



*Base de Conhecimento para apoio à Detecção e
Prevenção de Cybersickness*

Milton França Filho

Agosto / 2024

Dissertação de Mestrado em Ciência da
Computação

Base de Conhecimento para apoio à Detecção e Prevenção de Cybersickness

Esse documento corresponde à Dissertação apresentado à Banca Examinadora no curso de Mestrado em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 2 de setembro de 2024.

Milton França Filho

Prof. Dr. Ferruccio de Franco Rosa (Orientador)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central da Unifaccamp

F882b

França F^o., Milton

Base de conhecimento para apoio à detecção e prevenção de *Cybersickness* / Milton França Filho. Campo Limpo Paulista, SP: Unifaccamp, 2024.

65 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ferrucio de Franco Rosa

Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Ciência da Computação) – Centro Universitário Campo Limpo Paulista – Unifaccamp.

1. *Cybersickness*. 2. *Motion Sickness*. 3. Detecção. 4. Prevenção. 5. Base de conhecimento. 6. Realidade virtual. 7. Realidade aumentada. 8. Aprendizado de máquina. 9. Saúde. I. Rosa, Ferrucio de Franco. II. Centro Universitário Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD – 006.68

Agradecimentos

À minha companheira Mônica e às minhas filhas Mirelly e Gabrielly, cuja motivação incondicional me permitiu acreditar que este era um sonho possível. Contudo, as horas de estudo e pesquisa, as madrugadas trabalhando e todo o esforço para concretizar este projeto fizeram todo sentido. Aos professores e amigos Ferruccio de Franco Rosa e Rodrigo Bonacin, que acreditaram neste trabalho e na minha capacidade. Ao amigo e colega de curso Ângelo Amaral que colaborou com revisões analíticas adicionando mais qualidade a este trabalho. Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por financiar parte desta pesquisa.

Resumo. Explorar novas características e técnicas de pré-processamento de dados para melhorar a precisão e a generalização de modelos de aprendizado de máquina (Machine Learning - ML) são preocupações, especialmente no contexto da prevenção e detecção de doenças. Nesta pesquisa, abordamos a criação e aplicação de uma base de conhecimento científica para apoio a detecção e prevenção de cybersickness, uma condição induzida por ambientes de realidade estendida. Cybersickness Scientific Knowledge Database (CSKD) foi desenvolvida com o objetivo de centralizar e estruturar informações relacionadas a métodos e técnicas de ML, bem como aspectos médicos e de saúde relevantes para compreensão e tratamento de cybersickness. CSKD é proposta por meio de um Modelo Entidade-Relacionamento e uma base de dados populada. Um conjunto de entidades principais é proposto, com o objetivo de fornecer informações detalhadas sobre técnicas de detecção e prevenção, sinais biométricos, questionários, dispositivos, referências científicas, métodos de extração de dados, medicamentos, protocolos médicos, especialidades médicas e registros de saúde dos pacientes. A aplicabilidade de CSKD é validada por meio de um Dashboard, desenvolvido para permitir a visualização e análise dos dados de forma intuitiva. O Dashboard oferece funcionalidades para filtrar informações sobre cybersickness, monitorar a imersão dos usuários, visualizar dados demográficos dos pacientes, acessar protocolos médicos, identificar dispositivos associados a cybersickness, entre outros recursos. Os artefatos de implementação de CSKD, incluindo o código-fonte e a documentação de engenharia de software, estão disponíveis publicamente no repositório GitHub, promovendo a reprodutibilidade e transparência dos resultados. Como trabalho futuro, planeja-se evoluir CSKD incluindo estratégias de prevenção de cybersickness, novos artefatos de desenvolvimento e melhorias no Dashboard para proporcionar uma experiência de usuário mais aprimorada. O acesso rápido e estruturado ao conhecimento científico permite análises mais detalhadas e rápidas, beneficiando pesquisadores, desenvolvedores de ambientes virtuais, profissionais de saúde, estudantes e acadêmicos interessados no tema.

Palavras-chaves: Cybersickness; Motion Sickness; Detecção; Prevenção; Base de Conhecimento; Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Aprendizado de Máquina; Saúde.

Abstract. Exploring new features and data preprocessing techniques to improve the accuracy and generalization of Machine Learning (ML) models are concerns, especially in the context of disease detection and prevention. In this research, we address the creation and application of a scientific knowledge base to support the detection and prevention of cybersickness, a condition induced by extended reality environments. Cybersickness Scientific Knowledge Database (CSKD) was developed with the aim of centralizing and structuring information related to ML methods and techniques, as well as medical and health aspects relevant to understanding and treating cybersickness. CSKD is proposed by means of an Entity-Relationship Model and a populated database. A set of main entities is proposed, with the aim of providing detailed information about detection and prevention techniques, biometric signals, questionnaires, devices, scientific references, data extraction methods, drugs, medical protocols, medical specialties, and patient health records. The applicability of CSKD is validated through a Dashboard, developed to allow the visualization and analysis of data in an intuitive way. The Dashboard offers functionalities to filter information about cybersickness, monitor user immersion, visualize patient demographic data, access medical protocols, identify devices associated with cybersickness, among other resources. The CSKD implementation artifacts, including the source code and software engineering documentation, are publicly available in the GitHub repository, promoting the reproducibility and transparency of the results. As future work, we plan to evolve CSKD by including cybersickness prevention strategies, new development artifacts, and improvements to the Dashboard to provide a more enhanced user experience. Rapid and structured access to scientific knowledge allows for more detailed and faster analyses, benefiting researchers, virtual environment developers, health professionals, students, and academics interested in the topic.

Keywords: Cybersickness; Motion Sickness; Detection; Prevention; Knowledge Database; Virtual Reality; Augmented Reality; Machine Learning; Healthcare.

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Questão de Pesquisa, Objetivos e Contribuições	12
1.2	Estrutura da Dissertação	13
2	Referencial Teórico e Metodológico	15
2.1	<i>Cybersickness</i>	16
2.2	<i>Bases de conhecimento</i>	17
3	Revisão de Literatura e Trabalhos Relacionados	19
3.1	Trabalhos Analisados	20
3.2	Trabalhos Relacionados	26
4	Base de Conhecimento Científica para apoio a Detecção e Prevenção de Cybersickness	30
4.1	Artefatos de Implementação	34
4.2	Técnicas de Classificação de Dados	35
4.3	Inserção de Dados e Consultas	36
4.4	Pseudocódigo do Protótipo de Software	36
5	Aplicando CSKD através de um Dashboard	38
6	Discussão sobre os Resultados	43
7	Conclusão	45
7.1	Limitações e Trabalhos Futuros	45
7.2	Resultados da Pesquisa	46

A	Dicionário de dados	53
B	JSON file	56
C	Código fonte API, linguagem java	60
C.1	Pacote resource	60
C.2	Pacote service	61
C.3	Pacote repository	61
C.4	Parametrizações e configurações para banco de dados	63
D	Pseudocódigo para implementação da interface gráfica do protótipo de software - Dashboard	64

Lista de Tabelas

1	Critérios de Inclusão e Exclusão	20
2	Síntese dos Trabalhos Analisados	27
3	Síntese dos Trabalhos Relacionados	30
4	Dicionário de dados	53
5	Continuação Dicionário de dados	54
6	Continuação Dicionário de dados	55

Lista de Figuras

1	Fluxograma para triagem de estudo e processo de seleção.	21
2	Visão geral do CSKD: entradas e saídas.	31
3	MER (Versão 1.3) de CSKD: principais entidades do banco de dados. . .	33