Corporation (Steam), Escape Simulator.

4.1.1.1 Características do ambiente de aprendizagem

O Escape Simulator oferece um ambiente virtual interativo, imersivo ou não, onde jogadores enfrentam desafios que desenvolvem habilidades cognitivas, como pensamento crítico e resolução de problemas. Em cenários tridimensionais dinâmicos, eles manipulam objetos 3D e investigam pistas para avançar as etapas do jogo. A combinação de aprendizagem baseada em problemas e exploração ativa incentiva a experimentação, observação e lógica, tornando o aprendizado mais envolvente e prático.

4.1.1.2 Metodologias de aprendizagem

Escape rooms são jogos de ação ao vivo em que os participantes, em equipe, resolvem enigmas e completam tarefas para alcançar um objetivo que geralmente é o de escapar de um cômodo (Nicholson, 2015). Segundo López-Pernas, Gordillo, Barra e Quemada (2019), essas atividades têm sido eficazes na educação, promovendo habilidades como trabalho em equipe, liderança, pensamento criativo e melhorando o engajamento e aprendizado dos alunos. Baseadas no construtivismo, as escape rooms incentivam a aprendizagem colaborativa por meio da interação prática e reflexiva entre os alunos, favorecendo a aquisição autônoma de conhecimento (Prince, 2004 apud López-Pernas et al., 2019).

4.1.1.3 Estratégias de colaboração

Os participantes alunos enfrentam a primeira fase do cenário 'Labyrinth of Egypt', onde são desafiados a resolver enigmas. Entre os desafios, incluem-se um criptograma numérico e jogos de labirinto que exigem raciocínio lógico para desvendar códigos e saídas. Combinando aprendizagem baseada em problemas e exploração ativa, os jogadores são estimulados a usar experimentação, observação e lógica de forma conjunta. A colaboração permite a integração de diferentes perspectivas e soluções, criando um ambiente de aprendizagem cooperativo e motivador, desenvolvendo habilidades como pensamento crítico e resolução de problemas.

4.1.2 Ambiente “NetVerse Edu”

O NetVerse Edu, Figura 8, é um ambiente de aprendizagem de propósito específico, desenvolvido no IFPB Campus João Pessoa (Vieira e Medeiros, 2025). O ambiente foi projetado para simular um laboratório para o ensino de redes de computadores. A aprendizagem é multissensorial e experimental baseada numa visão construtivista de aprendizagem. O ambiente simula um laboratório com amostras de hardware para visualização e/ou manipulação, facilitando a compreensão das atividades. O ambiente é dividido em salas interativas: a sala inicial oferece um *puzzle*, outra em formato de anfiteatro para aulas, uma terceira com objetos 3D para manipulação e um quiz, e a última com uma atividade prática

sobre redes. O ambiente, ao integrar teoria e prática, permite aos alunos aplicar os conceitos aprendidos, consolidando o aprendizado e proporcionando colaboração.

Figura 8: Ambiente de aprendizagem de propósito específico NetVerse Edu



Fonte: Vieira e Medeiros (2025)

4.1.2.1 Características do ambiente de aprendizagem

O NetVerse Edu é um ambiente educacional voltado para o ensino de redes de computadores, com ou sem imersão. Suas salas oferecem conteúdos teóricos e colaborativos, incluindo jogos, textos e quizzes voltados à prática em redes. Um de seus principais diferenciais é o suporte para um número ilimitado de participantes. O ambiente simula um laboratório virtual com componentes de hardware em 3D, permitindo aos alunos visualizá-los e manipulá-los, favorecendo a aprendizagem prática.

4.1.2.2 Metodologias de aprendizagem

A metodologia do NetVerse Edu combina teoria e prática, proporcionando uma experiência completa e imersiva. Baseada no sócio-construtivismo de Piaget e Vygotsky, a abordagem destaca a construção ativa do conhecimento pelos alunos, através da interação com o ambiente e com o grupo. O ensino enfatiza a aprendizagem ativa, onde os estudantes exploram e debatem o conteúdo, ao invés de memorizar passivamente (Zhao, Zhao e Wan, 2022). As salas do ambiente virtual incluem atividades como jogos sequenciais que simulam cenários de redes, aplicando conceitos teóricos e tornando o aprendizado mais dinâmico e interativo.

4.1.2.3 Estratégias de colaboração

A aprendizagem neste ambiente tridimensional é multissensorial, estimulando visão, audição e tato. A visão é ativada pela leitura de textos e descrições de objetos e atividades, enquanto a audição ocorre durante aulas no anfiteatro. O tato é explorado na manipulação de objetos 3D, promovendo aprendizado experimental. Na experiência, o compartilhamento de conhecimento e a troca de ideias entre os participantes amplia a compreensão coletiva do conteúdo. Atividades colaborativas incentivam a comunicação e resolução conjunta de problemas entre os envolvidos, desenvolvendo competências sociais e técnicas.

4.2 Cenário de teste

O experimento foi dividido em duas etapas: um teste piloto e o experimento principal. O teste piloto contou com a participação de 6 participantes, organizados em 2 sessões com 3 participantes cada, e teve como objetivo validar o roteiro experimental, o tempo das atividades e a aplicação dos instrumentos. O experimento principal foi dividido em quatro sessões utilizando os ambientes Escape Simulator e NetVerse Edu em modo imersivo, com o uso de VR, e quatro sessões utilizando esses mesmos ambientes em modo não imersivo, em desktop, cada uma com três participantes, totalizando 48 participantes. Assim, o estudo contou, ao todo, com 54 participantes, considerando teste piloto e experimento principal, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Organização das sessões experimentais e distribuição dos participantes

Etapa	Ambientes	Modalidade	Sessões	Participantes por sessão	Total de participantes
Teste piloto	Escape Simulator / NetVerse Edu	Imersivo + DesktDop	2	3	6
Experimento principal	Escape Simulator / NetVerse Edu	Imersivo (VR)	4	3	12
Experimento principal	Escape Simulator / NetVerse Edu	Não imersivo (Desktop)	4	3	12
Total geral	-	-	10	-	54

Fonte: Dados da pesquisa

Os testes em *desktop* ocorreram no ambiente do LARA, enquanto os testes em VR também usam salas de mestrado para maior espaço físico. Cada experimento foi originalmente planejado para durar aproximadamente 30 minutos no ambiente virtual, seguida de mais 10 minutos destinados ao preenchimento do questionário. Todo o experimento deve ser gravado para análise posterior.

No jogo Escape Simulator, os jogadores precisam compartilhar descobertas, discutir estratégias e resolver os enigmas da primeira fase do cenário "Labyrinth of Egypt". As equipes têm autonomia para definir a dinâmica de trabalho colaborativo, seja trabalhando juntos em todas as etapas ou dividindo tarefas. Entre as atividades, estão manusear objetos egípcios, limpar uma caixa usando pincel de arqueologia, realizar cálculos a partir de hieróglifos para decifrar códigos, encontrar e montar peças que formam uma pirâmide, obtendo as chaves para avançar pelas portas e chegar ao desafio final de resolver labirintos. Os quebra-cabeças são interconectados, exigindo exploração e descoberta de pistas ocultas para ativar mecanismos. A colaboração entre os jogadores contribuem para manter o foco nas tarefas prioritárias.

O NetVerse Edu também utiliza uma dinâmica multiplayer, promovendo trabalho colaborativo sobre redes de computadores. No experimento, as equipes não têm autonomia

para definir a dinâmica de trabalho colaborativo, devendo seguir uma sequência fixa no acesso às salas e resolução das atividades. Na sala inicial, a primeira atividade é uma sequência lógica do modelo OSI, sendo necessário transferir blocos nomeados para uma estante com posições pré-definidas. A segunda sala é um anfiteatro, projetado para a apresentação da aula. Na terceira sala é possível manusear hardwares e responder um *quiz* sobre redes. E, na última sala visitada, terá uma experiência prática e teórica ao mesmo tempo, tanto preenchendo campos de endereçamento de IP quanto fazendo conexões corretas de hardwares.

A Tabela 5 sintetiza as especificações das propostas iniciais das atividades no ambiente Escape Simulator, incluindo tempo estimado de uso, número de sessões, quantidade de participantes e aplicação dos instrumentos de coleta.

Tabela 5: Atividade proposta no Escape Simulator

Estimativa de tempo de uso do ambiente virtual:	30min
Estimativa de tempo para responder o instrumento de presença social:	5min
Estimativa de tempo para responder o instrumento NASA TLX:	5min
Quantidade de participantes por sessão:	3
Quantidade total de sessões no ambiente imersivo do "Labyrinth of Egypt":	4
Quantidade total de sessões no ambiente não imersivo do "Labyrinth of Egypt":	4
Ambientes físicos:	LARA e salas de mestrado
Atividade	Resolver a fase 1 do "Labyrinth of Egypt"

Fonte: Dados da pesquisa

A Tabela 6 sintetiza as especificações iniciais das atividades propostas no ambiente NetVerse Edu, incluindo tempo estimado de uso, número de sessões, quantidade de participantes e aplicação dos instrumentos de coleta.

Tabela 6: Atividade proposta no NetVerse Edu

Estimativa de tempo de uso do ambiente virtual:	25min
Estimativa de tempo para responder o instrumento de presença social:	5min
Estimativa de tempo para responder o instrumento NASA TLX:	5min
Quantidade de participantes por sessão:	3
Quantidade de sessões no ambientes imersivo do NetVerse Edu:	4

Quantidade de sessões no ambiente não imersivo do NetVerse Edu :	4
Ambientes físicos:	LARA e salas de mestrado
Atividade:	Resolver a atividade proposta do NetVerse Edu

Fonte: Dados da pesquisa

No contexto do cenário de teste, o teste de atenção visual foi adotado como o primeiro instrumento metodológico para análise do direcionamento da atenção dos participantes.

4.2.1 Teste de atenção visual

O teste de atenção visual no Escape Simulator e no NetVerse Edu avalia a capacidade dos jogadores de focar a atenção nos detalhes certos para progredir na atividade. Na fase do teste piloto, pretendia-se verificar o tempo total da atividade, o tempo gasto em cada *puzzle*, a frequência de saídas e retornos aos *puzzles*, o tempo de resposta (do uso do botão de ajuda '?' até o local indicado) e o tempo gasto em outras atividades divergentes da principal. Algumas categorias foram ajustadas para a etapa experimental: no Escape Simulator analisaram-se o tempo total, tempos ativos (*puzzle* e labirintos), manipulação/leitura e inatividade; no NetVerse Edu aplicaram-se os mesmos critérios às atividades do quiz, Modelo OSI e endereçamento IP. Ressalta-se que, embora as tarefas direcionem a atenção dos participantes por exigência operacional, a análise considerou aspectos temporais e comportamentais da interação, permitindo observar diferenças no nível de engajamento atencional entre as condições.

A análise revela como a atenção visual influencia o progresso, identificando padrões de distração ou foco excessivo em elementos irrelevantes. Os dados da experiência imersiva são comparados aos da não imersiva para testar a hipótese de que a imersão melhora a atenção visual. A análise do experimento foi realizada usando os testes de Shapiro-Wilk e t de Welch, considerando a pequena amostra e a heterogeneidade das variâncias, avaliando como os participantes processam informações visuais e coordenam suas ações em tarefas colaborativas. Adicionalmente, investigou-se a carga de trabalho cognitivo a respeito da realização das tarefas.

4.2.2 Teste de carga cognitiva

A carga cognitiva dos jogadores é avaliada através do questionário NASA-TLX, aplicado após o experimento. O questionário permite que os participantes avaliem fatores como esforço, sofrimento, satisfação, demandas física, mental e temporal. Cada participante preenche uma tabela de comparações entre esses fatores, resultando em um peso multiplicado pela avaliação de 0 a 100 de cada fator, seguido do cálculo percentual dos seis índices.

A carga de trabalho cognitivo indica como os jogadores lidam com os desafios e sentem sobrecarregados ou confortáveis com o uso do ambiente. A análise das respostas obtidas tanto nos testes piloto quanto nos experimentos proporcionou uma compreensão mais ampla sobre o impacto cognitivo dos ambientes imersivo e não imersivo durante a execução das atividades e os processos de colaboração. Os resultados dos experimentos foram analisados por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, utilizando os valores ponderados dos participantes, por se tratar de um teste não paramétrico apropriado para dados assimétricos e amostras independentes. De forma complementar, a presença social foi analisada como dimensão associada à colaboração e interação mediadas pelo ambiente virtual.

4.2.3 Teste de presença social

O teste de presença social visa avaliar como os participantes percebem sua interação e conexão com os colegas no contexto colaborativo. Ao término dos testes pilotos e dos experimentos, cada participante respondeu a um questionário destinado a medir a percepção de presença social, com foco na qualidade das interações sociais dentro dos ambientes virtuais. A Tabela 7 apresenta o questionário de presença social, que foi adaptado a partir dos modelos propostos por Kim (2011 apud Medeiros, 2013) e pela escala de presença múltipla de Makransky (2017, apud Chen, 2023).

Tabela 7: Questionário de presença social para ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem

-
1. Respeitei as opiniões dos outros e senti que os outros participantes respeitaram minha opinião ao tomar decisões?
 2. O ambiente virtual parecia tão real que me senti dentro dele, em vez de controlá-lo de fora?
 3. Mesmo distante fisicamente, ainda sentia que fazia parte de um grupo?
 4. Consegui perceber a presença e me sentir percebido pelos colegas no ambiente virtual, ajudando a realizar as tarefas educacionais em grupo?
 5. A colaboração em ambiente virtual contribuiu para o enriquecimento do meu processo de aprendizagem?
 6. As discussões online ajudaram-me no processo de aprendizagem?
 7. Percebi a presença do(s) mediador(es) e as orientações realizadas por ele(s)?
 8. Em alguns momentos a energia de colegas e ou do(s) mediador(es) me incentivaram?
 9. Eu gostei de participar da troca de ideias com os colegas em ambiente virtual?
-

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados dos experimentos foram analisados utilizando a correlação de Spearman, dada a natureza binária das variáveis. Esse método permite verificar a existência de dependência ou independência entre as variáveis consideradas. A ênfase recai sobre a 4^a

questão do questionário, que sintetiza os conceitos de "presença social", "colaboração" e "resolução de tarefas", aspectos fundamentais para a aprendizagem colaborativa. Para subsidiar os ajustes metodológicos, realizou-se o teste piloto com o objetivo de obter dados que orientassem de forma mais precisa a condução dos experimentos.

4.3 Teste piloto

Antes da realização do experimento principal, foram conduzidos dois testes piloto, exclusivamente para validação do protocolo experimental, do tempo das atividades e da aplicação dos instrumentos de coleta. O teste piloto contou com 6 participantes, sendo 3 no ambiente imersivo do NetVerse Edu e 3 no ambiente não imersivo do Escape Simulator. Estes testes tiveram o objetivo de identificar fatores que pudessem favorecer ou dificultar a execução do experimento, funcionando como etapas preliminares destinadas a avaliar a viabilidade, detectar problemas operacionais e ajustar os procedimentos antes da implementação completa do estudo.

4.3.1 Teste piloto no ambiente imersivo

No primeiro teste, no ambiente imersivo Netverse Edu, participaram três alunos do Instituto Federal da Paraíba (IFPB): dois da área de tecnologia e uma da área de biologia. Os alunos com formação tecnológica demonstraram maior familiaridade com o ambiente imersivo. Em contrapartida, a aluna de Biologia enfrentou dificuldades, evidenciando uma curva de aprendizado mais acentuada, necessitando de suporte colaborativo dos colegas. Apesar do apoio, o tempo necessário para finalizar a atividade foi acima da estimativa apresentada na seção 4.2, totalizando em 1h 22min 16s. Durante todo o teste, os participantes demonstraram envolvimento, interesse e atenção à atividade proposta, com um deles observando que não percebeu o tempo passar enquanto utilizava o HMD para realizar a atividade. A Figura 9 ilustra momentos do teste piloto realizado no ambiente imersivo.

Figura 9: Participantes realizando o teste piloto em ambiente imersivo



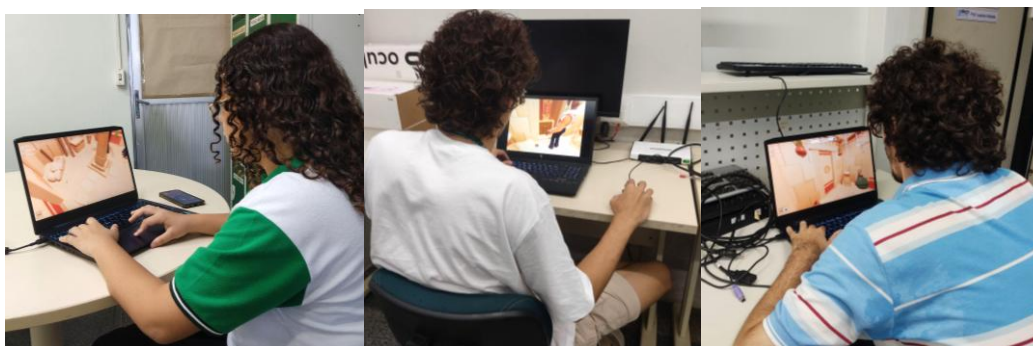
Fonte: Dados da pesquisa

O teste piloto também foi realizado no ambiente não imersivo, possibilitando a observação do comportamento dos participantes.

4.3.2 Teste piloto no ambiente não imersivo

O segundo teste piloto foi realizado no ambiente não imersivo do jogo *Escape Simulator*, com três estudantes do Instituto Federal da Paraíba (IFPB): dois da área de tecnologia e uma da área de biologia, repetindo a composição do teste anterior. Por não exigir conhecimentos técnicos prévios, o jogo, baseado na solução de *puzzles*, permitiu aos participantes concluir a atividade com maior facilidade e agilidade, em apenas 25min 58s. Durante a atividade, os participantes encontravam e coletavam objetos essenciais para superar os desafios, o que exigia atenção visual mútua às ações e itens controlados por cada colega. Essa dinâmica favoreceu a elaboração conjunta de estratégias e destacou a importância da colaboração para interpretar as dicas individuais e avançar nos *puzzles*, reforçando o caráter cooperativo do jogo como um fator-chave para o sucesso. A Figura 10 apresenta registros do teste piloto conduzido no ambiente não imersivo.

Figura 10: Participantes realizando o teste piloto em ambiente não imersivo



Fonte: Dados da pesquisa

Dessa forma, os testes piloto realizados foram fundamentais para fornecer informações relevantes para os ajustes necessários e garantir a viabilidade do experimento.

4.3.3 Dados obtidos no teste piloto

Os dados do teste piloto foram coletados por meio do teste de atenção visual, do instrumento NASA-TLX e do questionário de presença social. A Tabela 8 apresenta os resultados dos questionários de presença social nos ambientes imersivo e não imersivo, fornecendo informações sobre a percepção dos participantes em relação à interação com o ambiente e com os demais membros da equipe.

Tabela 8: Respostas dos participantes referente ao questionário de presença social no ambiente NetVerse Edu imersivo e *Escape Simulator* não imersivo para análise do teste piloto

	NetVerse Edu imersivo	<i>Escape Simulator</i> não imersivo

Questionário de presença social no ambiente Escape				
Simulador não imersivo	Sim	Não	Sim	Não
1. Respeitei as opiniões dos outros e senti que os outros participantes respeitaram minha opinião ao tomar decisões?	3	0	3	0
2. O ambiente virtual parecia tão real que me senti dentro dele, em vez de controlá-lo de fora?	2	1	0	3
3. Mesmo distante fisicamente, ainda sentia que fazia parte de um grupo?	3	0	2	1
4. Consegui perceber a presença e me sentir percebido pelos colegas no ambiente virtual, ajudando a realizar as tarefas educacionais em grupo?	3	0	2	1
5. A colaboração em ambiente virtual contribuiu para o enriquecimento do meu processo de aprendizagem?	3	0	2	1
6. As discussões online ajudaram-me no processo de aprendizagem?	3	0	2	1
7. Percebi a presença do(s) mediador(es) e as orientações realizadas por ele(s)?	3	0	3	0
8. Em alguns momentos a energia de colegas e ou do(s) mediador(es) me incentivaram?	2	1	2	1
9. Eu gostei de participar da troca de ideias com os colegas em ambiente virtual?	3	0	3	0

Fonte: Dados da pesquisa

As Tabelas 9, 10 e 11, referem-se às fases do instrumento NASA TLX. O Tabela 9 mostra o valor dado a cada métrica de forma individual dentre uma escala de 10 a 100.

Tabela 9: Primeira fase do instrumento NASA TLX: valor individual dado a cada categoria para análise do teste piloto

	Netverse Edu			Escape Simulator		
	Part. 1	Part. 2	Part. 3	Part. 1	Part. 2	Part. 3
1. Quanto de atividade mental como pensamento, decisão, cálculo, lembrança, pesquisa etc. foi preciso para executar a tarefa?	30	70	90	100	80	30
2. Quanto de atividade física a tarefa exige (ex.: empurrando, puxando, virando, controlando, mexendo)?	30	100	90	10	30	10
3. Quanto você se sentiu pressionado pelo tempo?	20	10	30	60	60	40
4. Qual a média de demanda mental e física você precisou para realizar sua tarefa?	30	70	90	60	60	20

5. Quanto sofrimento você acha que tem realizando as metas da sua tarefa? (estresse x relaxado, insegurança x segurança, irritação x gratificado, desânimo x contente).	20	70	80	50	20	20
6. Qual nível de sua satisfação ao realizar as metas da sua tarefa?	80	0	0	0	10	80

Fonte: Dados da pesquisa

A tabela 10 expõe a quantidade de vezes que o termo foi selecionado entre os pares para indicar maior dificuldade na realização da tarefa no teste piloto.

Tabela 10: Segunda fase do instrumento NASA- TLX: Frequência de seleção das categorias indicadas como mais exigentes no teste piloto

Categorias	NetVerse Edu			Escape Simulator		
	Part. 1	Part. 2	Part. 3	Part. 1	Part. 2	Part. 3
Demanda mental	2	3	4	2	3	2
Demanda física	3	4	4	0	0	X
Demanda temporal	0	0	0	4	4	4
Esforço	1	3	4	5	1	1
Sufrimento	5	3	2	1	2	4
Satisfação	4	2	1	3	5	3

Fonte: Dados da pesquisa

A Tabela 11 apresenta a terceira fase do instrumento NASA TLX, mostrando a média ponderada dos participantes.

Tabela 11: Terceira fase do instrumento NASA- TLX: média ponderada para análise do teste piloto

Categorias	NetVerse Edu			Escape simulator		
	Part. 1	Part. 2	Part. 3	Part. 1	Part. 2	Part. 3
Demanda mental	60	300	360	200	240	60
Demanda física	90	40	360	0	0	X
Demanda temporal	0	0	0	240	240	160
Esforço	30	210	360	300	60	20
Sufrimento	100	210	160	50	40	80

Satisfação	320	0	0	0	50	240
Índice individual referente à carga cognitiva	40	50,66	82,66	52,66	42	X

Fonte: Dados da pesquisa

A coleta de dados do teste de atenção visual foi realizada ao término do teste piloto pela pesquisadora, diferentemente dos testes anteriores, nos quais os próprios participantes registravam os dados. A Tabela 12 apresenta os tempos passíveis de mensuração, com exceção de “Tempo de resposta”, “Tempo gasto em atividades divergentes da principal” e “Frequência de saídas e retornos à atividade proposta”, que foram excluídas da análise.

Tabela 12: Quantidade de tempo por atividade nos ambientes Escape Simulator (não imersivo) e NetVerse Edu (imersivo)

	Escape Simulator não imersivo			NetVerse Edu imersivo		
	Part. 1	Part. 2	Part. 3	Part. 1	Part. 2	Part. 3
Atividade 1	48	50	75	594	154	313
Atividade 2	110	118	47	67	190	80
Atividade 3	61	93	88	1053	2554	451
Total	1558	1558	1558	4936	4936	4936

Fonte: Dados da pesquisa

Todos os dados coletados nos testes piloto são analisados com o objetivo de aprimorar os instrumentos, garantindo uma coleta de dados mais confiável e significativa.

4.3.4 Análise do teste piloto

No que se refere à interatividade com a tecnologia imersiva e não imersiva, o teste piloto revelou colaboração entre os participantes tanto na execução das atividades quanto na comunicação por áudio, realizada por meio da aplicação ou pela interação verbal no ambiente físico, em função da proximidade entre os participantes. Apesar da instabilidade da Internet, que ocasionou interrupções pontuais na imagem e no som, a comunicação orientada à tarefa favoreceu o andamento do teste, uma vez que a troca contínua de informações evitou a estagnação dos participantes em ambos os ambientes, garantindo um fluxo consistente entre descobertas, colaboração e aprendizagem.

Entretanto, algumas dificuldades foram identificadas. A gravação de vídeo era pausada ao remover os óculos, exigindo intervenção do mediador, e os arquivos gerados apresentavam tamanho excessivo, dificultando o armazenamento. Além disso, a ausência de espelhamento da atividade no computador limitou o acompanhamento em tempo real. Para mitigar esses

problemas detectados no teste piloto, a etapa experimental subsequente passou a ser conduzida em uma sala com conexão de Internet mais estável, e um e-mail específico foi criado para gerenciar os arquivos de gravação. Adicionalmente, a atividade passou a ser espelhada no computador e/ou os mediadores inseridos nos ambientes para monitoramento direto.

No teste de atenção visual, alguns aspectos foram revisados, levando à remoção de determinadas métricas do questionário. Decidiu-se não incluir o botão de ajuda no ambiente *NetVerse Edu* devido ao nível de complexidade de desenvolvimento do recurso, impossibilitando a avaliação do tempo de resposta e, portanto, excluindo essa métrica. Além disso, não foi possível registrar o tempo gasto em atividades não relacionadas nem a frequência de saídas e retornos à atividade, resultando na remoção dessas métricas. Assim, para a mensuração da atenção visual, no *Escape Simulator* foram considerados: o tempo total de tarefa, o tempo ativo em atividades específicas (um *puzzle* e dois labirintos), o tempo de manipulação de objetos e/ou leitura e o tempo de inatividade. No *NetVerse Edu*, mantiveram-se os critérios gerais, adotando-se como atividades específicas o quiz, a atividade sobre o Modelo OSI e a atividade de endereçamento IP.

Quanto ao questionário, identificou-se a ausência da opção “0” na escala NASA-TLX, além de preenchimentos incompletos. Como solução, a escala foi ajustada para incluir a opção “0”, e todas as questões passaram a ser de preenchimento obrigatório, reduzindo falhas e erros. Nenhum participante relatou dificuldades no entendimento do questionário, tornando desnecessárias outras modificações.

Em relação à dinâmica do teste piloto, identificaram-se dificuldades entre participantes sem formação tecnológica, e um deles relatou tontura devido à labirintite. Para mitigar esses desafios, cada grupo contou com, no mínimo, dois mediadores – a pesquisadora e o estudante bolsista – e com a possibilidade de dividir a atividade em dois momentos, conforme a decisão do grupo, visando reduzir a fadiga e o desconforto. Apesar dessas dificuldades, não houve prejuízo à fluidez da atividade, possibilitando a conclusão do teste piloto e o prosseguimento para a fase experimental.

4.4 Condução do experimento

Concluída a etapa de testes piloto, realizada exclusivamente para validação do protocolo experimental, do tempo das atividades e da aplicação dos instrumentos de coleta, deu-se início à etapa experimental. Assim, a condução descrita nesta seção refere-se unicamente ao experimento principal, que contou com a participação de 48 participantes, distribuídos em oito sessões, sendo quatro em ambiente imersivo (VR) e quatro em ambiente não imersivo (desktop), com três participantes por sessão.

As instruções relacionadas às tarefas foram previamente disponibilizadas aos participantes por meio de um documento ilustrado e resumido, contendo orientações sobre os

comandos de navegação nos ambientes virtuais e as atividades previstas. No dia do experimento, considerando o Cenário de Teste definido na seção 4.2, novas instruções foram fornecidas presencialmente, com ênfase nas tarefas do ambiente NetVerse Edu, devido ao seu caráter mais dirigido. No caso do Escape Simulator, não foram repassadas orientações detalhadas, uma vez que o ambiente se caracteriza por ser intuitivo e qualquer direcionamento poderia comprometer a natureza exploratória da atividade.

Adicionalmente, observou-se a necessidade de restringir a mediação durante a realização das tarefas, uma vez que não era viável assegurar suporte técnico igualitário às três salas utilizadas. Os auxiliares responsáveis (bolsistas e voluntários) não haviam tido contato prévio com os ambientes virtuais, o que limitou sua atuação. Em alguns momentos, a equipe de coordenação circulou entre as salas para identificar eventuais dificuldades e intervir quando necessário, com o intuito de garantir a continuidade das atividades. Apesar dessas adversidades, os participantes demonstraram engajamento e completaram as tarefas propostas, bem como os questionários de avaliação.

Durante a condução dos experimentos, algumas limitações foram identificadas, incluindo falhas na conexão com a Internet (que exigiram a realocação para outra sala a fim de evitar interrupções), não gravação de uma das sessões, restrições de espaço físico (três participantes utilizaram dispositivos de realidade virtual em uma sala de dimensões reduzidas), problemas de calibração do avatar (posicionado acima ou abaixo do nível do piso) e, em alguns casos, a não finalização de determinadas tarefas devido a falhas no sistema ou dificuldades de compreensão por parte dos participantes. Em função desses fatores, o número de experimentos com análise de atenção visual foi limitado a 22 no ambiente Escape Simulator e a 20 no ambiente NetVerse Edu.

Para fins de análise da atenção visual, foram considerados apenas os períodos em que o participante (representado pelo avatar) realizou manipulações de objetos por meio de movimentos lógicos e intencionais de exploração do ambiente. Os intervalos sem manipulação foram desconsiderados, devido à limitação metodológica para aferir com precisão o foco atencional durante esses momentos.

Durante as interações nos ambientes virtuais, foi possível identificar indícios da sensação de presença entre os participantes que extrapolaram os diálogos funcionais e a manipulação de objetos voltada à execução das tarefas. Essa percepção emergiu por meio de comportamentos espontâneos, como gestos lúdicos entre avatares, afagos na cabeça e cumprimentos com as mãos, revelando um engajamento social que transcende os objetivos instrumentais da atividade. O quadro de Figuras 11 registram momentos dos experimentos realizados nos ambientes imersivo e não imersivo.

Figura 11: Participantes durante a execução das atividades experimentais nos ambientes imersivo e não imersivo



Fonte: Dados da pesquisa

Cabe destacar que a realização dos experimentos contou com o apoio financeiro de projetos de realidade virtual vinculados ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Concluída a etapa de aplicação dos experimentos e de coleta dos dados, tornou-se possível proceder à análise das variáveis de atenção visual, carga cognitiva e presença social investigadas, com base nos dados sistematizados e apresentados na seção 5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES DO EXPERIMENTO

As análises apresentadas neste capítulo referem-se exclusivamente ao experimento descrito na seção 4.4, não incluindo os resultados do teste piloto apresentado na seção 4.3, cujo propósito foi apenas ajustar procedimentos e instrumentos. Consideram-se aqui o Cenário de Teste definido na seção 4.2 e a aplicação dos instrumentos metodológicos previamente estabelecidos na seção 1.4, com o objetivo de analisar as dimensões cognitivas e sociais da aprendizagem em ambientes imersivos e não imersivos.

Considerando o tamanho reduzido da amostra e a possível heterogeneidade das variâncias, foram utilizados o teste de Shapiro-Wilk e o teste t de Welch para as comparações dos tempos de atenção visual entre os ambientes imersivo e não imersivo. Para a análise dos valores ponderados do instrumento NASA TLX, optou-se pelo teste de Mann-Whitney, por se tratar de um teste não paramétrico apropriado para amostras independentes e com distribuição possivelmente assimétrica. No que se refere aos dados relacionais de Presença Social, aplicou-se a correlação de Spearman, adequada para escalas ordinais e para a identificação de relações monotônicas. A Tabela 13 resume os testes estatísticos empregados no estudo e a justificativa metodológica para cada instrumento utilizado na pesquisa.

Tabela 13: Testes estatísticos aplicados e respectivas justificativas metodológicas por variável analisada

Variável	Testes Estatísticos Utilizados	Justificativa Metodológica
Atenção Visual	Shapiro-Wilk + Teste t de Welch	Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para caracterização da normalidade dos dados e o teste t de Welch em função do pequeno tamanho amostral e da possível heterogeneidade de variâncias, considerando sua tolerância a pequenas violações do pressuposto de normalidade.
Presença social	Correlação de Spearman	Optou-se pela correlação de Spearman por se tratar de variáveis ordinais/binomiais, permitindo identificar associações não paramétricas entre os escores.
Carga Cognitiva (NASA TLX)	Média ponderada + Teste de Mann-Whitney	Os dados do NASA TLX são subjetivos e não paramétricos; com uma amostra pequena, utilizou-se a média ponderada das dimensões e o teste de Mann-Whitney para comparação entre grupos.

Fonte: Dados da pesquisa

As seções estão organizadas conforme as três dimensões analisadas: atenção visual (Seção 5.1), presença social (Seção 5.2) e carga cognitiva (Seção 5.3), nas quais são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, os dados obtidos e a interpretação dos resultados. Por fim, a Seção 5.4 integra os achados dessas dimensões e realiza a verificação das hipóteses da pesquisa, considerando os ambientes imersivo e não imersivo.

5.1 Análise comparativa dos dados de atenção visual nos ambientes

Para a comparação dos tempos de atenção visual, em segundos, entre os ambientes imersivo e não imersivo, aplicaram-se o teste de Shapiro-Wilk para caracterizar a distribuição dos dados e o teste t de Welch adotado em razão do pequeno tamanho amostral e da possível heterogeneidade de variâncias entre os grupos, considerando sua maior tolerância a pequenas violações do pressuposto de normalidade.

Neste estudo, o tempo de atenção visual foi utilizado como indicador primário de desempenho nas tarefas educacionais. Sua interpretação variou de acordo com as características do ambiente e da atividade proposta. No Escape Simulator, por se tratar de um ambiente exploratório e sensório-motor, tempos mais elevados podem indicar maior engajamento, envolvimento ativo, complexidade interativa ou excesso de estímulos, não estando necessariamente associados a menor desempenho. A Tabela 14 mostram os resultados do teste de atenção visual no ambiente imersivo.

Tabela 14: Resultados do teste de atenção visual no ambiente Escape Simulator imersivo

Participante	Manipulação/leitura	<i>Puzzle</i>	Labirinto 1	Labirinto 2	Média
1	929	47	45	84	276,25
2	192	7	0	73	68
3	554	121	72	634	345,25
4	537	18	48	136	184,75
5	2355	137	111	338	735,25
6	959	225	47	710	485,25
7	882	35	61	149	281,75
8	584	190	156	220	287,5
9	867	58	109	178	303
10	454	31	49	29	140,75
11	567	105	84	93	212,25

Fonte: Dados da pesquisa

Esses dados fornecem a base para a análise comparativa, possibilitando observar padrões gerais de comportamento atencional. A Tabela 15 apresenta os resultados do teste de atenção visual no ambiente Escape Simulator não imersivo, organizados de forma equivalente aos dados do ambiente imersivo.

Tabela 15: Resultados do teste de atenção visual no ambiente Escape Simulator não imersivo

Participante	Manipulação/leitura	<i>Puzzle</i>	Labirinto 1	Labirinto 2	Média
1	302	48	35	156	135,25
2	785	130	0	0	228,75
3	329	32	47	95	125,75
4	594	15	22	79	177,5
5	459	26	42	135	165,5

6	263	119	62	194	159,5
7	454	65	62	208	197,25
8	542	11	60	156	192,25
9	514	145	51	70	195
10	382	0	32	71	121,25
11	236	15	29	110	97,5

Fonte: Dados da pesquisa

Essa organização possibilita a comparação direta entre as duas condições experimentais, demonstrando que a soma do tempo médio de atenção visual foi maior na condição imersiva ($\Sigma = 3320,00$) do que na condição não imersiva ($\Sigma = 1795,50$). Para a análise estatística desses indicadores, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk, que indicou violações nas métricas "Manipulação/leitura" no grupo imersivo ($p = 0,0015$), "Puzzle" no grupo não imersivo ($p = 0,0422$) e "Labirinto 2" no grupo imersivo ($p = 0,0071$). Diante dessas violações manteve-se o teste t de Welch, adotado em função do pequeno tamanho amostral, da possível heterogeneidade de variâncias e de pequenas violações do pressuposto de normalidade.

Os resultados do teste t de Welch, apresentados na Tabela 16, indicaram diferenças estatisticamente significativas apenas nas métricas Labirinto 1 ($t = 2,2098$; $p = 0,0443$) e Média Geral ($t = 2,4826$; $p = 0,0305$), enquanto as demais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

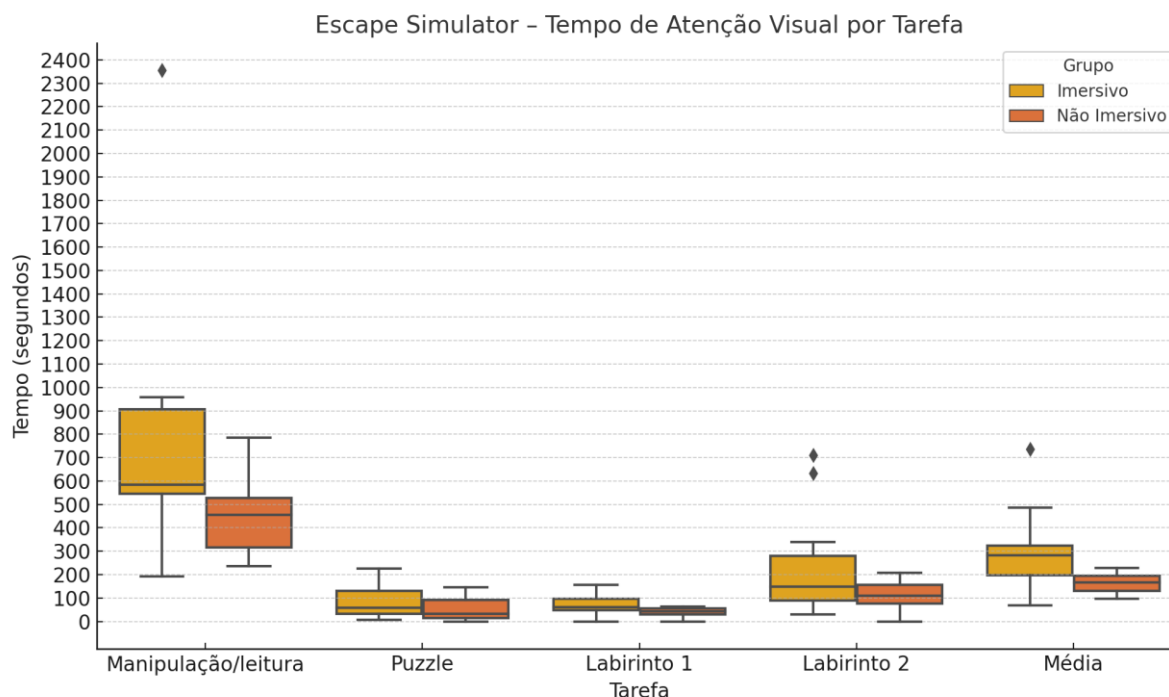
Tabela 16: Análise estatística das métricas de atenção visual no Escape Simulator

Métrica	Shapiro p (Imersivo)	Normal? (Imersivo)	Shapiro p (Não Imersivo)	Normal? (Não Imersivo)	t de Welch	p-valor	Significativo?
Manipulação/leitura	0.0015	Não	0.6363	Sim	2.0614	0.0623	Não
Puzzle	0.2287	Sim	0.0422	Não	1.2363	0.2321	Não
Labirinto 1	0.6099	Sim	0.4375	Sim	2.2098	0.0443	Sim
Labirinto 2	0.0071	Não	0.8623	Sim	1.7378	0.1091	Não
Média Geral	0.1202	Sim	0.8856	Sim	2.4826	0.0305	Sim

Fonte: Dados da pesquisa

Esses achados evidenciam que as diferenças entre os grupos imersivo e não imersivo se concentraram em métricas específicas e na média geral de atenção visual, evidenciando o impacto da imersão sobre o comportamento atencional dos participantes no Escape Simulator. Para aprofundar essa análise, os *boxplots* permitem a visualização da dispersão dos tempos individuais, em segundos, revelando a variabilidade entre os participantes de cada grupo. Os gráficos apresentam os limites inferior e superior, os valores discrepantes (*outliers*), o intervalo interquartil (do primeiro ao terceiro quartil) e a mediana. A Figura 12 apresenta a distribuição dos tempos de atenção visual nas tarefas do Escape Simulator para os grupos imersivo e não imersivo.

Figura 12: Boxplot dos Tempos de Atenção Visual nas Tarefas – Escape Simulator (Imersivo e Não Imersivo)



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o grupo imersivo teve tempos de atenção visual mais elevados em todas as atividades — manipulação/leitura, *puzzle*, labirinto 1, labirinto 2 e na média geral — com maior dispersão dos dados. Ressalta-se que os tempos apresentados se referem apenas ao período em que o participante manteve o foco visual na atividade, não abrangendo momentos de exploração geral do ambiente, deslocamentos ou interrupções da tarefa principal. Esses resultados sugerem que a imersão proporcionou maior permanência visual nas tarefas, possivelmente associada ao interesse exploratório e à riqueza de estímulos do espaço tridimensional. A maior variabilidade observada também pode indicar diferentes estratégias de resolução das atividades e níveis de adaptação dos participantes às demandas sensório-motoras do ambiente imersivo.

No NetVerse Edu, ambiente caracterizado por tarefas estruturadas e com foco lógico-aplicado, tempos menores de execução foram considerados representativos de maior eficiência na realização das atividades. Nesse contexto, a Tabela 17 apresenta os resultados do teste de atenção visual nesse ambiente em sua versão imersiva.

Tabela 17: Resultados do teste de atenção visual no ambiente Netverse Edu imersivo

Participante	Manipulação/leitura	OSI	Quiz	IP	Média
1	24	577	52	1056	427,25
2	161	99	52	791	275,75
3	168	183	80	903	333,5

4	92	95	42	1129	339,5
5	154	266	90	1091	400,25
6	118	152	52	1233	388,75
7	305	192	96	977	392,5
8	127	299	42	916	346
9	548	419	67	1185	554,75
10	334	255	18	737	336

Fonte: Dados da pesquisa

Tais dados serviram para a comparação com os resultados do teste de atenção visual no ambiente NetVerse Edu em modo não imersivo, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados do teste de atenção visual no ambiente Netverse Edu não imersivo

Participante	Manipulação/leitura	OSI	Quiz	IP	Média
1	58	365	56	270	187,25
2	12	372	70	469	230,75
3	31	210	39	90	92,5
4	226	267	99	331	230,75
5	54	308	51	308	180,25
6	294	524	67	932	454,25
7	274	455	48	446	305,75
8	119	876	100	530	406,25
9	220	220	65	435	235
10	122	212	103	267	176

Fonte: Dados da pesquisa

De forma comparativa, observa-se que a soma das médias de atenção visual foi superior no ambiente NetVerse Edu imersivo ($\Sigma = 3794,25$) em relação ao não imersivo ($\Sigma = 2498,75$), indicando maior tempo total de atenção visual dos participantes na condição imersiva. Após a apresentação dos dados, procedeu-se à análise estatística dos tempos de atenção visual no ambiente NetVerse Edu, utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e t de Welch, cujos resultados estão sintetizados na Tabela 19. O teste de normalidade apontou que todas as variáveis apresentaram distribuição normal, exceto a métrica "Modelo OSI" no grupo não imersivo ($p = 0,0198$). O teste t de Welch revelou diferenças estatisticamente significativa na métrica "Endereçamento IP" ($t = 6,7463$; $p < 0,0001$), impactando a "Média Geral" ($t = 3,0681$; $p = 0,0074$), enquanto as demais métricas não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$).

Tabela 19: Análise estatística das métricas de atenção visual no NetVerse Edu

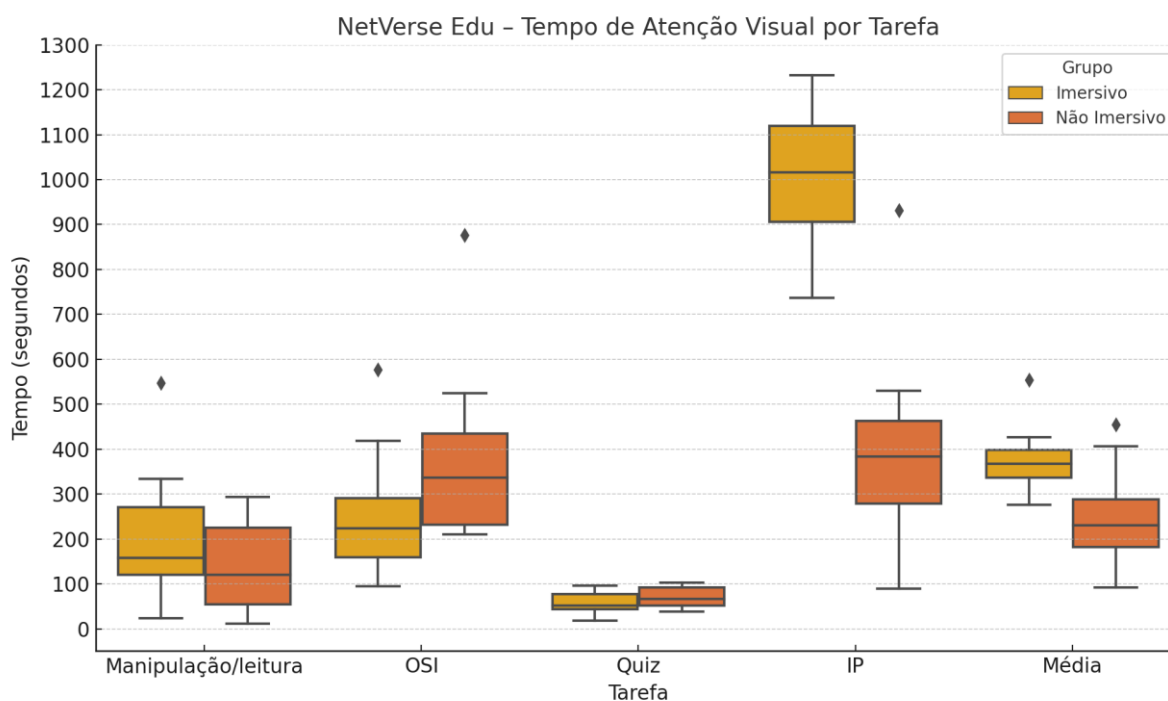
Métrica	Shapiro p (Imersivo)	Normal? (Imersivo)	Shapiro p (Não Imersivo)	Normal? (Não Imersivo)	t de Welch	p-valor	Significativo?
Manipulação/leitura	0.0883	Sim	0.2438	Sim	1.0616	0.3042	Não
Modelo OSI	0.2035	Sim	0.0198	Não	-1.5905	0.1307	Não

Quiz	0.6578	Sim	0.1827	Sim	-1.0097	0.3260	Não
Endereçamento IP	0.8270	Sim	0.1643	Sim	6.7463	0.0000	Sim
Média Geral	0.1519	Sim	0.3093	Sim	3.0681	0.0074	Sim

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados apontam diferenças estatisticamente significativas nas métricas Endereçamento IP e Média Geral ($p < 0,05$) entre os modos imersivo e não imersivo do NetVerse Edu. Esses achados sugerem uma possível relação entre o nível de imersão e o comportamento atencional em tarefas com maior exigência lógico-aplicada. Em contrapartida, tarefas de caráter mais teórico, como Modelo OSI e Quiz, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas associadas à imersão. A Figura 13 ilustra a comparação entre os tempos de atenção visual nos grupos imersivo e não imersivo nas tarefas do NetVerse Edu.

Figura 13: Boxplot dos Tempos de Atenção Visual nas Tarefas – NetVerse Edu (Imersivo e Não Imersivo)



Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a figura, os tempos médios foram semelhantes entre os grupos nas tarefas OSI e Quiz, com leve vantagem para o grupo imersivo nas tarefas de manipulação/leitura. A menor dispersão dos dados no NetVerse Edu indica uma experiência mais homogênea entre os participantes, possivelmente devido ao caráter mais estruturado das tarefas. Ainda assim, o grupo imersivo apresentou maior necessidade de engajamento visual ao longo das atividades.

12	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fonte: Dados da pesquisa

Já as respostas referentes ao teste de presença social no ambiente Escape Simulator não imersivo foram compiladas na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados do teste de presença social no ambiente Escape Simulator não imersivo

Participante	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
1	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
4	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
5	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
6	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
7	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
8	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
9	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
10	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
11	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
12	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Dados da pesquisa

Com relação ao teste de presença social no ambiente Netverse Edu, os dados do experimento realizado em ambiente imersivo foram agrupados na Tabela 22.

Tabela 22: Resultados do teste de presença social no ambiente Netverse Edu imersivo

Participante	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
2	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
4	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
6	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
7	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
8	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
9	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
10	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
11	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
12	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim

Fonte: Dados da pesquisa

E os dados dos resultados do teste de presença social no ambiente Netverse Edu não imersivo foram reunidos na Tabela 23.

Tabela 23: Resultados do teste de presença social no ambiente Netverse Edu não imersivo

Participante	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
--------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

1	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
4	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
6	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
7	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
8	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
9	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
10	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
11	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
12	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim

Fonte: Dados da pesquisa

A análise desses resultados foi realizada por meio da correlação de Spearman (ρ), uma medida não paramétrica adequada para dados binários e ordinais, que avalia a força e a direção das associações monotônicas entre as variáveis, visando compreender a dinâmica colaborativa nos diferentes contextos educacionais. Todas as respostas foram codificadas como 1 (para "Sim") e 0 (para "Não"). Para cada um dos quatro grupos experimentais (Escape Simulator Imersivo, Escape Simulator Não Imersivo, NetVerse Edu Imersivo e NetVerse Edu Não Imersivo), foi calculado o coeficiente de Spearman entre a variável dependente Q4 (percepção de colaboração) e as demais questões (Q1–Q3, Q5–Q9). Também foi calculado o valor-p correspondente para verificar a significância estatística da associação ($p < 0,05$).

Os coeficientes de Spearman e os respectivos valores-p foram organizados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20, separadas para cada ambiente experimental. Correlações com $\rho > 0,5$ e $p < 0,05$ foram consideradas fortes e estatisticamente significativas. A ausência de variabilidade nas respostas — que resultou em coeficientes não calculáveis (NaN) — indica uma percepção homogênea entre os participantes, o que impossibilita o cálculo de correlação para essas variáveis. Vale destacar que o número reduzido de participantes em cada grupo pode ter limitado a detecção de correlações significativas, especialmente nos casos de respostas homogêneas. A Tabela 24 apresenta a correlação de Spearman no ambiente Escape Simulator imersivo, evidenciando associações fortes e significativas entre Q3, Q6 e Q8 com a Q4, além de correlação moderada com Q7 e ausência de cálculo (NaN) para itens com respostas homogêneas.

Tabela 24 – Correlação de Spearman no Escape Simulator imersivo

Questão	Correlação (ρ)	Valor-p
Q3	0.674	0.016
Q6	0.674	0.016
Q8	0.674	0.016
Q7	0.400	0.198

Q2	0.258	0.418
Q1	nan	nan
Q5	nan	nan
Q9	nan	nan

Fonte: Dados da pesquisa

No ambiente Escape Simulator Imersivo, as questões Q3 (pertencimento ao grupo), Q6 (discussões online) e Q8 (incentivo dos colegas ou mediadores) apresentaram correlações fortes com a percepção de presença social (Q4), com coeficientes de Spearman de $\rho = 0,674$ e significância estatística ($p = 0,016$). Esses resultados indicam que aspectos relacionados ao envolvimento social e motivacional desempenham papel central na construção da experiência colaborativa nesse ambiente.

A Tabela 25 demonstra a correlação de Spearman no ambiente Escape Simulator não imersivo, com todas as questões apresentando valores não calculáveis (NaN).

Tabela 25 – Correlação de Spearman no Escape Simulator não imersivo

Questão	Correlação (ρ)	Valor-p
Q1	nan	nan
Q2	nan	nan
Q3	nan	nan
Q5	nan	nan
Q6	nan	nan
Q7	nan	nan
Q8	nan	nan
Q9	nan	nan

Fonte: Dados da pesquisa

Em contraste, no Escape Simulator não imersivo, não foram identificadas correlações estatisticamente significativas, sugerindo que a ausência de imersão reduziu a ativação dos mecanismos colaborativos mesmo com tarefas idênticas.

A Tabela 26 exibe a correlação de Spearman no ambiente NetVerse Edu imersivo, com todas as variáveis resultando em NaN devido à homogeneidade das respostas.

Tabela 26 – Correlação de Spearman no NetVerse Edu Imersivo

Questão	Correlação (ρ)	Valor-p
Q1	nan	nan
Q2	nan	nan
Q3	nan	nan
Q5	nan	nan
Q6	nan	nan

Q7	nan	nan
Q8	nan	nan
Q9	nan	nan

Fonte: Dados da pesquisa

Não se observaram correlações estatisticamente significativas no ambiente NetVerse Edu imersivo, o que sugere menor ativação dos mecanismos colaborativos neste ambiente.

A Tabela 27 apresenta a correlação de Spearman no ambiente NetVerse Edu não imersivo, evidenciando uma correlação significativa em Q6 e moderada na Q2 e Q9, associações fracas e não significativas nas demais questões e ausência de cálculo para Q1.

Tabela 27 – Correlação de Spearman no NetVerse Edu Não Imersivo

Questão	Correlação (ρ)	Valor-p
Q6	0.625	0.030
Q9	0.426	0.167
Q2	0.408	0.188
Q7	0.250	0.433
Q3	0.158	0.624
Q8	0.000	1.000
Q5	-0.213	0.506
Q1	nan	nan

Fonte: Dados da pesquisa

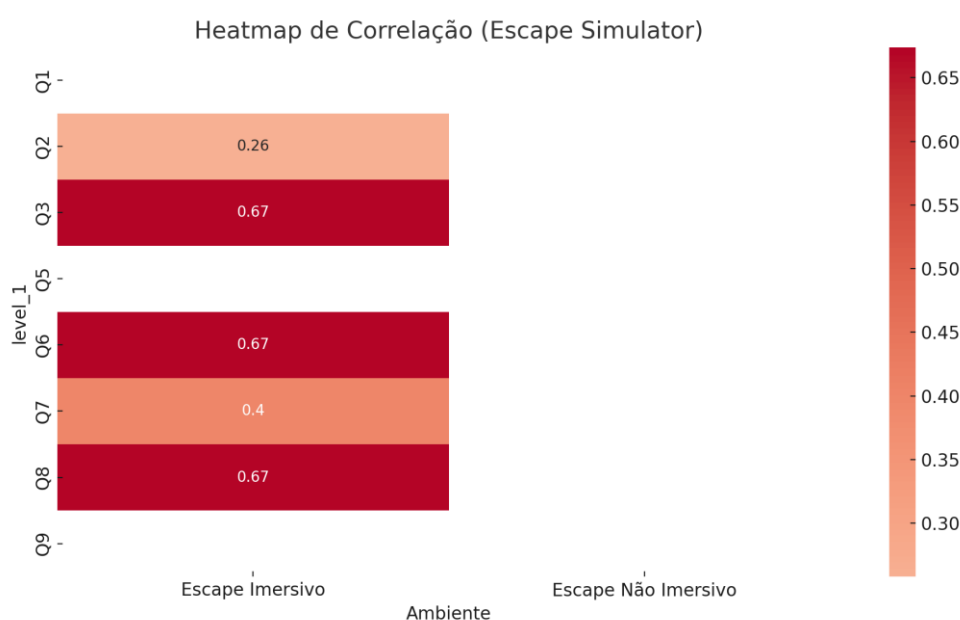
No ambiente NetVerse Edu não imersivo, identificou-se apenas uma correlação forte e estatisticamente significativa entre Q4 e Q6 ($\rho = 0,625$; $p = 0,030$), enquanto as demais associações apresentaram correlações moderadas, fracas ou inexistentes, sem significância estatística. Esse resultado sugere que a presença social nesse ambiente se manifesta de forma mais limitada e individualizada, com menor dependência dos fatores avaliados pelo questionário. Tal padrão pode estar associado à configuração pedagógica do NetVerse Edu, que, diferentemente do Escape Simulator, não exige ações colaborativas diretas entre os participantes. As atividades são predominantemente individuais, com foco na execução autônoma das tarefas e interações restritas ao esclarecimento pontual de dúvidas, sem construção coletiva de soluções ou acompanhamento contínuo das ações dos colegas.

De modo geral, as correlações de Spearman indicam que a percepção de presença social em ambiente colaborativo (Q4) variou conforme o ambiente e o modo de interação. No Escape Simulator imersivo, observaram-se associações fortes e significativas com Q3, Q6 e Q8, sugerindo relação direta com pertencimento ao grupo, qualidade das discussões e incentivo entre os participantes. No Escape Simulator não imersivo e no NetVerse Edu imersivo, a homogeneidade das respostas impediu o cálculo das correlações, indicando percepções uniformes de presença social. Já no NetVerse Edu não imersivo, identificou-se correlação

significativa entre Q4 e Q6, além de associações moderadas com outras questões, evidenciando que a relação entre presença social e aspectos colaborativos depende do contexto educacional e do nível de imersão, sendo complementada pela análise visual por meio do heatmap.

O heatmap das correlações representa visualmente a intensidade das associações entre as variáveis, utilizando cores mais escuras para correlações mais fortes e cores claras ou tons mais frios para correlações fracas, inexistentes ou negativas. A Figura 14 mostra os heatmaps das correlações de Spearman entre Q4 e as demais questões, demonstrando que, no Escape Simulator, as maiores correlações concentram-se no ambiente imersivo, especialmente para Q3, Q6 e Q8, enquanto o ambiente não imersivo não apresenta correlações.

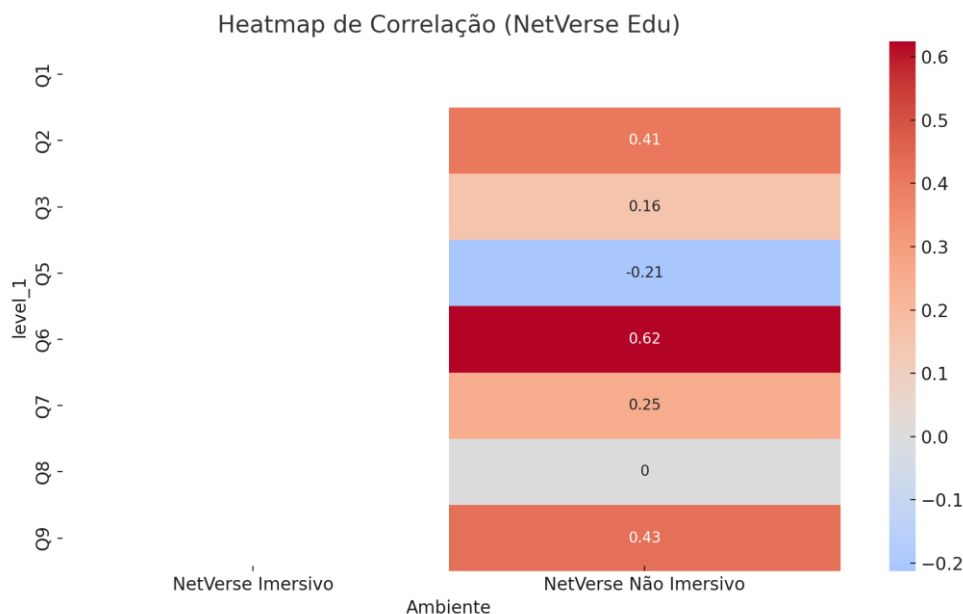
Figura 14 – Heatmap das correlações no Escape Simulator



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 15 apresenta os heatmaps das correlações de Spearman entre Q4 e as demais questões no ambiente NetVerse Edu, observando maior correlação em Q6 no ambiente não imersivo, enquanto o modo imersivo não apresenta correlações.

Figura 15 – Heatmap das correlações no NetVerse Edu



Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados obtidos reforçam a hipótese de que o nível de imersão pode influenciar positivamente a percepção de estar integrado e socialmente presente em ambientes virtuais, especialmente quando as atividades propostas exigem participação conjunta e ativa dos envolvidos. Esse efeito parece estar associado à dinâmica de compartilhamento de um espaço virtual mais restrito, no qual os participantes dividem a mesma interface e interagem de forma mais direta. A percepção de presença social em ambientes virtuais, portanto, depende não apenas do canal tecnológico, mas do tipo de atividade colaborativa proposta. Essa perspectiva pode explicar as correlações significativas observadas no Escape imersivo e a predominante ausência delas no NetVerse Edu, onde as tarefas eram mais individualizadas.

Além dos aspectos sociais, a experiência dos participantes nos ambientes virtuais também envolveu diferentes níveis de exigência cognitiva, o que foi analisado por meio dos resultados do NASA-TLX.

5.3 Análise estatística dos resultados do NASA-TLX

Com o objetivo de avaliar as diferenças na carga de trabalho cognitiva entre os grupos imersivo e não imersivo, foi aplicado o teste de Mann-Whitney às métricas do NASA-TLX. Este teste não paramétrico é adequado para amostras pequenas e distribuições que não seguem a normalidade, sendo apropriado ao perfil dos dados desta pesquisa. Foram analisadas as seis dimensões da escala NASA-TLX — Demanda Mental, Demanda Física, Demanda Temporal, Esforço, Sofrimento e Satisfação — além do Índice Global, calculado a partir da média ponderada das dimensões.

A Tabela 28 apresenta os resultados do NASA-TLX referentes à carga de trabalho percebida no ambiente Escape Simulator, permitindo a análise comparativa entre os grupos imersivo e não imersivo quanto às diferentes demandas impostas pela atividade.

Tabela 28: Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Escape Simulator imersivo

Participante	Mental	Físico	Temporal	Esforço	Sofrimento	Satisfação	Total	
							Ponderado	Índice global
1	200	500	0	400	240	30	1.370	91,33333333
2	200	250	0	160	20	50	680	45,33333333
3	500	240	0	360	140	0	1.240	82,66666667
4	400	120	160	80	240	40	1.040	69,33333333
5	240	320	0	160	320	0	1.040	69,33333333
6	360	60	40	80	120	0	660	44
7	160	200	0	160	400	200	1.120	74,66666667
8	0	180	350	120	20	0	670	44,66666667
9	400	20	0	80	160	20	680	45,33333333
10	120	100	0	150	180	0	550	36,66666667
11	280	0	40	210	350	0	880	58,66666667
12	450	90	0	160	180	0	880	58,66666667

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a classificação proposta por Prabaswari, Basumerda e Utomo (2019), os resultados do Índice Global deste estudo mostram a presença de 5 valores na faixa alta (50–79) e 2 valores na faixa muito alta (80–100), e 5 valores na faixa moderada (30–49), não havendo ocorrências nas faixas baixa (10–29) ou muito baixa (0–9). Esses dados evidenciam a predominância de níveis moderados a elevados de carga de trabalho cognitivo percebida pelos participantes.

Em contraste com a condição imersiva, a Tabela 29 apresenta os resultados da carga cognitiva percebida no Escape Simulator em modo não imersivo.

Tabela 29: Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Escape Simulator não imersivo

Participante	Mental	Físico	Temporal	Esforço	Sofrimento	Satisfação	Total	
							Ponderado	Índice global
1	350	0	240	120	150	20	880	58,66666667
2	300	0	400	360	70	0	1.130	75,33333333
3	400	10	40	240	0	0	690	46
4	400	0	180	60	120	0	760	50,66666667
5	140	0	300	50	120	210	820	54,66666667
6	500	0	210	180	30	40	960	64
7	140	40	320	140	140	40	820	54,66666667
8	240	0	120	40	0	50	450	30
9	500	120	20	400	0	30	1.070	71,33333333
10	320	60	450	100	20	0	950	63,33333333
11	300	0	180	200	20	40	740	49,33333333

12 450 0 280 140 10 0 880 58,66666667

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados do Índice Global referentes ao Escape Simulator em modo não imersivo indicam a presença de 10 valores na faixa alta (50–79) e 2 valores na faixa moderada (30–49), não havendo ocorrências nas faixas muito alta (80–100), baixa (10–29) ou muito baixa (0–9). Esses resultados evidenciam a predominância de níveis elevados de carga de trabalho cognitivo, sugerindo que, mesmo no ambiente não imersivo, as atividades demandaram esforço cognitivo significativo por parte dos participantes.

A Tabela 30 apresenta a análise estatística dos dados obtidos no ambiente Escape Simulator, identificando diferenças significativas nas dimensões Física ($p = 0,0008$), Temporal ($p = 0,0011$) e Sofrimento ($p = 0,0021$).

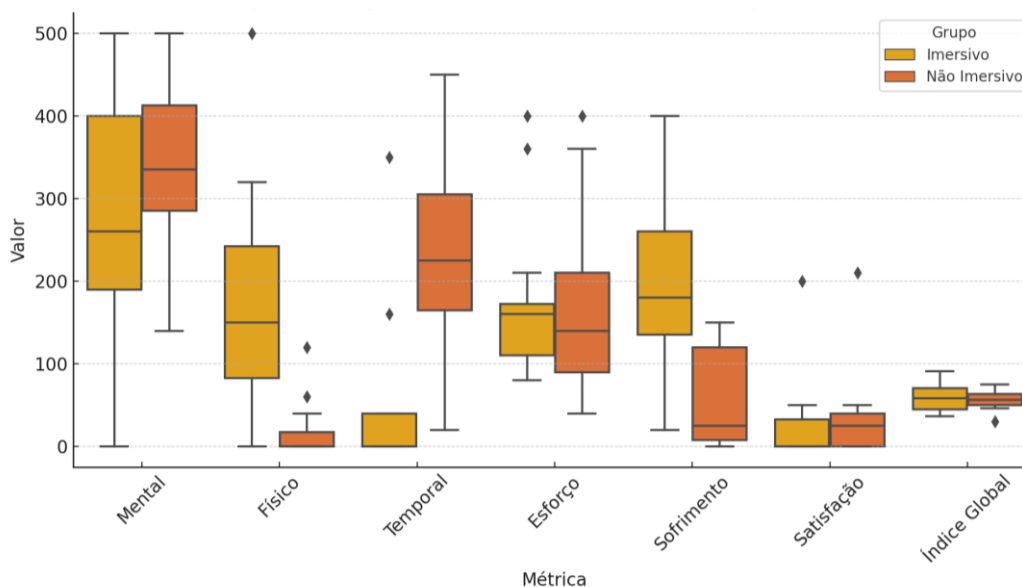
Tabela 30: Carga de trabalho cognitivo no Escape Simulator (teste de Mann-Whitney)

Métrica	Estatística U	p-valor	Significativo?
Mental	55.0	0.3388	Não
Físico	129.0	0.0008	Sim
Temporal	16.0	0.0011	Sim
Esforço	79.5	0.6849	Não
Sofrimento	125.5	0.0021	Sim
Satisfação	59.5	0.4576	Não
Índice Global	74.0	0.9308	Não

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com os índices obtidos, a carga física e o sofrimento percebido foram mais elevados no grupo imersivo, enquanto a carga temporal apresentou valores mais intensos no grupo não imersivo, não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas nas demais métricas. Essa tendência pode ser visualmente confirmada na Figura 16, na qual são apresentados os *boxplots* das métricas avaliadas no ambiente Escape Simulator imersivo e não imersivo, permitindo observar a distribuição dos valores por grupo, evidenciando maior dispersão e medianas mais elevadas no grupo imersivo nas métricas em que houve significância estatística.

Figura 16: *Boxplots* da carga de trabalho nos grupos imersivo e não imersivo (Escape Simulator)



Fonte: Dados da pesquisa

No ambiente *Escape Simulator*, os dados indicaram que os participantes do grupo imersivo perceberam uma carga de trabalho cognitivo mais elevada nas dimensões Física e Sofrimento. Essa percepção pode estar relacionada às características do ambiente, que exige movimentos corporais frequentes, orientação espacial contínua e respostas rápidas a estímulos visuais e sonoros. A presença de múltiplos elementos interativos e a necessidade de solucionar enigmas nesse ambiente provavelmente contribuíram para um maior desconforto emocional, evidenciado pela elevação da dimensão Sofrimento. Observa-se que a demanda temporal percebida foi significativamente maior no ambiente não imersivo, o que pode estar relacionado ao menor engajamento dos participantes. É possível que a imersão e a motivação proporcionadas pelo ambiente virtual tenha favorecido uma maior fluidez na execução das tarefas, reduzindo a percepção de pressão temporal.

Em contrapartida, as dimensões Demanda Mental, Esforço, Satisfação e o Índice Global não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Esse resultado indica que, embora o ambiente imersivo tenha ampliado a percepção de carga em aspectos sensório-motores e emocionais, não se observou um aumento global da carga cognitiva. Tais achados estão em consonância com estudos prévios, que apontam que ambientes imersivos tendem a mobilizar de forma mais intensa os sistemas sensoriais e motores do que os recursos cognitivos centrais, especialmente em atividades baseadas em exploração ativa, mantendo-se como recursos potencialmente viáveis no contexto educacional.

Em seguida, a análise concentra-se no ambiente *NetVerse Edu*, com foco na investigação da carga cognitiva percebida em seus modos imersivo e não imersivo. A Tabela 31 apresenta os resultados do teste de carga cognitiva no *NetVerse Edu* em modo imersivo, permitindo a posterior comparação entre as duas condições dentro do mesmo ambiente e a identificação de possíveis diferenças associadas ao nível de imersão.

Tabela 31: Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente Netverse Edu imersivo

Participante	Mental	Físico	Temporal	Esforço	Sofrimento	Satisfação	Total Ponderado	Índice global
1	180	120	0	280	200	20	800	53,33333333
2	400	120	0	210	10	60	800	53,33333333
3	120	40	0	300	120	40	620	41,33333333
4	240	400	40	300	0	160	1.140	76
5	210	200	0	250	30	0	690	46
6	480	0	0	320	80	100	980	65,33333333
7	270	270	0	210	400	40	1.190	79,33333333
8	350	180	0	280	30	40	880	58,66666667
9	160	20	0	160	60	0	400	26,66666667
10	240	210	0	300	60	40	850	56,66666667
11	300	100	0	210	180	0	790	52,66666667
12	320	50	80	0	120	20	590	39,33333333

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados do Índice Global referentes ao NetVerse Edu em modo imersivo indicam a presença de 8 valores na faixa alta (50–79), 3 valores na faixa moderada (30–49) e 1 valor na faixa baixa (10–29), não havendo ocorrências nas faixas muito alta (80–100) ou muito baixa (0–9). Esses dados mostram a predominância de níveis elevados de carga de trabalho cognitivo, com a maioria dos participantes concentrando-se entre as faixas moderada e alta, indicando que as atividades no ambiente imersivo exigiram esforço cognitivo significativo, embora sem atingir níveis extremos de sobrecarga.

Por sua vez, a Tabela 32 apresenta os resultados da carga cognitiva percebida no NetVerse Edu em modo não imersivo.

Tabela 32: Resultados do teste de carga cognitiva no ambiente NetVerse Edu não imersivo

Participante	Mental	Físico	Temporal	Esforço	Sofrimento	Satisfação	Total Ponderado	Índice global
1	180	300	10	160	0	40	690	46
2	150	240	300	120	30	0	840	56
3	400	20	0	240	160	0	820	54,66666667
4	280	0	0	150	60	160	650	43,33333333
5	350	280	0	180	20	0	830	55,33333333
6	450	300	0	360	160	0	1270	84,66666667
7	360	300	0	210	120	30	1020	68
8	250	0	0	60	0	0	310	20,66666667
9	250	0	0	80	20	0	350	23,33333333
10	200	0	0	80	0	0	280	18,66666667
11	400	20	0	160	140	0	720	48
	240	0	0	200	40	0	480	32

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados do Índice Global referentes ao NetVerse Edu em modo não imersivo indicam a presença de 4 valores na faixa alta (50–79), 1 valor na faixa muito alta (80–100), 4 valores na faixa moderada (30–49) e 3 valores na faixa baixa (10–29), não havendo ocorrências na faixa muito baixa (0–9). Esses dados revelam uma distribuição mais diversificada da carga de trabalho cognitivo, com participantes concentrados principalmente entre as faixas moderada e alta, mas também com registros de carga muito alta e baixa, indicando maior variabilidade na experiência cognitiva no ambiente não imersivo do NetVerse Edu.

No ambiente NetVerse Edu, os resultados do teste de Mann-Whitney são apresentados na Tabela 33. Diante dos índices obtidos, foram identificadas diferenças significativas nas dimensões Esforço ($p = 0,0237$) e Satisfação ($p = 0,0323$).

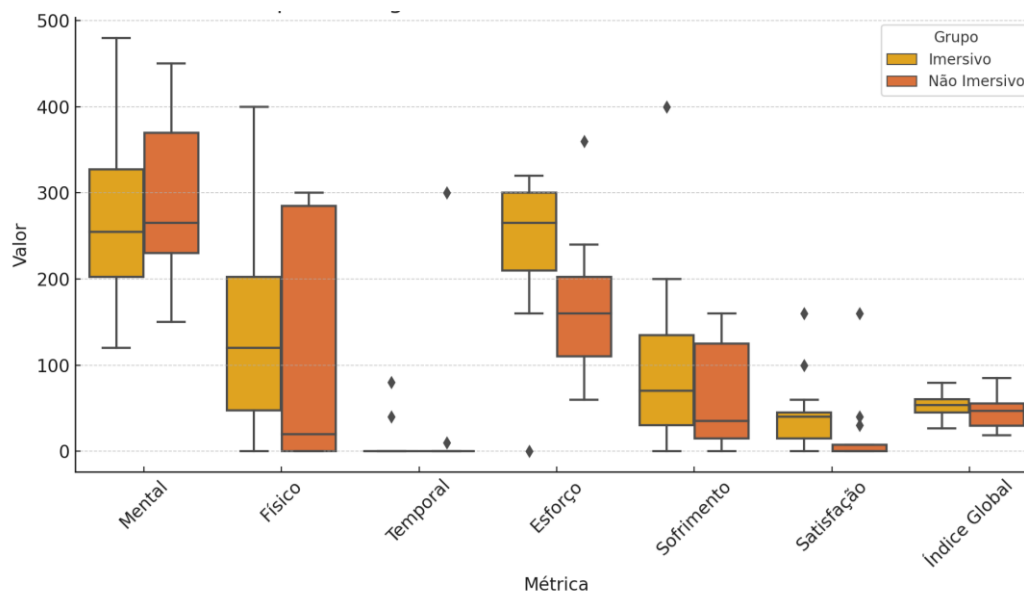
Tabela 33: Carga de trabalho cognitivo no NetVerse Edu (teste de Mann-Whitney)

Métrica	Estatística U	p-valor	Significativo?
Mental	62.0	0.5825	Não
Físico	84.5	0.4842	Não
Temporal	72.0	1.0	Não
Esforço	111.5	0.0237	Sim
Sofrimento	91.5	0.2701	Não
Satisfação	107.0	0.0323	Sim
Índice Global	89.5	0.3261	Não

Fonte: Dados da pesquisa

Os dados referentes à carga de trabalho cognitivo no NetVerse Edu indicam que os participantes do grupo imersivo perceberam maior demanda de esforço e relataram maior satisfação com a execução das atividades. A Figura 17 ilustra os *boxplots* das métricas no ambiente NetVerse Edu imersivo e não imersivo, destacando essas diferenças entre os grupos para as métricas de Esforço e Satisfação.

Figura 17: *Boxplots* da carga de trabalho nos grupos imersivo e não imersivo (NetVerse Edu)



Fonte: Dados da pesquisa

No ambiente NetVerse Edu, os efeitos da imersão foram diferentes. As dimensões que apresentaram diferenças significativas entre os grupos foram Esforço e Satisfação, ambas com valores mais elevados no grupo imersivo. A elevação do esforço percebido pode ser explicada pelas exigências cognitivas das tarefas realizadas, que requeriam manipulação de objetos, raciocínio lógico e resolução de problemas em ambiente tridimensional. Ao mesmo tempo, o aumento da satisfação pode indicar que, apesar do esforço adicional, os participantes se sentiram mais engajados e recompensados com a realização das tarefas, o que sugere uma experiência positiva e motivadora.

As demais dimensões — Mental, Física, Temporal, Sofrimento e o Índice Global — não apresentaram diferenças significativas no NetVerse Edu, o que indica que os efeitos da imersão foram mais localizados e moderados, concentrando-se na percepção de empenho e na recompensa emocional derivada da tarefa. Isso pode estar relacionado à natureza mais estruturada e lógica das atividades desse ambiente, em contraste com o caráter mais exploratório e interativo do Escape Simulator.

De modo geral, os resultados evidenciam que a imersão modula a percepção da carga de trabalho cognitivo de forma seletiva, influenciada pelas características das tarefas e pelo perfil do ambiente educacional. No Escape Simulator, os efeitos mais pronunciados ocorreram em dimensões físicas e sofrimento, refletindo a complexidade sensório-motora do ambiente. Já no NetVerse Edu, o impacto da imersão esteve concentrado na percepção de esforço e na satisfação com o processo de aprendizagem. Esses achados reforçam a importância de considerar o equilíbrio entre desafio, engajamento e bem-estar na concepção de experiências educacionais imersivas, alinhando as demandas cognitivas, físicas e afetivas às características do público-alvo e aos objetivos pedagógicos.

Considerando essas nuances na percepção de carga de trabalho cognitivo entre os ambientes e grupos, torna-se necessário integrar os resultados das diferentes dimensões avaliadas para uma compreensão mais abrangente da experiência imersiva, articulando aspectos cognitivos, atencionais e sociais.

5.4 Integração dos resultados e verificação das hipóteses

Esta seção apresenta a integração dos resultados e a verificação das hipóteses a partir da análise dos dados, visando à compreensão das dimensões cognitivas e sociais da experiência de aprendizagem em ambientes digitais, as quais são investigadas por meio dos instrumentos de carga cognitiva (NASA-TLX), atenção visual e presença social. Cada uma dessas variáveis representa um aspecto específico da vivência do participante: a carga cognitiva refere-se à quantidade de recursos demandados durante a execução das tarefas; a atenção visual expressa o tempo efetivo em que os participantes mantiveram o foco nas atividades; e a presença social em ambiente imersivo refere-se à percepção "real" dos usuários em ambientes virtuais, abrangendo aspectos de colaboração como troca de informações e participação conjunta nas atividades em ambiente virtual.

Com o intuito de integrar as evidências oriundas de múltiplas fontes de dados, elaborou-se a Tabela 34 com os aspectos cognitivos (NASA TLX), comportamentais (atenção visual) e sociais (presença percebida), apresentando o grupo com maior valor (imersivo e não imersivo) e a interpretação do resultado.

Tabela 34: Tabela-Síntese dos Achados por Ambiente (comparação entre grupos imersivo e não imersivo)

Ambiente	Dimensão Avaliada	Instrumento Utilizado	Diferença Significativa ?	Grupo com Maior Valor	Interpretação do resultado
Escape Simulator	Físico	NASA TLX	Sim	Imersivo	Maior exigência sensório-motora
Escape Simulator	Temporal	NASA TLX	Sim	Não Imersivo	Maior pressão de tempo percebida
Escape Simulator	Sofrimento	NASA TLX	Sim	Imersivo	Desconforto emocional ampliado
Escape Simulator	Mental, Esforço, Satisfação, Índice Global	NASA TLX	Não	-	Sem diferença significativa
NetVerse Edu	Esforço	NASA TLX	Sim	Imersivo	Imersão exige maior envolvimento

NetVerse Edu	Satisfação	NASA TLX	Sim	Imersivo	Atividades imersivas geram mais prazer na execução
NetVerse Edu	Demais dimensões do NASA TLX	NASA TLX	Não	-	Diferenças não significativas
Escape Simulator	Tempo de atenção visual	Observação em vídeo	Sim	Imersivo	Maior tempo de interação e engajamento visual
NetVerse Edu	Tempo de atenção visual	Observação em vídeo	Não	-	Atividade mais individualizada, com menor exploração visual
Escape Simulator	Presença social	Presença Social (Q4 vs demais)	Sim (correlação)	Imersivo	Forte associação entre colaboração e sentimento de pertencimento
NetVerse Edu	Presença social	Presença Social (Q4 vs demais)	Não	-	Pouca interação entre participantes

Fonte: Dados da pesquisa

A Tabela 34 evidencia que apenas uma métrica apresentou diferença estatisticamente significativa no grupo não imersivo, enquanto todas as demais métricas significativas ocorreram nos ambientes imersivos. Esse padrão geral encontra respaldo na análise específica das métricas observadas em cada ambiente.

No Escape Simulator, foram observadas na seção 5.1 diferenças estatisticamente significativas entre os modos imersivo e não imersivo na métrica *Labirinto I* ($t = 2,2098$; $p = 0,0443$) e na *Média* geral de tempo de atenção visual ($t = 2,4826$; $p = 0,0305$), evidenciando maior tempo de atenção visual dos participantes no ambiente imersivo. De forma semelhante, no NetVerse Edu, o teste revelou diferença estatisticamente significativa entre o ambiente imersivo e não imersivo na atividade de *Endereçamento IP* ($t = 6,7463$; $p < 0,0001$) e, também, na *Média* geral ($t = 3,0681$; $p = 0,0074$), reforçando a tendência de maior tempo total de atividade nos grupos imersivos. Todavia, esse maior tempo de atenção visual em ambiente imersivo não deve ser interpretado, de forma direta, como indicativo de melhor desempenho.

No Escape Simulator, ambiente caracterizado por forte componente sensório-motor e exploratório, o aumento do tempo pode estar associado à necessidade de exploração espacial, adaptação ao ambiente e manipulação de objetos tridimensionais. Já no NetVerse Edu, cujas tarefas possuem caráter mais objetivo e instrucional, as diferenças observadas entre os modos imersivo e não imersivo podem refletir maior familiaridade com o conteúdo, clareza procedimental e foco na resolução. Assim, embora o teste t de Welch aponte diferenças

estatisticamente significativas nos tempos de atenção visual, sua interpretação deve considerar a natureza das tarefas e a complexidade dos ambientes.

Ao considerar a presença social, os resultados estatísticos da Seção 5.2, obtidos por meio da correlação de Spearman, evidenciaram padrões distintos entre os ambientes. No Escape Simulator em modo imersivo, foram identificadas três correlações fortes e estatisticamente significativas entre a questão central de percepção de colaboração (Q4) e as questões Q3, Q6 e Q8, todas com coeficiente $\rho = 0,674$ e $p = 0,016$. Esses valores indicam uma experiência marcada pela participação ativa e pela construção conjunta das ações. Nesse ambiente, os participantes compartilhavam o mesmo espaço virtual, visualizavam continuamente as ações dos colegas, manipulavam objetos de forma cooperativa e podiam refletir e decidir em conjunto sobre os desafios propostos, o que favoreceu a intensificação da presença social. Em contraste, nos demais cenários as correlações foram inexistentes, fracas ou pouco expressivas.

No Escape Simulator não imersivo e no NetVerse Edu imersivo, a homogeneidade das respostas resultou em coeficientes não calculáveis (NaN), indicando ausência de variabilidade suficiente para a identificação de associações. Já no NetVerse Edu não imersivo, observou-se apenas uma correlação forte e estatisticamente significativa entre Q4 e Q6 ($\rho = 0,625$; $p = 0,030$), enquanto as demais associações foram moderadas ou fracas, como no caso de Q9 ($\rho = 0,426$; $p = 0,167$) e Q2 ($\rho = 0,408$; $p = 0,188$). Esse resultado sugere que a estrutura mais individualizada das atividades, aliada ao menor grau de imersão e de interatividade espacial, limitou a presença social e colaboração.

Complementarmente, a análise da carga cognitiva por meio do NASA-TLX, apresentada na Seção 5.3, evidenciou padrões distintos entre os ambientes e os modos de interação. Considerando a soma dos índices globais, observa-se que o Escape Simulator apresentou valores mais elevados no modo imersivo ($\Sigma = 720,67$) em comparação ao não imersivo ($\Sigma = 676,67$), enquanto no NetVerse Edu os valores totais foram superiores no modo imersivo ($\Sigma = 648,67$) em relação ao não imersivo ($\Sigma = 550,67$). Todavia, para verificar se essas diferenças acumuladas entre os grupos representam variações estatisticamente significativas, procedeu-se à análise estatística dos dados por meio do teste não paramétrico de Mann–Whitney (U).

Os resultados indicaram que os efeitos da imersão sobre a carga cognitiva não se manifestaram de maneira uniforme entre os ambientes analisados. No Escape Simulator, observaram-se diferenças na Demanda Temporal no grupo não imersivo ($U = 16,0$; $p = 0,0011$) e diferenças nas dimensões Demanda Física ($U = 129,0$; $p = 0,0008$) e Sofrimento ($U = 125,5$; $p = 0,0021$) no grupo imersivo, podendo estas últimas estarem associadas a contextos de maior incorporação corporal e exploração do ambiente. Já no NetVerse Edu, apenas o grupo imersivo apresentou diferenças nas dimensões Esforço ($U = 111,5$; $p = 0,0237$) e Satisfação ($U = 107,0$; $p = 0,0323$), apontando que a imersão esteve associada tanto a um maior empenho na realização das tarefas quanto a uma avaliação mais positiva da experiência.

Diante do conjunto de evidências discutidas nesta seção, torna-se possível proceder à verificação das hipóteses da pesquisa:

Hipótese 1: *Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem requerem um maior grau de atenção visual que ambientes virtuais não imersivos.*

- **A hipótese foi confirmada no tempo total do Escape Simulator e do NetVerse Edu.**

Essa hipótese foi confirmada tanto no *Escape Simulator* quanto no *NetVerse Edu*, uma vez que os dados dos experimentos realizados em ambientes imersivos apresentaram valores superiores e diferenças estatisticamente significativas em métricas específicas de atenção visual, bem como no tempo total de execução das tarefas. Esses resultados indicam que a imersão requer maior direcionamento da atenção aos estímulos do ambiente e às demandas das atividades propostas, refletindo maior foco visual dos participantes, especialmente em contextos que exigiam exploração do espaço virtual, manipulação de objetos e interação com outros usuários.

Hipótese 2: *Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem requerem uma maior carga cognitiva dos usuários que ambientes virtuais não imersivos.*

- **A hipótese foi parcialmente confirmada em métricas isoladas do instrumento NASA-TLX, mas não no índice Global**

No *Escape Simulator*, a carga cognitiva percebida foi significativamente maior no modo imersivo nas dimensões Demanda Física e Sofrimento, enquanto no *NetVerse Edu* as diferenças significativas ocorreram nas dimensões Esforço e Satisfação. Esses resultados demonstram que a imersão impactou componentes específicos da carga cognitiva, de acordo com a natureza do ambiente e a estrutura das tarefas propostas. Entretanto, o Índice Global do NASA-TLX não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os modos imersivo e não imersivo em nenhum dos ambientes analisados, indicando que a imersão não resultou em um aumento generalizado da carga cognitiva, mas em alterações pontuais em dimensões específicas do constructo.

Hipótese 3: *Os ambientes virtuais imersivos de aprendizagem proporcionam um maior grau de presença social aos usuários que os ambientes virtuais não imersivos.*

- **A hipótese foi confirmada com correlações fortes e significativas no Escape Simulator.**

Essa hipótese foi confirmada apenas no *Escape Simulator* imersivo, no qual foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a percepção de presença social (Q4) e variáveis relacionadas ao pertencimento ao grupo (Q3), à qualidade das discussões (Q6) e ao incentivo entre colegas (Q8), indicando uma experiência

colaborativa marcada pela copresença e pela construção conjunta da resolução das atividades. Nos demais cenários, não foram identificadas associações estatisticamente significativas. Esses resultados indicam que a intensificação da presença social não depende exclusivamente da imersão tecnológica, mas da combinação entre compartilhamento do espaço virtual, interatividade espacial e natureza colaborativa das tarefas propostas.

Dessa forma, os achados da pesquisa permitem uma compreensão mais aprofundada sobre como diferentes níveis de imersão e características dos ambientes virtuais influenciam a dinâmica entre atenção visual, carga cognitiva e presença social. As conclusões gerais do estudo, fundamentadas nas evidências empíricas obtidas, são apresentadas no Capítulo 6.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta dissertação foi investigar como as dimensões cognitivas e sociais influenciam o processo de aprendizagem em ambientes imersivos. A partir da aplicação dos instrumentos metodológicos definidos neste estudo, foi possível investigar e comparar os níveis de atenção visual, carga cognitiva e presença social, bem como analisar a inter-relação entre as demandas cognitivas e sociais observadas nos experimentos. Esse objetivo orientou o alcance dos objetivos específicos da pesquisa.

O primeiro objetivo específico foi atendido por meio da realização de um *benchmark* de ambientes virtuais imersivos e não imersivos de aprendizagem, possibilitando a análise comparativa das plataformas e a seleção dos ambientes utilizados no experimento. O segundo objetivo foi alcançado com a condução do experimento e a análise integrada dos dados de atenção visual, carga cognitiva e presença social, permitindo compreender como diferentes experiências imersivas atendem a demandas cognitivas e sociais distintas. Por fim, o terceiro objetivo foi contemplado com a proposição de recomendações voltadas ao aprimoramento de ambientes imersivos no contexto educacional, ressaltando a importância do alinhamento entre as atividades propostas, as condições dos ambientes e o grau de colaboração exigido pelas tarefas. Esses objetivos foram operacionalizados pela análise de dois ambientes distintos.

A pesquisa foi conduzida nos ambientes virtuais *Escape Simulator* e *NetVerse Edu*, comparando suas versões imersiva e não imersiva. Os resultados indicaram que a imersão tende a potencializar o envolvimento dos participantes, sobretudo em contextos que exigem ações colaborativas e sensório-motoras. No *Escape Simulator* imersivo, observou-se índices mais elevados de atenção visual, de carga de trabalho cognitivo nas dimensões demanda física e sofrimento e correlações estatisticamente significativas relacionadas à presença social. Em contrapartida, no *NetVerse Edu*, o grupo imersivo não apresentou impacto significativo na presença social, possivelmente em função do caráter mais individualizado das atividades, mas exibiu níveis mais elevados de atenção visual, esforço e satisfação, sugerindo que a imersão pode potencializar aspectos da experiência de aprendizagem.

A discussão dos resultados evidenciou que os efeitos da imersão variam conforme o contexto de aplicação, indicando a relevância de uma análise integrada da atenção visual, da carga cognitiva e da presença social. Observou-se que o tempo de atenção visual foi maior no ambiente imersivo, mas não é suficiente, isoladamente, para avaliar o desempenho. A análise da carga de trabalho cognitivo demonstrou que a imersão pode intensificar demandas específicas, como a física, o esforço e o sofrimento sem aumentar a carga de trabalho cognitiva global. De maneira complementar, os resultados relacionados à presença social indicaram que a percepção "real" dos usuários em ambientes virtuais e a colaboração se mostraram mais

expressivas em contextos imersivos, dependendo da configuração das atividades e do grau de interação. À luz dessas análises, procedeu-se à validação das hipóteses.

A validação das hipóteses indicou que a Hipótese 1 foi confirmada, uma vez que os ambientes imersivos promoveram maiores tempos de atenção visual e maior tempo total de atividade nos dois ambientes analisados. A Hipótese 2 foi parcialmente confirmada, pois a imersão impactou apenas dimensões específicas da carga cognitiva, sem resultar em diferenças estatisticamente significativas no Índice Global do NASA-TLX. Já a Hipótese 3 foi confirmada apenas no Escape Simulator imersivo, no qual a presença social mostrou-se mais expressiva, evidenciando que sua intensificação depende não apenas da imersão tecnológica, mas também do compartilhamento do espaço virtual e da natureza colaborativa das tarefas propostas.

Em síntese, o estudo demonstrou que, em contextos colaborativos, a imersão potencializa o foco atencional, aspectos relacionados à carga cognitiva e as dinâmicas de interação e colaboração. Esses resultados reforçam a viabilidade dos ambientes virtuais imersivos para promover engajamento, sensação de pertencimento e o próprio processo de aprendizagem. Tais efeitos, contudo, são modulados pelas características instrucionais de cada ambiente, evidenciando que a efetividade das experiências imersivas está diretamente relacionada ao alinhamento entre o ambiente virtual, as finalidades educacionais e as estratégias colaborativas, tornando indispensável considerar o contexto de aplicação e o perfil dos aprendizes no planejamento dessas propostas educacionais.

6.1 Ameaças à validade

A limitação no número de participantes configura um fator que pode comprometer a validade dos resultados, sobretudo no que tange à generalização dos achados. Apesar da realização de 48 experimentos, aspectos subjetivos como o grau de familiaridade com a tecnologia, o nível de comprometimento com as atividades propostas e a disposição em expressar dúvidas ou solicitar auxílio influenciam a forma como cada participante vivencia a experiência, afetando de maneira distinta os resultados obtidos. Para mitigar esse tipo de viés, recomendam-se investigações futuras com amostras mais amplas e diversificadas. Ademais, o planejamento amostral deve se apoiar em fundamentos estatísticos para assegurar maior confiabilidade às inferências.

Não foi possível identificar com precisão os processos cognitivos, afetivos e comportamentais que possivelmente influenciaram a experiência dos participantes no exato momento de exigência de atenção visual e de envolvimento emocional. Essa limitação representa uma ameaça à validade interna do estudo, pois restringe a precisão das inferências sobre os fenômenos analisados. Para reduzir tal limitação, recomenda-se a utilização de recursos como sistemas de eye tracking e sensores fisiológicos, que possibilitam a coleta de

dados objetivos, contínuos e com alta resolução temporal, ampliando a compreensão dos estados internos dos usuários durante a interação com os ambientes virtuais.

Outra ameaça à validade decorre do caráter exploratório desta pesquisa, que se concentrou na análise de dois tipos de ambientes virtuais de aprendizagem — um jogo educativo e um ambiente de propósito específico. Essa delimitação representa uma ameaça à validade externa, visto que há diversas outras categorias relevantes, como simuladores de sala de aula, museus imersivos, exposições interativas, entre outros, além da diversidade de abordagens possíveis dentro de cada uma dessas tipologias. Assim, os resultados aqui apresentados devem ser interpretados à luz das condições específicas em que foram obtidos, não sendo automaticamente generalizáveis para todos os formatos de ambientes virtuais com realidade virtual. Para ampliar a validade externa, sugere-se que estudos futuros explorem uma gama mais ampla e representativa de ambientes, contemplando diferentes contextos de uso e estratégias pedagógicas.

Além disso, o uso pontual e controlado dos ambientes imersivos em um contexto experimental delimitado pode ter gerado viés de resposta. Como as interações ocorreram em sessões curtas, com tarefas pré-estabelecidas e tempo reduzido de exposição, os feedbacks podem ter sido influenciados por fatores situacionais, como o efeito novidade ou a ausência de familiaridade prévia com a tecnologia utilizada. Essa limitação pode impactar tanto a percepção de usabilidade quanto a avaliação da eficácia da ferramenta. Para mitigar tal viés, propõe-se a realização de estudos longitudinais, que permitam o uso contínuo dos ambientes.

Por fim, a condução dos experimentos em diferentes espaços físicos pode ter introduzido variáveis externas não controladas, como ruídos, interrupções ou falhas técnicas momentâneas, que interferem na experiência imersiva. Esses fatores podem afetar significativamente as respostas dos participantes quanto à carga cognitiva, atenção e engajamento, configurando uma ameaça à validade interna. Para reduzir essas interferências, recomenda-se maior controle sobre as condições de aplicação dos testes, padronizando aspectos como o ambiente físico, o suporte técnico e a estabilidade dos dispositivos utilizados.

As ameaças à validade aqui discutidas reforçam a importância de aprimorar os delineamentos metodológicos em pesquisas futuras, por meio do controle rigoroso de variáveis externas, da utilização de instrumentos mais precisos, da ampliação da amostra e da adoção de avaliações longitudinais. Além disso, destaca-se a necessidade de continuidade em investigações empíricas que ampliem a compreensão sobre os efeitos da imersão em contextos educacionais diversos.

6.2 Contribuições

A etapa inicial desta dissertação consistiu no mapeamento sistemático publicado por Brito e Medeiros (2024), que evidenciou o crescente interesse da literatura pelas funções

cognitivas em ambientes imersivos de aprendizagem, com destaque para estudos voltados à atenção, percepção e melhora cognitiva, seguidos por memória e motivação, além de apontar benefícios e limitações ainda presentes nesse campo. Em continuidade, foi publicado o *benchmark* para análise de ambientes imersivos de aprendizagem colaborativa (Brito e Medeiros, 2025), que sistematizou plataformas disponíveis no estado da arte e no mercado, considerando aspectos como acessibilidade, usabilidade, interação tátil e colaboração. Essa análise resultou na identificação de dois ambientes mais adequados para os experimentos — Escape Simulator e NetVerse Edu —, que se tornaram objeto de investigação nesta dissertação.

Esta dissertação oferece contribuições tanto para o campo da Interação Humano-Computador quanto para a inovação das práticas educacionais com o uso de tecnologias imersivas, constituindo uma base sólida para pesquisas futuras e incentivando uma abordagem mais informada e inclusiva na aplicação dessas tecnologias ao processo de ensino-aprendizagem. Do ponto de vista acadêmico, a pesquisa amplia o debate sobre os efeitos da imersão em dimensões cognitivas e sociais da aprendizagem digital, abordando as interações entre atenção visual, colaboração e carga cognitiva. Em termos metodológicos, destaca-se a integração de dados objetivos (comportamentais) e subjetivos (questionários validados), configurando uma abordagem robusta e replicável para avaliação de experiências imersivas em diferentes contextos educacionais. A comparação entre dois tipos distintos de ambientes, com variações no grau de colaboração e complexidade, também contribui para compreender os limites e possibilidades da imersão como recurso pedagógico.

No campo prático, os resultados oferecem subsídios para o desenvolvimento de ambientes virtuais de aprendizagem mais responsivos às necessidades dos estudantes, auxiliando na elaboração de tarefas que promovam maior engajamento, colaboração e satisfação. Além disso, os achados podem orientar decisões mais acertadas sobre os recursos tecnológicos a serem adotados. Tais evidências são relevantes para instituições de educação, desenvolvedores de plataformas educacionais e profissionais envolvidos no planejamento e implementação de experiências digitais mais significativas e eficazes.

6.3 Propostas de Trabalhos Futuros

Diante das evidências e limitações identificadas, diversas direções podem ser exploradas em pesquisas futuras. Recomenda-se a ampliação da amostra e a inclusão de variáveis adicionais, como dados fisiológicos obtidos por meio de eye tracking, eletroencefalograma (EEG) ou outros dispositivos, visando à obtenção de indicadores mais precisos sobre aspectos cognitivos. A realização de entrevistas qualitativas também pode contribuir para uma compreensão mais aprofundada das percepções e experiências dos participantes.

Outra vertente promissora é a investigação dos efeitos da imersão em tarefas colaborativas com distintos níveis de complexidade e interdependência, bem como a análise de dinâmicas de grupo em ambientes que simulem contextos reais de trabalho ou resolução de problemas. Além disso, estudos longitudinais poderiam examinar os efeitos da exposição prolongada a ambientes imersivos sobre a motivação, o desempenho acadêmico e o desenvolvimento de competências socioemocionais. Também é pertinente investigar, em estudos futuros, como características individuais — como o domínio prévio do conteúdo — influenciam a percepção das demandas cognitivas em ambientes imersivos.

Por fim, sugere-se o desenvolvimento e a avaliação de diretrizes pedagógicas para o uso consciente e eficaz de ambientes imersivos em contextos educacionais formais, com foco em aspectos como acessibilidade, inclusão, usabilidade e impacto educacional. Essas diretrizes podem apoiar pesquisadores e demais profissionais de apoio pedagógico na adoção de tecnologias imersivas de forma ética, eficiente e orientada para resultados educacionais relevantes.

REFERÊNCIAS

ALLAM, Z.; SHARIFI, A.; BIBRI, S.; JONES, D.; KROGSTIE, J. The metaverse as a virtual form of smart cities: Opportunities and challenges for environmental, economic, and social sustainability in urban futures. *Smart Cities*, v. 5, n. 3, p. 771-801, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-6511/5/3/40>.

BARBOSA, S. D. J.; SILVA, B. D.; SILVEIRA, M. S.; GASPARINI, I.; DARIN, T.; BARBOSA, G. D. J. Interação humano-computador e experiência do usuário. s.l.: s.n., 2021.

BIAN, S.; LIU, X.; ZHAO, H.; GONG, X.; JING, S. An Immersive Learning System with Multimodal Cognitive Processes Inference. In 2022 China Automation Congress (CAC). IEEE, 2022. p. 6633-6637. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10055676/?casa_token=zx2SROFK7EEAAA A:8mzKbvLgln6PqhYNkr_Vh8unqmGllhR5zfP6t_-ddnQxxbNzZ-PTYI2zZntytbFLCLe9GRJbm2NcQEw.

BRITO, Samara da Silva; MEDEIROS, Francisco Petrônio Alencar de. Desafios e oportunidades do metaverso na Educação: uma análise das funções cognitivas e implicações pedagógicas. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa*, 2024. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/8432/2556>. Acesso em: 19 jun 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/2447-9187a2024id8432>.

BRITO, Samara da Silva; MEDEIROS, Francisco Petrônio Alencar de. Benchmark para a análise de ambientes imersivos de aprendizagem colaborativa. *Informática na educação: teoria & prática*, Porto Alegre, v. 28, n. 1, 2025. DOI: 10.22491/1982-1654.144415. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/144415>.

CABERO-ALMENARA, J.; LLORENTE-CEJUDO, C.; MARTÍN-PÁRRAGA, L. . Carga cognitiva y realidad mixta (aumentada y virtual). *Hachetetepé. Revista científica de educación y comunicación*, n. 27, p. 1-15, 2023.

CARDOSO, M. D. S.; GONTIJO, L. A. Evaluation of mental workload and performance measurement: NASA TLX and SWAT. *Gestão & Produção*, 873-884, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/ppRJbfzrVVYzLPNRqnZhMv/abstract/?lang=en>.

CARNEVALE, A.; MANNOCCHI, I.; SASSI, M.S.H.; CARLI, M.; DE LUCA, G.; LONGO, U.G.; DENARO, V.; SCHENA, E. Virtual Reality for Shoulder Rehabilitation: Accuracy Evaluation of Oculus Quest 2. *Sensors*. 2022; Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22155511>.

CASTORINA, J. A.; FERREIRO, E.; LERNER, D.; OLIVEIRA, M. K. DE. O Debate Piaget-Vygotsky: a busca de um sorteio para sua avaliação: Piaget-Vygotsky: novas contribuições para o debate. São Paulo. Ed Ática, 2002.

CERASA, A.; GAGGIOLI, A.; MARINO, F.; RIVA, G.; PIOGGIA, G. The promise of the metaverse in mental health: the new era of MEDverse. *Heliyon*, e11762, 2022. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(22\)03050-X.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(22)03050-X.pdf).

ÇELİK, F.; BATURAY, M. H. The effect of metaverse on L2 vocabulary learning, retention, student engagement, presence, and community feeling. *BMC psychology*, 12(1), 1-17, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40359-024-01549-4>.

CHEN, H. J. Gather in the metaverse: Learning outcomes, virtual presence, and perceptions of high-and low-achieving pre-service teachers of English as a Foreign Language. *Education and Information Technologies*, 1-29, 2023. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-12135-3&casa_token=u-TOfhfuk6kAAAAA:Nq7wxjJi6n5UliURnDxXTjG1fHxp7Idx18z2z5GFpyYxD2w0KjtSej-YHFVm8V_nQvGZnBjAoLZ3_LFguac.

DAŞDEMİR, Y. Cognitive investigation on the effect of augmented reality-based reading on emotion classification performance: A new dataset. *Biomedical Signal Processing and Control*, 78, 103942, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809422004414?casa_token=cFTBXh3Kp3gAAAAA:ZT1idIy2BTGPBmtO141wPysFbGIqgc2mjG-I_v2u3BEcwEcaLjfaghQEyPVOGwgvLar7vjjUxV1N.

DAY, R. R. *Percepção humana*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1972.

DINCELLI, E.; YAYLA, A. Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid-narrative review based on the technology affordance perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 31(2), 101717, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963868722000130?casa_token=tRDxyowH9owAAAAA:JkFcfCuUH49LVkpWSZQ3fq7sUSTopRTaL2sF23IrqqkH420O1r_pK-Qv8btmrlido2W8-fvgcU4eA.

DOLCOS, F.; KATSUMI, Y.; MOORE, M.; BERGGREN, N.; DE GELDER, B.; DERAKSHAN, N.; HAMM, A.; KOSTER, E.; LADOUCEUR, C.; OKON-SINGER, H.; PEGNA, A.; RICHTER, T.; SCHWEIZER, S.; STOCK, J.; VENTURA-BORT, C.; WEYMAR, M.; DOLCOS, S. Neural correlates of emotion-attention interactions: From perception, learning, and memory to social cognition, individual differences, and training interventions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 108, p. 559-601, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.08.017>.

DOURISH, P. Where the action is: the foundations of embodied interaction. MIT press, 2001. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=DCIy2zxrCqcC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Where+the+action+is:+the+foundations+of+embodied+interaction.&ots=oHY5e8g-Um&sig=Ka5YmUwNhtCdjxpUxDatK7hEloI>.

ENDO, A.; ROQUE, M. Atenção, memória e percepção: uma análise conceitual da Neuropsicologia aplicada à propaganda e sua influência no comportamento do consumidor. *Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação*, v. 40, p. 77-96, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-5844201715>.

FERDOUSI, R.; FAISAL, M.; LAAMARTI, F.; YANG, C.; EL SADDIK, A. Exploring User Perceptions of Virtual Reality Scene Design in Metaverse Learning Environments. In 2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (pp. 1-6). IEEE, 2024. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10444490/?casa_token=X6RFpaDpTwcAAAAA:SLHrhB4AfvXxYKacHwFCH808Q3Fe9axqkmYu2npgbUYXmrW3P98J4kiF207BmJdcPF4V7JVaKVgO18U.

GARCIA, M.; ADAO, R.; PEMPINA, E.; QUEJADO, C.; MARANAN, C. MILES Virtual World: A Three-Dimensional Avatar-Driven Metaverse Inspired Digital School Environment for FEU Group of Schools. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Education and Multimedia Technology*. 2023. p. 23-29, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3625704.3625729>.

GARRET, H. *Psicologia*. Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro. 1961.

GARRISON, D. R.; ANDERSON, T.; ARCHER, W. Critical inquiry in a text-based environment. *Computer conferencing in higher education. The Internet and Higher Education* 2 (2-3): 1-19, 2000. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1907485&CFID=102260666&CFTOKEN=86353399>.

HAN, Z.; TU, Y.; HUANG, C. A framework for Constructing a technology-enhanced education metaverse: Learner engagement with human-machine collaboration. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10070852/?casa_token=Dc6AsJvmMskAAAAA:4ZTfAMYV_UqHX15Lgt_9QnHzWPCi8J4BMDny4yvk8dYosXW7GTNQVXdnF9_3bpaVe4LDH-NFe_vnTag.

HUTSON, J. Social virtual reality: Neurodivergence and inclusivity in the metaverse. *Societies*, 12 (4): 102, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4698/12/4/102>.

HWANG, Y. When makers meet the metaverse: Effects of creating NFT metaverse exhibition in maker education. *Computers & Education*, 194, 104693, 2023. Disponível em:

- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131522002640?casa_token=f5J8xTtU4F8AAAAA:d9ZJV5Uj3i7BgJE3oR30JRaUWex57O_sa89u7cpvCFGAhFHdOFm_V5N2mjURTNhQr9J0gySsXgo.
- HWANG, G. J.; TU, Y. F.; CHU, H. C. Conceptions of the metaverse in higher education: A draw-a-picture analysis and surveys to investigate the perceptions of students with different motivation levels. *Computers & Education*, 203, 104868, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131523001458?casa_token=goGOIyNY_RIAAAAA:7-MD_sIAWejs1zwLaze-gyE6hWwamBpi96liAskQYoMuYohjJEw4aGOiaMAflrQZFN6K3Ur0iREl.
- IQBAL, M. Z.; CAMPBELL, A. G. Metaverse as tech for good: Current progress and emerging opportunities. In: *Virtual Worlds*. MDPI, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2040019>.
- IRTELLI, F.; DURBANO, F. Quality of life and biopsychosocial paradigm: A narrative review of the concept and specific insights. *IntechOpen*, 2020.
- KIM, J. Developing an instrument to measure social presence in distance higher education. *British Journal of Educational Technology* 42 763-777, 2011. Disponível em: https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8535.2010.01107.x?casa_token=EOx_LzCX3KQAAAAA:Js7R088Vc-EHVzobFBGvIJdhgVqfuxgEgubKu8lNh0ZJz9R1V94SiU9RZbHo3kVyRaXakIytXLZV70hY.
- KOSCH, T., KAROLUS, J., ZAGERMANN, J., REITERER, H., SCHMIDT, A., & WOŹNIAK, P. W. (2023). A survey on measuring cognitive workload in human-computer interaction. *ACM Computing Surveys*, 55(13s), 1-39. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3582272>.
- LABORATÓRIO DE REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL - LARA. Disponível em: <https://www.ifpb.edu.br/polodeinovacao/laboratorios/lara>.
- LEE, B.; CORDEIL, M.; PROUZEAU, A.; JENNY, B.; DWYER, T. A design space for data visualisation transformations between 2d and 3d in mixed-reality environments. In: *Proceedings of the 2022 CHI conference on human factors in computing systems*. 2022. p. 1-14.
- LEE, H. J.; HWANG, Y. Technology-enhanced education through VR-making and metaverse-linking to foster teacher readiness and sustainable learning. *Sustainability*, v. 14, n. 8, 4786, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14084786>.
- LÓPEZ, G. A. M.; CHAUX, H. R.; ALVAREZ, F. A. C. The University in the Metaverse. Proposal of application scenarios and roadmap model. In *2022 Congreso de Tecnología*,

Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference) (pp. 1-9). IEEE, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9840630/?casa_token=DpqRMqMKRL8AAA:AA:LAO7fq65v43Yx8oMJgB1xnlzG6r9ZeLjPzGMD1N2RaDs0jhfdhrqwb2YmzbTibINPhIxW-P0kqd9Qes>.

MAKRANSKY, G.; KLINGENBERG, S. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non-WEIRD sample. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(4), 1127-1140, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jcal.12670>.

MEDEIROS, F. P. A. D. Uma abordagem de monitoramento abrangente das interações sociais em ambientes colaborativos virtuais de aprendizagem como suporte a presença docente. Tese de Doutorado. CIN-UFPE, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12259>.

MEJIA-PUIG, L.; CHANDRASEKERA, T. The virtual body in a design exercise: a conceptual framework for embodied cognition. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(5), 1861-1882, 2023.

MOORE, Michael G. Educação à distância: sistema de aprendizagem on-line. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

NASA, National aeronautics and space administration NASA. NASA Task Load Index (NASA-TLX). NASA Ames Research Califórnia, 1986. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20000021488/downloads/20000021488.pdf>.

NUNES, F.; HERPICH, F.; DO AMARAL, E.; VOSS, G.; ZUNGUZE, M.; MEDINA, R.; TAROUÇO, L. A dynamic approach for teaching algorithms: Integrating immersive environments and virtual learning environments. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 25, n. 5, p. 732-751, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cae.21833>. Acesso em: 24 mai. 2024.

PRABASWARI, A. D.; BASUMERDA, C.; UTOMO, B. W. The mental workload analysis of staff in study program of private educational organization. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2019. p. 012018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012018>.

RAUSCHNABEL, P. A.; FELIX, R.; HINSCH, C.; SHAHAB, H.; ALT, F. What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality. *Computers in human behavior*, 133, 107289, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756322200111X>.

RIGAS, I.; FRIEDMAN, L.; KOMOGORTSEV, O. Study of an extensive set of eye movement features: Extraction methods and statistical analysis. *Journal of Eye Movement Research*, v. 11, n. 1, 2018. Disponível em: https://bop.unibe.ch/JEMR/article/view/3795/Rigas_JEMR_2018_pdf.

RITTERBUSCH, Georg David; TEICHMANN, Malte Rolf. Defining the metaverse: A systematic literature review. *IEEE Access*, 2023.

SANTOS, Gildásio Mendes dos. *A realidade do virtual*. Ed. UCDB, 2001.

SHARP, H.; PREECE, J.; ROGERS, Y. *Interaction design beyond human-computer interaction*. Wiley, Fifth Edition, 2019.

VALVE CORPORATION. *Escape Simulator*. Available: https://shared.fastly.steamstatic.com/store_item_assets/steam/apps/1435790/413708a2da512607f70bb22b29270359586c6e5f/header.jpg.

VAN BRAKEL, V.; BARREDA-ÁNGELES, M.; HARTMANN, T. Feelings of presence and perceived social support in social virtual reality platforms. *Computers in Human Behavior*, 139, 107523, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563222003430>.

VIEIRA, Erberson Evangelista; MEDEIROS, Francisco Petrônio de A. Feasibility Analysis of an Immersive Network Laboratory as a Support Tool for Teaching Practices. *Journal on Interactive Systems*, Porto Alegre, RS, v. 16, n. 1, p. 236–255, 2025. Available: <https://doi.org/10.1109/VR55154.2023.00031>.

WEIDLICH, J.; YAU, J.; KREIJNS, K. Social presence and psychological distance: A construal level account for online distance learning. *Education and Information Technologies*, 29(1), 401-423, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-12289-0>.

WEISZ, T. *O diálogo entre o ensino e a aprendizagem. Um novo olhar sobre a aprendizagem*. São Paulo: Ática, 2006.

WOLFF, W. *Fundamentos de psicologia*. São Paulo. Editora Mestre Jou, 1967.

WONG, S. K.; VOLONTE, M.; LIU, K. Y.; EBRAHIMI, E.; BABU, S. V. Comparing Visual Attention with Leading and Following Virtual Agents in a Collaborative Perception-Action Task in VR. In *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 152-162). IEEE, 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10108414/?casa_token=qpWfUxg_n-YAAAAA:-50ny4xZZMKzoAo6FMomLModjrDGQpbeOvoBMgpDJXB02k7ttD-0xhSUTsUSsfWStL05XxFCfHPkmpA.

YUNG, R.; LE, T. H.; MOYLE, B.; ARCODIA, C. Towards a typology of virtual events. *Tourism Management*, 92, 104560, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517722000735>.

ZHANG, Y.; LUO, H.; LIU, Y.; CHENG, W. Is Metaverse Better than Video Conferencing in Promoting Social Presence and Learning Engagement?. In 2023 International Conference on Intelligent Education and Intelligent Research (IEIR) (pp. 1-5). IEEE, 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10391262/?casa_token=rMH5zAXwOzYAAA-AA:SfpfxMGbH-3JJTKkTo0SczG9TPsMHxnQkohcCI-5k_qPdpwWRat3desTzMC9-0gb5qZrxko554wRC3k.

ZHAO, Z.; ZHAO, B.; WAN, X. Research on personalized learning space in educational metaverse. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND EDUCATIONAL INFORMATIZATION (CSEI)*. 4., 2022, Taiyuan. **Proceedings [...]**. Taiyuan: IET, p. 245-248, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1049/icp.2022.1479>.

APÊNDICE

Apêndice 1

Desafios e oportunidades do metaverso na Educação: uma análise das funções cognitivas e implicações pedagógicas

Samara da Silva Brito ^{[1]*}, Francisco Petrônio Alencar de Medeiros ^[2]

^[1] brito.samara@academico.ifpb.edu.br, ^[2] petronio@ifpb.edu.br. Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa, Paraíba, Brasil

Autora correspondente

Resumo

A era da revolução tecnológica apresenta um cenário repleto de desafios e oportunidades em diversas esferas, com destaque para a educação, que tem se mostrado receptiva às inovações, incluindo o Metaverso. Fundamentado teoricamente como um ambiente virtual coletivo, imersivo e persistente na construção do conhecimento, o Metaverso é reconhecido por sua capacidade de estimular processos neuropsicológicos, como atenção, percepção e motivação, potencialmente enriquecendo o processo de ensino e aprendizagem. Este estudo, conduzido como um mapeamento sistemático ou revisão de escopo, visa investigar as funções cognitivas no contexto da aprendizagem no Metaverso, utilizando uma abordagem interdisciplinar baseada na Tecnologia e na Psicologia. A metodologia adotada abrange um estudo exploratório e descritivo, desde a definição das questões de pesquisa até a seleção criteriosa de fontes e a análise dos dados coletados. Os resultados obtidos revelam que os ambientes imersivos do Metaverso têm potencial para servir como poderosas ferramentas educacionais, capazes de promover a construção e o registro do conhecimento sob a mediação do docente, além de estimular aspectos cognitivos e sociais dos alunos. No entanto, surgem preocupações pertinentes em relação a possíveis sobrecargas cognitivas dos estudantes e questões éticas e de segurança, especialmente devido à exploração inicial desses ambientes na educação.

Palavras-chave: aprendizagem; cognição; educação; metaverso.

Challenges and opportunities of the metaverse in Education: an analysis of cognitive functions and pedagogical implications

Abstract

The era of technological revolution presents a scenario filled with challenges and opportunities in various spheres, particularly in education, which has shown itself receptive to innovations, including the Metaverse. Theoretically grounded as a collective, immersive, and persistently constructive virtual environment, the Metaverse is recognized for its ability to stimulate neuropsychological processes such as attention, perception, and motivation, potentially enriching the teaching and learning process. This study, designed as a systematic mapping or scoping review, aims to investigate cognitive functions in the context of learning in the Metaverse, employing an interdisciplinary approach based on Technology and Psychology. The methodology encompasses exploratory and descriptive studies, from defining research questions to carefully selecting sources and analyzing collected data. Findings reveal that immersive Metaverse environments have the potential to serve as powerful educational tools, capable of fostering knowledge construction and retention under teacher mediation, while also stimulating cognitive and social aspects of students. However, there are pertinent concerns regarding potential cognitive overload among students and ethical and safety issues, particularly due to the initial exploration of these environments in education.

Keywords: cognition; education; learning; metaverse.

1 Introdução

Por muito tempo, a instituição escolar se constituiu como o espaço privilegiado e único para a transmissão do conhecimento. Com a transição das sociedades industriais para as sociedades tecnológicas, a partir do século XX, os fluxos comerciais e informacionais se intensificaram (Morin, 2011). Contribuindo para essa evolução, a pandemia da COVID-19 precipitou uma urgência de imersão generalizada de crianças, jovens e adultos em ambientes virtuais de ensino, como resposta à política de distanciamento social da Organização Mundial da Saúde. Isso trouxe muitos desafios pedagógicos, já que, em um ambiente virtual, processos psicológico-educacionais como a atenção, a motivação e a interação sofrem modificações radicais. A utilização do Metaverso como recurso educacional pré-pandêmico já apontava para seu potencial inovador, mas, após a crise de saúde pública, esse conceito ganhou maior ênfase (Danylec *et al.*, 2022).

Segundo López, Chaux e Alvarez (2022), o termo "Metaverso" é a junção das palavras "meta", que significa virtual, e "verso", que se refere ao universo, correspondendo a um ambiente imersivo, coletivo e persistente, no qual o sujeito pode participar em tempo real da representação de um mundo virtual. Outra característica dessas plataformas é a conectividade e a interatividade, que viabilizam o compartilhamento de informações simultâneas com rapidez, facilidade e eficiência por meio de ferramentas de colaboração como bate-papo, transmissão de arquivos, ferramentas de trabalho colaborativo, entre outras (Ye; Wang, 2022). Moita e Pereira (2007) afirma que os ambientes imersivos colaborativos acentuam cognitivamente e socialmente os usuários, facilitando diálogos, compreensão e aprendizado. Ao discutir o processo de aprendizagem, este é compreendido pelo termo 'plasticidade cerebral', que são alterações funcionais e estruturais nas sinapses de acordo com a necessidade do organismo, estando intimamente ligada à memória. Memória e aprendizagem estão associados aos

processos neuropsicológicos como atenção, percepção, motivação, pensamentos e outros (Brandão, 2002).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma pesquisa exploratória sobre as funções cognitivas no processo de aprendizagem no Metaverso. Os objetivos específicos são mensurar a eficiência do Metaverso para a aprendizagem de acordo com as respostas das funções cognitivas, afetivas e individuais, além de contribuir para aprimorar as ferramentas tecnológicas para aprendizagem. Diante desse cenário em transformação, o presente mapeamento sistemático fez um recorte sobre o tema, focando nos aspectos cognitivos do sujeito mobilizados em situação virtual, de modo que se possam avaliar as potencialidades e limites do uso dos ambientes de Metaverso nos processos de aprendizagem, articulando os campos interdisciplinares da Tecnologia e Psicologia. Por fim, o presente mapeamento justifica-se por contribuir para o avanço do conhecimento sobre as possibilidades de uso dos ambientes virtuais, especificamente o Metaverso, no processo de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo, sintetizando o estado da arte e mapeando lacunas de pesquisas em um tema ainda recente.

Para proporcionar uma visão clara da estrutura deste artigo, detalhamos as seções principais: primeiramente, será apresentado o referencial teórico, onde foi revisada as principais teorias e estudos relacionados ao tema. Em seguida, foi descrito o método da pesquisa, detalhando a definição das questões de pesquisa, o processo de coleta dos estudos primários relevantes, bem como os critérios de exclusão e a triagem dos artigos selecionados. Posteriormente, foram discutidos os resultados obtidos e suas implicações no campo de estudo. O artigo foi concluído com as considerações finais, ressaltando as principais contribuições e limitações da pesquisa. Finalmente, foi apresentado os agradecimentos, informações sobre financiamento, possíveis conflitos de interesse e as referências bibliográficas.

2 Referencial teórico

O modelo de cientificidade e de produção de conhecimento sofreu mutações ao longo do tempo, dentro de um mundo globalizado e interconectado, onde processos disciplinares segmentados foram rapidamente substituídos por processos complexos, de interdependência entre as partes e de integração de múltiplos saberes (Morin, 2011). Atualmente, vivemos em uma sociedade informacional baseada no poder da informação (Roszak, 1988, *apud* Moita; Pereira, 2007), saindo de um processo meramente de reprodução para um processo de constante construção.

Do ponto de vista da produção e transmissão de conhecimentos, Wang (2022) discorre sobre três tradições históricas que marcam a modernidade: a primeira tradição corresponde ao empirismo do conhecimento em uma relação linear; a segunda consiste em treinamento com base em estímulo-resposta; e a terceira tradição é postulada a partir do construtivismo, para o qual o sujeito pratica a autoexploração, permitindo expressar-se, criar e expor sentimentos apoiados na percepção e interpretação pessoal. Além dessas, existe o modelo cognitivo que não traz uma visão aprofundada da mente no que diz respeito às emoções e acaba apresentando uma visão restrita do pensamento e do aprendizado, permitindo ao sujeito monitorar e autorregular seus processos cognitivos (Goleman, 1995). Draxler *et al.* (2022) compararam processos metacognitivos e de aprendizagem mecânica no contexto educacional, concluindo que os alunos que utilizam a metacognição (monitoramento e autorregulação

dos processos cognitivos) tiveram melhores resultados comparados aos que empregam a aprendizagem mecânica (metodologia na qual o professor ministra determinado conhecimento ao aluno e este absorve o conteúdo de forma passiva).

Com os avanços tecnológicos recentes, a temática Metaverso vem ganhando visibilidade junto à população em geral, que, mesmo sem conhecimento especializado, se vê imersa nessas novas maneiras de funcionar cognitivamente, agir e interagir socialmente. Na atualidade, é fundamental explorar recursos tecnológicos que capacitam os aprendizes a construir seu conhecimento diante da vasta informação disponível, sendo as tecnologias imersivas uma opção para tornar a educação mais dinâmica e criativa (Moita; Pereira, 2007). O termo "Metaverso" é a junção das palavras "meta", que significa virtual, e "verso", que se refere ao universo. A imersão consiste no sujeito poder vivenciar um mundo virtual, geralmente através da criação de avatares que podem representar o alter ego (um segundo 'eu') dos usuários e mergulhar completamente em uma simulação de mundo real, usando gráficos 3D ou imagens em 360°. O Metaverso é um ambiente imersivo, coletivo e persistente, no qual o sujeito pode participar em tempo real da representação de um mundo virtual (López; Chau; Alvarez, 2022), cada vez mais sofisticado, conforme se verifica um expressivo aumento nos investimentos em tecnologias hápticas para acentuar as sensações táteis de variações dinâmicas de pressão, forças de cisalhamento e temperatura (Calabrò *et al.*, 2022). Assim, o ambiente imersivo constitui um espaço de emulação do mundo real que causa uma sensação ilusória de lugar e realidade por meio da exposição a estímulos, artefatos, avatares, arquitetura, infraestrutura e regras (Uspensky; Guga, 2022)

A conectividade e a interatividade no Metaverso viabilizam que todas as pessoas do mundo compartilhem informações simultaneamente com rapidez, facilidade e eficiência, utilizando-se de ferramentas de colaboração como bate-papo, compartilhamento de arquivos, ferramentas de trabalho colaborativo e outras (Ye; Wang, 2022). O emprego do Metaverso em ambientes de ensino, considerando processos pedagógicos de aprendizagem, constitui um dos âmbitos mais desafiadores e promissores para a sociedade tecnológica atual. López, Chau e Alvarez (2022) defendem o Metaverso como um ambiente propício para a aprendizagem, por conseguir simular ambientes de risco e/ou custo elevado, reproduzir espaços referentes ao passado ou ao futuro e trabalhar habilidades como pensamento estratégico e holístico, auxiliando na resolução de problemas e treinamento de habilidades vivenciadas no mundo real. Moita e Pereira (2007) afirmam que “é possível, através do processo colaborativo, a criação de ambientes de imersão cognitiva e social, a partir das quais se desenham as redes que ligam pessoas e ideias, formas de dialogar, compreender e aprender em um suporte digital”.

Os processos cognitivos nos ambientes do Metaverso têm despertado reflexões entre teóricos, e, neste contexto, serão apresentados alguns trabalhos relevantes sobre o tema. Yang e Gu (2022) observaram que o modelo de ensino a distância no Metaverso pode aumentar a capacidade cognitiva e melhorar o processo de aprendizagem, por acentuar a autonomia do com relação à organização de horários e conteúdos para estudo, promovendo maior retenção de informações e criatividade. Cerasa *et al.* (2022), por outro lado, relacionam o Metaverso com o cérebro à luz da neurociência, pois ambos simulam previamente eventos sensoriais; ou seja, enquanto o cérebro interpreta anteriormente as vivências reais, o Metaverso expõe imagens como se fosse o mundo real e ‘confunde’ o cérebro, que as interpreta do mesmo modo que uma experiência real, afirmando que os avatares são processados no cérebro como pessoas. Já Penny *apud* Uspensky e Guga (2022) denota que a compreensão do mundo e

a exploração do mundo são partes de um mesmo processo, pois a interação dinâmica entre cérebro, corpo e mundo faz com que haja uma inter-relação entre inteligência, pensamento, percepção e cognição.

Ao adentrar na temática do Metaverso e buscar compreender o processo de aquisição de conhecimento, sabe-se que a atividade humana é seletiva e direcionada, partindo dos interesses, intenções ou tarefas imediatas. A aprendizagem é melhor compreendida pelo termo ‘plasticidade cerebral’, que são alterações funcionais e estruturais nas sinapses de acordo com a necessidade do organismo, portanto, estando intimamente ligada à memória, pois os três fatores que permeiam esse processo são a aquisição, o armazenamento (retenção) e a evocação das informações (Brandão, 2002). Afirma-se que, pelo circuito de Papez, a memória de longo prazo estaria vinculada ao sistema límbico e, sendo assim, remeteria aos processos emocionais (Brandão, 2002). Para Kress (2010 apud Lee e Hwang, 2022), a memória está relacionada com os sentidos humanos, como visão, audição, linguagem, gestos e/ou espaço para a aquisição e manutenção de conhecimento. Lee e Hwang (2022) destacam que a tecnologia digital tem se tornado uma ferramenta importante para a criação de ambientes de aprendizagem, os quais proporcionam múltiplas oportunidades de estímulo aos sentidos e, conseqüentemente, uma maior fixação do conteúdo na memória.

Um detalhe importante é que a memória e a aprendizagem estão associadas aos processos neuropsicológicos como atenção, percepção, motivação, pensamentos e outros. Algumas das principais funções cognitivas visando uma maior compreensão sobre o tema são abordadas a partir daqui. Inicia-se pela atenção, que é uma função que seleciona e direciona os processos mentais organizados, respondendo apenas aos estímulos que despertem interesse, intenções ou tarefas imediatas. Sendo assim, esse processo de atenção seletiva é ativo e corresponde a componentes de alerta, de concentração, de seleção, de perscrutação e de exploração. Alguns autores afirmam que a respiração e a frequência cardíaca também podem ser consideradas alterações de estado de atenção seletiva (Brandão, 2002). Dessa forma, conforme Kandel (2009 apud Endo & Roque, 2017), a atenção atua como um “filtro” que seleciona estímulos para processamentos adicionais e já a percepção consiste no processo de seleção, organização e interpretação de estímulos, transformando-os em uma imagem coerente e significativa (Lamb, Hair e McDaniel, 2012 apud Endo & Roque, 2017). Lee e Hwang (2022) acrescentam que o aprendizado de forma virtual auxilia a sustentação da atenção, tornando a aquisição de conhecimento mais emocionante e divertida.

No estudo da motivação, entende-se que essa é uma energia interna do sujeito que conduz sua conduta em prol de adquirir algo do seu desejo, seja algo abstrato ou não. Embora a motivação não seja diretamente observável, pode-se inferir que ela tem implicações diretas no processo de aprendizagem do sujeito, impulsionando-o à busca do conhecimento e mantendo-o nessa ação. Nesse sentido, o professor é responsável por desenvolver estratégias que superem problemas motivacionais dos seus alunos, construindo crenças educacionais positivas e propiciando um ambiente de sala de aula prazeroso, para que o aluno ative seu sentimento de pertença, como, por exemplo, o aluno perceber que suas dúvidas e pedidos de ajuda são legitimados. Além disso, o professor também promove motivação sendo um modelo de pessoa motivada, tendo papel fundamental para potencializar o processo de ensino-aprendizagem (Lourenço; Paiva, 2022).

Diversas teorias têm sido propostas para estudar a motivação e suas implicações na educação. Heider (1970 *apud* Lourenço & Paiva, 2022.) desenvolveu a Teoria de Atribuição da Causalidade, que procura explicar o comportamento humano e os eventos da vida. As teorias cognitivas atuais da motivação consideram importante o estudo das crenças, valores e emoções dos indivíduos (Martini; Boruchovitch, 2004 *apud* Lourenço; Paiva, 2022). A Teoria da Autodeterminação, de Deci e Ryan (1985, 2002), sugere que a motivação pode ser intrínseca (inata e instintiva) ou extrínseca (recompensas externas) (Lourenço & Paiva, 2022). A Teoria da Excitação ou Ativação afirma que tanto altos níveis quanto baixos níveis de excitação são desagradáveis e podem afetar as tarefas cognitivas e motoras, podendo causar excesso de carga cognitiva ou tédio, respeitando a singularidade de cada um (Hockenbury; Hockenbury, 2003). Por fim, a motivação hedônica é caracterizada pelo sentimento de felicidade, como, por exemplo, quando se conhece e se utiliza uma nova tecnologia (Yang; Ren; Gu, 2022).

Nos contextos educacionais, é responsabilidade do professor desenvolver estratégias para superar problemas motivacionais dos alunos, construindo crenças educacionais positivas e propiciando um ambiente de sala de aula prazeroso, para que os alunos ativem seu sentimento de pertencimento. Além disso, o professor pode ser um modelo de pessoa motivada, desempenhando um papel fundamental para potencializar o processo de ensino-aprendizagem (Lourenço; Paiva, 2022).

A percepção é considerada a capacidade cognitiva responsável pela identificação e reconhecimento de estímulos. A reação de orientação espacial por meio da visão e movimentação da cabeça é a primeira resposta à percepção, ativando a sensação da presença de um objeto e, por fim, a percepção que o identifica e o conecta a representações abstratas armazenadas na memória. A atenção voluntária difere do estado de alerta, que tem caráter direcional e seletivo (Brandão, 2002). Makransky e Klingenberg (2022) afirmam que a realidade virtual (RV) imersiva proporciona um alto nível de fidelidade psicológica, permitindo que o usuário crie a percepção de estar fisicamente no espaço virtual e receba *feedback* imediato, sem restrições de tempo e/ou localização, transcendendo a maiores níveis de prazer e motivação intrínseca. Um aspecto relevante, segundo Zallio e Clarkson (2022), é o cuidado em assegurar a segurança mental e cognitiva, pois o ruído excessivo, a informação avassaladora, o assédio comportamental, verbal ou visual podem originar emoções como fadiga, depressão ou constrangimento, levando a uma perda de autoconfiança ou mesmo a consequências de maior impacto para o usuário.

No entanto, os períodos prolongados de concentração ininterrupta podem levar à fadiga cognitiva, diminuindo a capacidade de percepção e dificultando o processamento de informações. Dessa maneira, o projetista instrucional – seja a pessoa técnica ou o próprio professor –, tem o papel crucial de desenvolver ambientes e atividades que possam ser realizados pelos discentes sem que haja perda significativa nas suas funções cognitivas e sem que os recursos tecnológicos desconsiderem o comportamento humano, resultando assim em um sistema que funcione de forma eficiente e minimize falhas e ruídos na execução das tarefas (Ye; Wang, 2022).

O foco principal da imersão em ambientes de RV, aumentada ou mista na educação não é apenas proporcionar o sentimento de presença, mas também criar um espaço favorável para interações entre docentes e discentes, como afirmam Yang, Ren e Gu (2022), corroborando o entendimento sociológico de Durkheim (1975) de que a educação é um processo de socialização que pode variar de acordo com o

tempo e o meio. Kruppa (1994) caracterizou o processo educativo como uma modificação constante entre os indivíduos, sendo ambos, o aprendiz e o educador, agentes no processo de interação social. Voltando ao tema das interações virtuais, Owens *et al.* (2011) destacaram que os "metaversos" favorecem experiências sociais e interativas que estão em constante construção e tentam suprimir a percepção de separação física, usando a metáfora do mundo real, de modo que a interação social tanto influencia como é influenciada pela tecnologia.

Os efeitos cognitivos e socioafetivos com o uso de RV foram reconhecidos por Lee e Hwang (2022), que verificaram que o uso no Metaverso auxilia na retenção de informações e favorece o desempenho acadêmico, com um crescimento de 30% em média quando comparado aos métodos tradicionais (Uspensky; Guga, 2022). Zallio e Clarkson (2022) estimam que 25% da população usará o Metaverso pelo menos uma hora por dia, e Gartner (2021) *apud* Shin (2022) prevê que 30% da população adotará o Metaverso até 2027 para diversos fins, como trabalho, entretenimento, educação e interação social. Portanto, enquanto a educação digital disponibiliza o conteúdo de forma unidirecional, o Metaverso extrapola esse conceito e transforma a educação em multidimensional com interações e conexão social (Lee; Hwang, 2022).

Considerando-se que o entendimento atual acerca da produção de conhecimentos reconhece a presença de múltiplos aspectos constituintes, incluindo os aspectos neuropsicológicos associados, como atenção, percepção, motivação, pensamentos e outros, conforme descrito por Brandão (2002), a relação entre o sujeito conhecedor e os objetos do conhecimento, tais como a realidade física e o mundo social, é fundamental. Nesse sentido, a inclusão de recursos de ambientes virtuais, como o Metaverso, torna-se essencial para atualizar esse campo plural. Oliveira e Silva (2021) afirmam que é mais motivador e interativo avaliar características não observáveis, como as funções cognitivas, utilizando-se de um procedimento não tradicional como a informática, pois isso coloca o indivíduo como agente ativo do processo. Já Santana *et al.* (2015) pontuam a RV como técnica capaz de exercitar as áreas cerebrais referentes à atenção, concentração, percepção visual, orientação espacial, memorização, organização, criatividade, sequência lógica e aprendizagem. Indicações assim são promissoras, mas ainda vêm acompanhadas de inúmeras incertezas, o que torna pertinente este estudo para que se possam tirar inferências mais fundamentadas e contextualizadas sobre o uso da RV e do Metaverso para a educação.

3 Método da pesquisa

O estudo proposto é um mapeamento sistemático ou revisão de escopo, conduzido como um estudo exploratório e descritivo sobre o tema (Moher; Shekelle, 2015). De acordo com Arksey e O'Malley (2005), o mapeamento permite analisar a extensão, o alcance e a natureza dos fenômenos da questão abordada, identificar lacunas no estado da arte e verificar se há necessidade de realizar uma revisão sistemática. O planejamento do mapeamento inclui a definição do protocolo de pesquisa, com foco na direção do estudo e permitindo a replicação por outros pesquisadores. Travassos (2007) sugere que o planejamento do mapeamento deve incluir a definição dos objetivos, questões de pesquisa, *strings* de busca, métodos de execução e análise dos dados, seleção de mecanismos de busca e seleção de estudos. O mapeamento foi detalhado com base nas orientações de Petersen *et al.* (2008), abordando a

definição das questões de pesquisa, coleta de estudos primários relevantes, critérios de exclusão e triagem dos artigos selecionados, extração das respostas das questões de pesquisa de cada texto selecionado e discussão dos dados.

Após a coleta de dados relevantes, utilizou-se o método de análise de conteúdo para tratar e analisar as informações dos artigos selecionados como em Chizzotti (2001) *apud* Silva (2015). Adotou-se o método de abordagem indutivo para observar e relacionar eventos a fim de inferir uma verdade geral a partir da generalização entre fenômenos e fatos semelhantes, em conjunto com o Método de Comparações Constantes, que auxilia na categorização das informações, atribuindo códigos aos trechos dos textos (Jacinto, 2010).

3.1 Definição das questões de pesquisa

Tradicionalmente, o estudo dos processos de produção de conhecimento era de responsabilidade da epistemologia, um ramo da filosofia que investiga as condições universais e naturais que conectam um sujeito a um objeto a ser conhecido. No entanto, com as rápidas transformações do século XX, esse modelo entrou em crise, abrindo caminho para o surgimento da Sociologia do Conhecimento, que considera o pensar, investigar, conhecer, aprender e ensinar como processos sociais e históricos de produção cultural de significados (Berger; Luckmann, 1985). Giddens (1991) argumenta que a velocidade característica da modernidade implica que novos processos devam ser avaliados reflexivamente, à medida que emergem em cada configuração. Isso parece ser verdadeiro no caso do Metaverso, que não pode ser avaliado pelos conhecimentos tradicionalmente acumulados no campo da educação. Em vez disso, é necessário investigá-lo no contexto atual, com outras ferramentas.

Para mapear todo o conhecimento recente sobre as funções cognitivas na aprendizagem no Metaverso, foi crucial restringir o escopo do estudo e examinar cuidadosamente os artigos para obter respostas precisas para as seguintes questões: 1) Qual é o objetivo principal dos trabalhos?; 2) Quais áreas do conhecimento são abordadas no processo de ensino e aprendizagem nos trabalhos analisados?; 3) Quais plataformas são mais utilizadas e quais delas trazem recursos específicos para o processo de aprendizagem?; 4) Quais funções cognitivas são abordadas no processo de ensino e aprendizagem no Metaverso?; 5) Quais métodos de pesquisa são abordados nos trabalhos analisados?; e, por fim, 6) Quais são as limitações ou dificuldades encontradas nos trabalhos analisados? Para tanto, realizou-se uma coleta minuciosa dos artigos científicos mais relevantes em relação a estas questões.

3.2 Coleta de estudos primários relevantes

A coleta de estudos primários iniciou-se a partir de uma demanda de pesquisa e, em seguida, pela definição dos mecanismos de busca. Devido à temática e segurança das bases, as pesquisas foram realizadas nos indexadores IEEE, Scopus, ACM, Science Direct e Wiley, a partir da string de busca: “*metaverse*” AND “*learning*” OR “*education*” OR “*teaching*” AND “*cognitive*” OR “*cognition*” OR

“*brainsciences*”, visando contemplar os três principais conceitos do estudo. A busca nos mecanismos retornou 277 artigos.

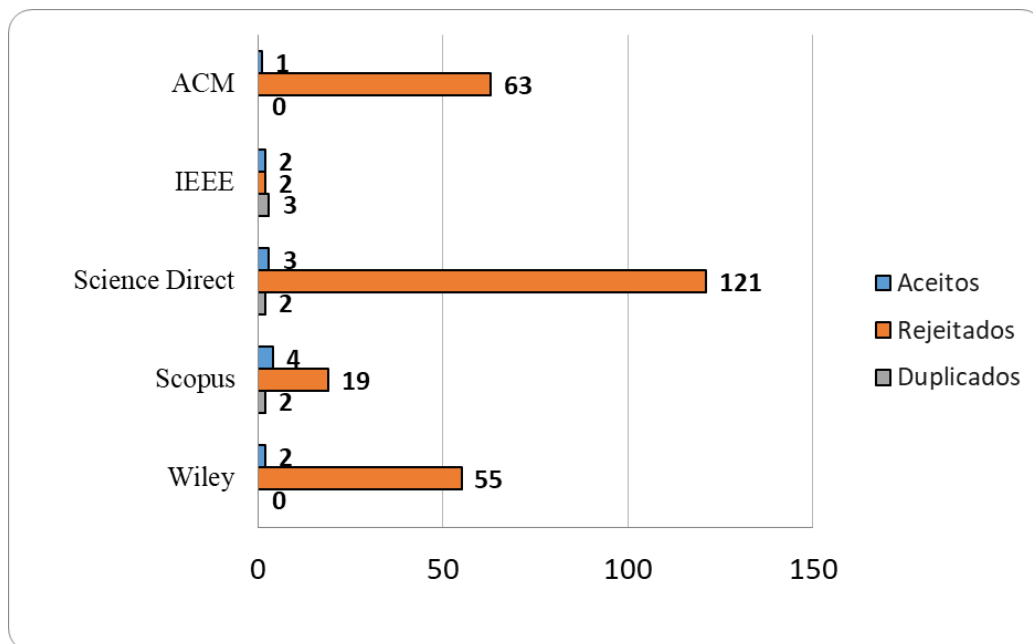
A ferramenta de gestão utilizada foi o Parsifal para facilitar a realização do mapeamento sistemático, visto que detecta automaticamente os artigos duplicados e gerencia o processo de seleção (Dermeval; Coelho; Bittencourt, 2020).

3.3 Critérios de exclusão e triagem dos artigos selecionados

A seleção dos estudos primários baseou-se nos seguintes critérios de exclusão: 1) Artigos incompletos (excluindo *abstracts*, apresentações, editoriais, etc.); 2) Artigos não escritos em inglês ou português; 3) Artigos fora do período de 2011 a 2023; 4) Artigos sem acesso à versão completa pelo portal de periódicos da CAPES; 5) Artigos não diretamente relacionados com a temática de investigação das funções cognitivas no processo de aprendizagem no Metaverso.

Na primeira etapa do mapeamento sistemático, os títulos, resumos e palavras-chave dos 277 artigos foram lidos e analisados, resultando em 12 estudos que passaram nos critérios de exclusão para a etapa de leitura integral dos artigos, visando responder às questões de pesquisa. Como resultado final, a Figura 1 apresenta a quantidade de artigos buscados nos mecanismos de busca e a quantidade de artigos incluídos com base nos critérios de exclusão.

Figura 1 – Artigos aceitos, rejeitados e duplicados no mapeamento sistemático sobre as funções cognitivas no processo de aprendizagem no Metaverso



Fonte: dados da pesquisa

Na segunda etapa do mapeamento sistemático, os 12 artigos incluídos foram lidos na íntegra para responder às questões de pesquisa, cuja discussão é apresentada na seção 4 deste trabalho.

4 Resultados e discussão dos dados

À medida que as sociedades se tornam cada vez mais multifacetadas e plurais, é essencial repensar o papel da educação. A ciência pedagógica tem evoluído significativamente ao longo dos anos, beneficiando-se das contribuições de diversos campos, como a sociologia, a psicologia, as neurociências e a informática. As mudanças na forma de educar e transmitir conhecimento estão ocorrendo em ritmo acelerado, impulsionadas pelo avanço constante das tecnologias de computação e telecomunicações, que abrangem o universo virtual da Internet. A pandemia de Covid-19, um evento histórico imprevisto, também teve um impacto substancial no desenvolvimento de novas tecnologias educacionais, ao praticamente paralisar o mundo "real", mas encontrar nos meios "virtuais" uma alternativa para a continuidade, com ampla repercussão na educação. Embora o ensino à distância já existisse, sua importância e alcance foram amplificados pela pandemia, resultando em inovações tecnológicas e reflexões político-pedagógicas sobre o uso de ambientes virtuais na educação. O Metaverso na realidade virtual - recurso tecnológico imersivo, coletivo e persistente - pode ser considerado "real" à medida que pode ser experienciado de alguma forma, representando um novo mundo repleto de possibilidades, engendrando ambientes diversos e gerando situações e eventos que produzem efeitos.

Este mapeamento sistemático das produções científicas sobre as implicações dos processos cognitivos decorrentes do uso do ensino em ambiente de Metaverso revelou um crescimento substancial de estudos nesse campo interdisciplinar. Os resultados indicam que entre 2012 e 2020 apenas dois artigos foram publicados sobre a temática abordada. E, nos últimos três anos, de 2021 a 2024, o mapeamento incluiu dez estudos relevantes, confirmando um aumento no interesse em explorar recursos tecnológicos que contribuam para a educação, sincronamente com o início da pandemia da COVID-19 até os dias atuais, e reforçando o perfil do novo sujeito discente, mais informatizado e ativo em seu processo de aprendizagem. Além disso, a temática do Metaverso ganhou destaque com investimentos significativos e prioritários de grandes empresas de tecnologia, como o Facebook, que passou a se chamar Meta.

A seguir, são apresentadas as respostas para a primeira questão de pesquisa, relacionada aos objetivos dos artigos selecionados. Todos os estudos visavam mensurar o processo de aprendizagem no Metaverso. Os objetivos gerais e específicos foram categorizados em duas áreas: avaliação da aprendizagem no Metaverso, considerando ou não aspectos cognitivos específicos, e/ou estudo/treinamento de conhecimentos em áreas determinadas. Por exemplo, Nunes *et al.* (2017) avaliaram a eficiência da solução Sloodle em integrar mundos virtuais à aprendizagem de ambientes virtuais. Hwang (2023) analisou as características do uso do Metaverso na educação maker e sua eficácia no processo de aprendizagem, mas sem aprofundamento nos aspectos cognitivos. Garcia *et al.* (2023) projetaram um ambiente para adaptar a aprendizagem às experiências do aluno, e Zhao, Zhao e Wan (2022) exploraram o impacto social do Metaverso em termos de inclusão, diversidade, equidade, acessibilidade e segurança.

Por outro lado, Pigultong (2022) focou em avaliar nuances entre grupos de alunos no uso de um Metaverso em um Ambiente Virtual de Aprendizagem e verificar a eficácia cognitiva dos participantes. De forma semelhante, Lo e Tsai (2022) proporcionaram um ambiente de realidade virtual (VRAM) para leitura de um livro ilustrado, visando uma experiência imersiva em educação sobre recursos hídricos e avaliando a experiência de fluxo, motivação de aprendizagem, interação, autoeficácia e presença. Zhang *et al.* (2023) compararam o processo de aprendizagem no Metaverso com o uso de videoconferências para verificar se o Metaverso proporciona maior qualidade de ensino online devido ao maior envolvimento e autenticidade contextual. A revisão sistemática de Dincelli e Yayla (2022) expôs e examinou as vantagens dos recursos tecnológicos imersivos e suas contribuições para a disciplina de sistemas de informação, podendo ser categorizada como um artigo de avaliação.

Além disso, Danylec *et al.* (2022) investigaram as condições de atenção e visualização que influenciam motoristas na condução de trens e propuseram treinamentos em ambiente de Metaverso para percepção de perigos reais. Quintana e Fernández (2015) focaram na intensificação da aprendizagem dos alunos na "Formação Inicial de Docentes" utilizando os Metaversos Second Life e OpenSim para o projeto TYMMI. Guo e Gao (2022) desenvolveram um mundo virtual para melhorar o processo de ensino e aprendizagem de inglês, avaliando índices fisiológicos dos participantes, incluindo o nível de ação do corpo, o nível de pensamento e de participação das emoções, atitudes e valores dos aprendizes. Franco *et al.* (2023) utilizaram jogos sérios digitais, a partir de recursos tecnológicos imersivos e gêmeos digitais, para integrar alunos e população em estudos sobre eficiência energética, focando na educação e na aquisição de conhecimento.

A segunda questão de pesquisa tratou das áreas de conhecimento abordadas pelos artigos incluídos no mapeamento. Observou-se que os estudos em plataformas imersivas cobriram áreas diversas como tecnologia, pedagogia, ciências naturais e línguas. Nunes *et al.* (2017) focaram na disciplina de algoritmos, visando minimizar ou erradicar a evasão escolar. Pigultong (2022) continuou estudos de tecnologia para a Educação à Distância (EaD) em um ambiente imersivo que facilitava a gestão colaborativa do aprendizado entre professores e alunos. Zhang *et al.* (2023) e Garcia *et al.* (2023) também abordaram a área tecnológica, com foco na educação para o grupo de escolas FEU (Far Eastern University) e em um programa de animação e desenvolvimento de jogos, respectivamente.

Estudos como os de Guo e Gao (2022) e Hwang (2023) abordaram o ensino de inglês em ambientes projetados para interação entre professores e alunos. Danylec *et al.* (2022) exploraram a segurança pública na indústria ferroviária, abordando melhorias em treinamentos de motoristas com o uso de recursos tecnológicos. Lo e Tsai (2022) projetaram o Metaverso VRAM para ensino sobre hidrologia e conservação de água e solo. Franco *et al.* (2023) focaram na gestão de energia, incluindo energias renováveis e redes inteligentes para sustentabilidade. Quintana e Fernández (2015) visaram melhorar práticas pedagógicas com recursos inovadores para futuros professores. Zhao, Zhao e Wan (2022) destacaram o Metaverso como um recurso para gestão de aprendizagem por meio de tutoria inteligente, conectando interessados. Dincelli e Yayla (2022) revelaram que a aplicação de recursos tecnológicos imersivos beneficia diversas áreas como educação, saúde, viagem, varejo, gestão, computação colaborativa e social, e estudos de interação humano-computador, incluindo funções humanas primárias de cognição, movimento físico, sentidos e emoções.

Em relação à terceira questão de pesquisa, os artigos que desenvolveram ou utilizaram plataformas imersivas existentes avaliaram a aprendizagem e disseminaram conhecimento aos alunos, mas não detalharam os recursos específicos utilizados. No entanto, consideraram que o ambiente imersivo proporciona maior experiência e colaboração entre os alunos, associando-se ao processo de aprendizagem. Além disso, alguns artigos enfatizaram que um planejamento adequado do ambiente imersivo pode evitar uma carga cognitiva excessiva e, assim, favorecer ainda mais o processo de ensino-aprendizagem.

A revisão sistemática de Dincelli e Yayla (2022) não mencionou plataformas específicas, enquanto Guo et al. (2022) associaram várias tecnologias digitais sem detalhar as plataformas. Nunes et al. (2017) integraram o ambiente Moodle com o Opensim Virtual World, e Pigultong (2022) adotou a plataforma space.oi dentro do Learning Management System. Zhao, Zhao e Wan (2022) propuseram uma tutoria inteligente na estrutura do Metaverso educacional (PLSEM). Hwang (2023) utilizou a plataforma Frame VR, compatível com dispositivos diversos. Franco et al. (2023) usaram o Smart Grid MR para pesquisa sobre gestão de energia. Zhang et al. (2023) adotaram o Metaverso Virbela e a ferramenta Tencent Meeting para videoconferências. Quintana e Fernández (2015) projetaram a ilha TYMMI com Second Life e OpenSim. Três artigos destacaram a construção de novas plataformas: Lo e Tsai (2022) com uma arquitetura de RV 3D (VRAM) com animações de objetos, vídeos e interação entre os usuários e o conteúdo; Danylec et al. (2022) com o Driver Training Framework para motoristas de trem, e Garcia et al. (2023) com o Miles Virtual World, incorporando *lifelogging* e mundos espelhados.

A quarta questão da pesquisa aborda as funções cognitivas e seus aspectos relacionados no contexto do processo de aprendizagem no Metaverso. Esta pesquisa sobre estudos primários indica que os processos cognitivos humanos são fundamentais para a articulação dos embates entre o real e o virtual, ou melhor, da "realidade do virtual", visto que o metaverso oferece amplas possibilidades de relações interpessoais entre professores e estudantes, bem como um campo expandido de alternativas de engajamento, favorecendo experiências enriquecedoras de aprendizado. Devido às várias semelhanças e algumas divergências nos estudos analisados, apresentaremos detalhes sobre cada artigo, seguidos por um quadro que esclarecerá as palavras-chave abordadas pelos pesquisadores: atenção, percepção, memória, concentração, melhoria cognitiva e motivação. Dos doze artigos incluídos, quatro focaram exclusivamente em aspectos específicos da cognição, enquanto os outros oito abordaram dois ou mais desses aspectos.

Nunes et al. (2017) descobriram que a RV imersiva mantém os alunos motivados e concentrados, com interface clara, controles simples e feedback instantâneo, resultando em maior atenção comparada ao ensino tradicional de algoritmos. Quintana e Fernández (2015) destacaram que as tecnologias de informação e comunicação são essenciais no ensino superior, promovendo aprendizado, interatividade e habilidades cognitivas, através do projeto imersivo TYMMI, que potencializa o reforço do conteúdo, criatividade, pensamento crítico e motivação dos alunos. Segundo Pigultong (2022), o estado de maior imersão impacta a cognição, intensificando o incremento cognitivo do sujeito. Danylec et al. (2022) exploraram diversas funções cognitivas, incluindo atenção sustentada, seletiva, dividida e alternada, avaliando a carga cognitiva e atenção através do movimento e dilatação

pupilar via rastreamento ocular, além de examinarem a percepção de risco associada ao tempo de reação em cenários específicos.

Lo e Tsai (2022) afirmaram que, durante o uso da aplicação, a percepção temporal foi alterada devido à experiência de fluxo – caracterizada por uma total imersão na atividade em execução, gerando uma sensação de distorção do tempo. Além disso, verificaram um aumento na cognição humana com a utilização do modelo de aprendizagem VR VRAM, além de uma elevação na motivação para a aprendizagem. Garcia et al. (2023) abordaram um dos aspectos fundamentais para o aprendizado, que é a motivação, a qual foi incentivada pela interação social ampliada, consolidando relações mais próximas e profundas. Os autores referem-se ao maior sucesso acadêmico decorrente da adoção do advento tecnológico do Metaverso, que, ao proporcionar um ambiente colaborativo, amplifica o senso de comunidade entre os usuários.

Os resultados apresentados por Zhao, Zhao e Wan (2022) demonstraram que, durante o estado de fluxo – caracterizado por participação ativa e total imersão no ambiente virtual –, ocorreram mudanças neurofisiológicas associadas a maior atenção, concentração, motivação, redução da carga cognitiva, aumento da capacidade de processamento de informações e aprendizagem, desde que o Metaverso esteja adequadamente projetado para fins educacionais. Hwang (2023) constatou um aumento na cognição criativa e na memória ao se adotar uma abordagem inovadora, mas observou que a tecnologia, por si só, não assegura a motivação para o aprendizado. A teoria da educação *maker* no Metaverso, contudo, revelou um aumento significativo nos índices de motivação devido ao estado de automotivação que incentivava os participantes a buscarem e construir conhecimento. Por sua vez, o estudo de Franco et al. (2023) focou exclusivamente na motivação. Ainda que não tenha sido observada uma motivação intrínseca – um desejo inicial do próprio sujeito –, houve uma redução significativa na desmotivação. Isso sugere que o ambiente imersivo colaborativo encoraja alunos e professores a produzir conhecimento com mais facilidade e engajamento.

O Quadro 1 resume as principais palavras-chave utilizadas pelos autores ao tratar das funções cognitivas no processo de aprendizagem no Metaverso.

Quadro 1 – Funções cognitivas abordadas nos artigos

Autores dos artigos selecionados	Melhora cognitiva	Atenção	Percepção	Memória	Motivação	Concentração
Danylec et al. (2022)	–	X	X	–	–	–
Dincelli et al. (2022)	X	X	X	–	X	–
Franco et al. (2023)	–	–	–	–	X	–
Garcia et al.(2023)	–	–	–	–	X	–
Guo e Gao (2022)	X	–	X	–	X	–
Hwang (2023)	X	–	–	X	X	–

Lo et al. (2022)	X	–	X	–	X	–
Nunes et al. (2017)	–	X	–	–	X	X
Pigultong (2022)	X	–	–	–	–	–
Quintana et al.(2015)	X	–	–	X	X	–
Zhang et al. (2023)	–	–	–	–	X	–
Zhao et al. (2022)	–	X	X	–	X	X

Fonte: dados da pesquisa

A quinta questão de pesquisa abordada neste mapeamento sistemático refere-se aos métodos de pesquisa utilizados pelos autores, incluindo o tipo de estudo, o ambiente do Metaverso empregado, as técnicas e as ferramentas para coleta e análise dos dados. Diversas ferramentas metodológicas, como questionários, diários de bordo, atividades neurológicas e corporais, têm convergido para a ideia da eficiência e eficácia do uso do Metaverso no processo de aprendizagem. Observou-se que os estudos selecionados não seguiram um caminho metodológico único, dada a abrangência da temática de aprendizagem no Metaverso. Destaca-se, entretanto, a metodologia de estudo comparativo entre grupo experimental e grupo controle, que permitiu uma análise mais rigorosa dos efeitos da aprendizagem no Metaverso. Adicionalmente, pesquisas que envolveram testes de conhecimento específicos revelaram-se particularmente relevantes, oferecendo detalhes sobre a eficácia das estratégias educacionais implementadas nesse ambiente virtual inovador.

Nunes et al. (2017) iniciaram a pesquisa com uma revisão teórica sobre o déficit de aprendizagem na disciplina de algoritmos. Em seguida, integraram os ambientes MOODLE e Opensim Virtual World para realizar um estudo de caso com 34 alunos. Utilizou-se um questionário e um estudo comparativo, aplicando o teste de Wald-Wolfowitz e ferramentas como IBM SPSS, teste de Shapiro-Wilk e Levene. Quintana e Fernández (2015) conduziram uma pesquisa quanti-qualitativa sobre o projeto TYMMI com 29 estudantes da Formação Inicial de Professores na Universidad Católica de la Santísima Concepción. Os participantes optaram entre os ambientes virtuais Second Life ou OpenSim. A avaliação empregou dois instrumentos: uma planilha de desempenho em sete domínios e uma pesquisa com respostas abertas sobre a percepção da prática docente, além do Diário de Bordo do aluno. Garcia et al. (2023) também conduziram um estudo quanti-qualitativo, focando em fatores relacionados à Teoria da Presença Social Corporificada com 52 participantes do programa de tecnologia da informação, analisando: corporificação, co-presença, agência, imersão e relacionamento social.

Pigultong (2022) investigou 105 alunos da Universidade Verde utilizando o Metaverso, acessado via Wi-Fi e Internet móvel 4G, integrado ao Learning Management System por meio da aplicação space.oi. Foram realizados pré-testes e pós-testes sobre conteúdos específicos, para coletar dados e analisar as pontuações e interpretações cognitivas dos grupos. Danylec et al. (2022) aplicaram um teste visual para criar perfis de 20 motoristas, seguido de um questionário e uma experiência de RV com rastreamento ocular para avaliar a percepção e consciência situacional. A experiência foi

complementada com uma maquete modular para obter respostas táteis, sendo realizada uma análise qualitativa sobre atenção e percepção visual de perigos, verificando o tempo de resposta e o nível de atenção aos estímulos. A plataforma HP Omnicept, combinada com o HP Reverb G2, foi utilizada para medir e monitorar movimentos oculares, direção do olhar, tamanho da pupila e pulso dos participantes.

Na pesquisa de Lo et al. (2022), um experimento foi conduzido com 44 estudantes de informática da Universidade de Ciência e Tecnologia em Taiwan. A criação do Metaverso VRAM baseou-se na teoria cognitiva de aprendizagem multimídia (CTML), respeitando os princípios de *design*: multimídia, contiguidade espacial e temporal, coerência, sinalização, segmentação, redundância, modalidade e voz. Inicialmente, os participantes responderam um pré-teste e um pós-teste sobre 15 vídeos 3D VR acerca da conservação de água e solo, para avaliar a experiência de fluxo, motivação de aprendizagem, interação de aprendizagem, autoeficácia e presença, além de interação com um gêmeo digital. Franco et al. (2023) usaram a metodologia da Rede Inteligente MR 2.0, baseada no jogo educativo Smart Grid MR, para estudar aprendizagem, motivação, ciber doença, imersão e presença com mestrandos da Université de Picardie Jules Verne, na França. O experimento foi filmado e os áudios, processados e categorizados.

Lo e Tsai (2022) conduziram um experimento com 44 estudantes de informática da Universidade de Ciência e Tecnologia em Taiwan. O Metaverso VRAM foi criado com base na teoria cognitiva de aprendizagem multimídia (CTML), respeitando os princípios de *design* multimídia, contiguidade espacial e temporal, coerência, sinalização, segmentação, redundância, modalidade e voz. Os participantes responderam pré-testes e pós-testes sobre 15 vídeos 3D VR relacionados à conservação de água e solo, avaliando a experiência de fluxo, motivação de aprendizagem, interação de aprendizagem, autoeficácia e presença, além da interação com um gêmeo digital. Franco et al. (2023) utilizaram a metodologia da Rede Inteligente MR 2.0, baseada no jogo educativo Smart Grid MR, para estudar aprendizagem, motivação, ciberdoença, imersão e presença com mestrandos da Université de Picardie Jules Verne, na França. O experimento foi filmado e os áudios processados e categorizados.

Dincelli e Yayla (2022) conduziram uma revisão sistemática com base em uma narrativa híbrida para descrever o estado da arte sobre a RV imersiva em HDM e fornecer um embasamento teórico para futuras indicações quanto ao tipo de pesquisa. Os autores revisaram 362 artigos sobre "realidade virtual" nos bancos de dados da Web of Science (WoS), AIS, eLibrary e sites de periódicos, no período de 1965 a 2021, selecionando 151 e categorizando-os em linhas de pesquisa como: indústria de RV imersiva (treinamento e educação, saúde, serviços e setores de varejo) e estudos sobre o efeito da realidade imersiva em indivíduos e grupos (gerenciamento e organização e interação humano-computador). A análise considerou a perspectiva de recursos tecnológicos, identificando os recursos de incorporação, navegabilidade, capacidade sensorial, interatividade e capacidade de criação. Para classificar os níveis de concordância dos resultados e avaliar a confiabilidade inter-examinador, foi utilizado o coeficiente kappa de Cohen, revelando um grau elevado de concordância.

Guo e Gao (2022) aplicaram uma metodologia que combinou redes neurais convolucionais (CNN) e recorrentes (RNN) para reconhecer emoções dos alunos a partir de exames de eletroencefalograma (EEG). O experimento, envolvendo 15 participantes, utilizou vídeos com emoções como paz, tristeza, medo e felicidade. Durante a imersão em cenários de ensino de inglês, os alunos realizaram exames de EEG em modelos de ensino sequencial, exploração abrangente e construção

colaborativa. Zhao, Zhao e Wan (2022) investigaram a aprendizagem imersiva através da estrutura educacional no Metaverso (PLSEM), que integra tecnologias como RV, 5G, inteligência artificial e computação em nuvem. O estudo ressaltou que a plataforma permite o monitoramento em 4K HD dos alunos, fornecendo *feedback* inteligente para avaliar e compreender suas reações ao conteúdo.

O estudo comparativo de Hwang (2023) envolveu 60 calouros do departamento de Língua e Cultura Inglesa da Faculdade de Humanidades da Coreia do Sul, sem conhecimento prévio em educação *maker*. Os estudantes foram divididos em dois grupos: um experimental, utilizando Metaverso Frame VR com produção em 3D e NFTs, e um grupo controle, que teve acesso a vídeos disponibilizados em um site. O professor atuou como facilitador e mediador, oferecendo *feedback* construtivo e intervenções conforme necessário. O estudo de Zhang et al. (2023) envolveu 28 estudantes da Universidade de Correios e Telecomunicações de Nanjing (China), segmentado em pré-teste, intervenção e pós-teste. Após a intervenção, foram aplicados dois questionários para avaliar aprendizagem e presença social. A análise dos dados foi realizada utilizando SPSS 25.0 e JASP, com um teste *t* de amostras pareadas e estimativa do tamanho do efeito utilizando o *d* de Cohen.

A última questão de pesquisa abordada refere-se às limitações e dificuldades técnicas observadas nos artigos analisados. Em resumo, os artigos destacaram diversas limitações e dificuldades técnicas, tais como problemas de conectividade, equipamentos inadequados e falta de habilidades tecnológicas. Adicionalmente, foram mencionados efeitos adversos à saúde dos usuários e a negligência em aspectos de privacidade e ética dos dados coletados. Outros problemas identificados incluíram limitações metodológicas, como a ausência de testes de conhecimento e a influência dos chamados "efeito novidade" e "efeito Rosenthal". O estado da arte também alerta para os riscos potencializados de sobrecarga mental dos estudantes. Uma das soluções propostas é o desenvolvimento de ambientes de aprendizado customizados, para adequar cada propósito educacional às possibilidades de metaversos disponíveis no mercado. Estudos mais aprofundados sobre o "*design* para ambientes imersivos de aprendizagem" são necessários para criar aplicações que atendam às necessidades do planejamento pedagógico e respeitem as limitações inerentes a cada ser humano quanto às suas habilidades, capacidades e respostas cognitivas. Por fim, o uso recente do Metaverso tem apresentado desafios para os estudantes. Uma introdução mal orientada pode resultar em resistência ao novo e desperdício de oportunidades de desenvolvimento. Cada estudante é singular e mobiliza processos cognitivos de maneira diferente, o que pode resultar em bloqueios ou na abertura de novas possibilidades e significados.

Dentre os artigos selecionados, as limitações e dificuldades encontradas por Quintana e Fernández (2015) foram que os participantes enfrentaram dificuldades técnicas relacionadas ao uso de áudio, chat, inacessibilidade de alguns vídeos, problemas de conectividade, navegadores e placas gráficas, além de uma carência em habilidades tecnológicas direcionadas à educação. Guo e Gao (2022) observaram que o grau de interação e imersão estagnou à medida que a novidade dos recursos tecnológicos diminuiu, indicando limitações no uso dos equipamentos. Pigultong (2022) identificou que a velocidade da Internet foi a principal dificuldade na pesquisa, dificultando o processo de aprendizagem. Nunes et al. (2017) verificaram que a implementação do Sloodle exigia muitos detalhes, sendo que o excesso de informações e elementos no Metaverso poderia prejudicar a concentração,

resultando em sobrecarga cognitiva dos usuários, além de limitações técnicas relacionadas à sobrecarga de tráfego na rede e na interface de comunicação do servidor.

Na revisão sistemática conduzida por Dincelli e Yayla (2022), observou-se negligência em relação à privacidade e ética dos dados, uma vez que HMDs e periféricos (como controladores de movimento, câmeras infravermelhas e luvas hápticas) coletam dados dos usuários de forma invasiva, acessando preferências, ações, reações físicas e emocionais, entre outros. Um problema adicional é a combinação de realidade virtual com inteligência artificial, que reduz as interpretações e o controle humano sobre as decisões algorítmicas. Além disso, o uso desses dispositivos pode causar enjoo, reforçar comportamentos indesejados, promover a fuga da realidade pela substituição sensorial e/ou desencadear emoções negativas, como estresse, medo, ansiedade, raiva e tédio. Utilizar a RV imersiva pode também dificultar a conclusão de atividades devido ao elevado grau de complexidade das mesmas.

As dificuldades relatadas por Zhao, Zhao e Wan (2022) e Lo e Tsai (2022) incluíram consequências físicas como tontura, náuseas, enjoo ou tensão ocular, que poderiam afetar a experiência imersiva e a aprendizagem dos participantes. O artigo de Zhang et al. (2023) apresentou limitações devido à falta de investigação dos resultados reais de aprendizagem, em função da ausência de testes de conhecimento, além da possibilidade de existir o "efeito novidade" - dado que o recurso é novo e ainda pouco difundido em contextos escolares - e o "efeito Rosenthal", que se refere ao aumento do desempenho devido à expectativa elevada do usuário. Garcia et al. (2023) afirmaram que seu estudo foi limitado pela exclusão de constructos como personalização do avatar, exploração da identidade, itens virtuais, comunicação, entretenimento, autonomia, liberdade de expressão, realismo, desafios, experiências compartilhadas e sentimento de pertencimento.

Outros artigos discutiram questões adicionais sobre limitações e dificuldades. Lo e Tsai (2022) destacaram que o aplicativo utilizado foi projetado apenas para a versão Android. Danylec et al. (2022) indicaram que a pesquisa foi limitada a apenas 12 possíveis eventos de perigos internos e externos, sendo necessário realizar testes de competência periodicamente. Franco et al. (2023) observaram que o jogo estudado era simétrico, não abordando jogos assimétricos que pudessem avaliar o processo de aprendizagem de forma ampla. Hwang (2023) relatou que o teste levou cerca de um ano para ser concluído e que poderiam haver diferenças na homogeneidade dos grupos devido ao intervalo de tempo. Além disso, variáveis ambientais e pessoais de cada aluno, que poderiam influenciar níveis mais elevados de criatividade ao longo do tempo, foram desconsideradas.

Em termos gerais, as pesquisas interdisciplinares sobre o uso do Metaverso na educação apresentam um balanço favorável a respeito do assunto. Os resultados sugerem que o Metaverso é um recurso válido de ensino, com níveis de eficácia comparáveis a outros recursos de aprendizagem, favorecendo o desenvolvimento cognitivo dos alunos. Contudo, questões relacionadas à usabilidade, acessibilidade, inclusão, segurança, e outras preocupações éticas, morais, jurídicas e sociais ainda precisam ser resolvidas. Reconhece-se, porém, o vasto conjunto de possibilidades a ser explorado e as melhorias necessárias. A convergência dos temas e conclusões a partir dos dados analisados identificou efetivamente tendências, conferindo validade científica ao presente trabalho e posicionando-o como uma fonte relevante para futuros desenvolvimentos na área.

Por fim, a análise dos artigos selecionados para este mapeamento sistemático identificou diversas características dos ambientes imersivos e de sua utilização, singularidades nos experimentos e conteúdos, a integração de várias tecnologias para a otimização do Metaverso, potenciais benefícios para a educação em diversas áreas, bem como preocupações decorrentes de ser uma tecnologia relativamente nova e sujeita a problemas éticos e de segurança, além de possíveis limitações dos ambientes virtuais que podem influenciar negativamente o processo de ensino-aprendizagem.

5 Considerações finais

As considerações finais deste estudo destacam a relevância e a necessidade de adaptação da educação às transformações tecnológicas e sociais contemporâneas, bem como o crescente interesse em explorar as potencialidades do metaverso. As características do metaverso, como audiovisual, persistência, imersão, colaboração e construção incremental apresentam grande potencial para o desenvolvimento cognitivo e motivacional dos alunos, elementos mobilizados em todas as experiências educativas, seja com recursos tradicionais ou com novas possibilidades virtuais. Além disso, a inovação tecnológica representada pelo metaverso tem o potencial de revolucionar a educação, promovendo um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e inclusivo, capaz de atender às necessidades atuais dos alunos. Dessa forma, restringir o uso do metaverso a um mero recurso limita todas as suas potencialidades.

Como resultado desta pesquisa, pode-se afirmar que os objetivos propostos foram satisfatoriamente cumpridos, oferecendo insights valiosos sobre as tecnologias desenvolvidas para o processo de aprendizagem. Inicialmente, realizamos uma pesquisa exploratória detalhada sobre as funções cognitivas no processo de aprendizagem no metaverso. Em seguida, analisamos as respostas às questões de pesquisa dos artigos selecionados. Este estudo também evidenciou a importância do aprimoramento das ferramentas tecnológicas para a aprendizagem. Em síntese, a pesquisa revelou que as plataformas imersivas, embora variáveis em suas abordagens e recursos específicos, demonstram um potencial significativo para melhorar a experiência e a colaboração dos alunos, impactando positivamente o processo de aprendizagem.

Sugere-se que estudos futuros, especialmente aqueles de aplicação prática, aprofundem o conhecimento sobre como o metaverso pode promover maior autonomia e pensamento crítico no processo de aprendizagem. Também recomenda-se uma investigação mais detalhada sobre os recursos específicos e tecnologias hápticas utilizados em plataformas imersivas para educação. Novas pesquisas são necessárias para garantir o uso eficaz do Metaverso na produção de conhecimento, considerando a segurança mental e cognitiva dos alunos. Embora o metaverso represente um avanço significativo, a sua integração bem-sucedida no sistema educacional dependerá de um equilíbrio entre inovação tecnológica e a consideração cuidadosa dos fatores humanos e pedagógicos, sendo necessário envolver continuamente pesquisadores, professores, estudantes e desenvolvedores de tecnologias na construção de aplicações ajustadas aos objetivos educacionais.

Agradecimentos

À Instituição Federal da Paraíba, ao meu orientador e todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

Financiamento

Este estudo recebeu apoio financeiro na forma de bolsa de mestrado da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPIPG) pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB).

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ARKSEY, H., & O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. *International journal of social research methodology*. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>

BERGER, P. L.; LUCKMANN, T. **A construção social da realidade**: tratado de sociologia do conhecimento. 25. ed. Petrópolis: Vozes, 1985.

BRANDÃO, M. L. **Psicofisiologia**: as bases fisiológicas do comportamento. São Paulo: Atheneu, 2002.

CALABRÒ, R. S.; CERASA, A.; CIANCARELLI, I.; PIGNOLO, L.; TONIN, P., IOSA, M.; MORONE, G. The arrival of the metaverse in neurorehabilitation: fact, fake or vision? **Biomedicines**, v. 10, n. 10, 2602, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines10102602>.

CERASA, A.; GAGGIOLI, A.; MARINO, F.; RIVA, G.; PIOGGIA, G. The promise of the metaverse in mental health: the new era of MEDverse. **Heliyon**, v. 8, n. 11, e11762, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11762>.

DANYLEC, A.; SHAHABADKAR, K.; DIA, H.; KULKARNI, A. Cognitive implementation of metaverse embedded learning and training framework for drivers in rolling stock. **Machines**, v. 10, n. 10, 926, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines10100926>

DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. P. M.; BITTENCOURT, I. I. Mapeamento sistemático e revisão sistemática da literatura em informática na educação. *In*: JAKUES, P.; SIQUEIRA, S.; BITTENCOURT, I.; PIMENTEL, M. **Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação**: abordagem quantitativa. Porto Alegre: SBC, 2020. (Série Metodologia de Pesquisa em

Informática na Educação, v. 2). Disponível em: https://metodologia.ceie-br.org/wp-content/uploads/2019/11/livro2_cap3.pdf. Acesso em: 24 mai. 2024.

DINCELLI, E.; YAYLA, A. Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: a hybrid narrative review based on the technology affordance perspective. **The Journal of Strategic Information Systems**, v. 31, n. 2, 101717, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2022.101717>.

DRAXLER, F.; HIRSCH, L.; LI, J.; OECHSNER, C.; VÖLKEL, S. T.; BUTZ, A. Flexibility and social disconnectedness: assessing university students' well-being using an experience sampling chatbot and surveys over two years of COVID-19. *In*: 2022 ACM DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS CONFERENCE, 7., 2022, Virtual Event Australia. **Proceedings [...]**. Australia: ACM, 2022. p. 217-231. DOI: <https://doi.org/10.1145/3532106.3533537>.

DURKHEIM, E. **Educação e Sociologia**. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1975.

ENDO, A. C. B.; ROQUE, M. A. B. Atenção, memória e percepção: uma análise conceitual da Neuropsicologia aplicada à propaganda e sua influência no comportamento do consumidor. **Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 40, n. 1, p. 77-96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-5844201715>.

FRANCO, A. A.; LOUP-ESCANDE, E.; LOISEAUX, G., CHOTARD, J.-N.; ZAPATA-DOMINGUEZ, D.; CIGER, J.; LECLERE, A.; DENISART, L.; LELONG; R. From battery manufacturing to smart grids: towards a metaverse for the energy sciences. **Batteries & Supercaps**, v. 6, n. 1, e202200369, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/batt.202200369>

GARCIA, M. B.; ADAO, R. T.; PEMPINA, E. B.; QUEJADO, C. K.; MARANAN, C. R. B. MILES Virtual world: a three-dimensional avatar-driven Metaverse inspired digital school environment for FEU Group of Schools. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND MULTIMEDIA TECHNOLOGY, 7., 2023, New York. **Proceedings [...]**. ACM: New York, 2023. p. 23-29, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1145/3625704.3625729>.

GIDDENS, A. **As consequências da modernidade**. São Paulo: Editora UNESP, 1991

GOLEMAN, D. **Inteligência emocional: a teoria revolucionária de quem define o que é ser inteligente**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2011.

GUO, H; GAO, W. Metaverse-powered experiential situational English-teaching design: an emotion-based analysis method. **Frontiers in Psychology**, v. 13, 859159, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.859159>

HOCKENBURY, D. H.; HOCKENBURY, S. E. **Descobrimos a Psicologia**. São Paulo: Manole, 2003

HWANG, Y. When makers meet the metaverse: effects of creating NFT metaverse exhibition in maker education. **Computers & Education**, v. 194, 104693, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104693>.

JACINTO, S. S. **Um mapeamento da pesquisa sobre a influência da personalidade da engenharia de software**. 2010. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/2340>. Acesso em: 24 mai. 2024.

- KRUPPA, S. **Sociologia da Educação**. São Paulo: Cortez, 1994.
- LEE, H. J.; HWANG, Y. Technology-enhanced education through VR-making and metaverse-linking to foster teacher readiness and sustainable learning. **Sustainability**, v. 14, n. 8, 4786, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084786>
- LO, S.-C.; TSAI, H.-H. Design of 3D virtual reality in the metaverse for environmental conservation education based on cognitive theory. **Sensors**, v. 22, n. 21, 8329, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22218329>.
- LÓPEZ, G. A.; CHAUX, H. R.; ALVAREZ, F. A. C. The university in the metaverse. Proposal of application scenarios and roadmap model. In: CONGRESO DE TECNOLOGÍA, APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA (TECHNOLOGIES APPLIED TO ELECTRONICS TEACHING CONFERENCE, 15., 2022, Teruel. **Proceedings [...]**. Teruel: IEEE, 2022. p. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAAE54169.2022.9840630>.
- LOURENÇO, A. A.; PAIVA, M. O. A. A motivação escolar e o processo de aprendizagem. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 2, p. 132-141, 2010. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212010000200012. Acesso em: 24 mai. 2024.
- MAKRANSKY, G.; KLINGENBERG, S. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: an organizational training experiment with a non-WEIRD sample. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 38, n. 4, p. 1127-1140, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcal.12670>.
- MOHER, D., STEWART, L., & SHEKELLE, P. All in the family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. **Systematic reviews**, v. 4, p. 1-2, 2015.
- MOITA, F.; PEREIRA, M. Z. Educação, tecnologia e comunicação: os jogos eletrônicos e as implicações curriculares. In: SILVA, E. M.; MOITA, F.; SOUSA, R. P. (org.). **Jogos eletrônicos: construindo novas trilhas**. Campina Grande: Ed. UEPB, 2007. p. 99-116.
- MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. 4. ed. Porto Alegre: Sulina, 2011
- NUNES, F. B.; HERPICH, F.; AMARAL, E. M. H.; VOSS, G. B.; ZUNGUZE, M. C.; MEDINA, R. D.; TAROUCO, L. M. R. A dynamic approach for teaching algorithms: integrating immersive environments and virtual learning environments. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 25, n. 5, p. 732-751, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.21833>.
- OLIVEIRA, C. H. A.; SILVA, J. R. P. Avaliação psicológica na recuperação funcional através da realidade virtual: uma nova perspectiva. **Psicologia e Saúde em Debate**, v. 7, n. 1, p. 77-93, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22289/2446-922X.V7N1A6>.
- OWENS, D.; MITCHELL, A.; KHAZANCHI, D.; ZIGURS, I. An empirical investigation of virtual world projects and metaverse technology capabilities. **ACM SIGMIS Database: the DATABASE for Advances in Information Systems**, v. 42, n. 1, p. 74-101, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1145/1952712.1952717>.
- PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. Systematic mapping studies in software engineering. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN

SOFTWARE ENGINEERING (EASE), 12., 2008. Italy. **Proceedings [...]**. ACM: Italy, p. 68-77, 2008. DOI: <https://doi.org/10.14236/ewic/EASE2008.8>.

PIGULTONG, M. Cognitive impacts of using a metaverse embedded on learning management system for students with unequal access to learning resources. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND EDUCATION TECHNOLOGY (ICIET)*, 10., 2022, Matsue. **Proceedings [...]**. Matsue: IEEE, 2022. p. 27-31. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIET55102.2022.9779045>.

QUINTANA, M. G. B.; FERNÁNDEZ, S. M. A pedagogical model to develop teaching skills. The collaborative learning experience in the Immersive Virtual World TYMMI. **Computers in Human Behavior**, v. 51, Part B, p. 594-603, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.016>.

SANTANA, M. C. F.; LINS, O. G.; SANGUINETTI, D. C. M.; SILVA, F. P.; ANGELO, T. D. A.; CORIOLANO, W. S.; CÂMARA, S. B.; & SILVA, J. P. A. Efeitos do tratamento com realidade virtual não imersiva na qualidade de vida de indivíduos com Parkinson. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, vol. 18, núm. 1, 2015, pp. 49-58 Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Brasil.

SHIN, D. The actualization of meta affordances: conceptualizing affordance actualization in the metaverse games. **Computers in Human Behavior**, v. 133, 107292, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107292>.

SILVA, A. M. **Metodologia da pesquisa**. 2. ed. Fortaleza: EDUECE, 2015

USPENSKI, I.; GUGA, J. Embodying metaverse as artificial life: at the intersection of media and 4E cognition theories. **Philosophy and Society**, v. 33, n. 2, p. 326-345, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2298/FID2202326U>.

WANG, S. A Bodies-on museum: the transformation of museum embodiment through virtual technology. **Curator. The Museum Journal**, v. 66, n. 1, p. 107-128, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/cura.12534>.

YANG, F.; REN, L.; GU, C. A study of college students' intention to use metaverse technology for basketball learning based on UTAUT2. **Heliyon**, v. 8, n. 9, e10562, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10562>.

YE, P.; WANG, F.-Y. Parallel population and parallel human: a cyber-physical social approach. **IEEE Intelligent Systems**, v. 37, n. 5, p. 19-27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIS.2022.3208362>.

ZALLIO, M.; CLARKSON, P. J. Designing the metaverse: a study on inclusion, diversity, equity, accessibility and safety for digital immersive environments. **Telematics and Informatics**, v. 75, 101909, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101909>.

ZHANG, Y.; LUO, H.; LIU, Y.; CHENG, W. Is metaverse better than video conferencing in promoting social presence and learning engagement?. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT EDUCATION AND INTELLIGENT RESEARCH (IEIR)*, 2023, Wuhan. **Proceedings [...]**. Wuhan: IEEE, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEIR59294.2023.10391262>.

ZHAO, Z.; ZHAO, B.; WAN, X. Research on personalized learning space in educational metaverse. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND EDUCATIONAL*

INFORMATIZATION (CSEI). 4., 2022, Taiyuan. **Proceedings** [...]. Taiyuan: IET, p. 245-248, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1049/icp.2022.1479>.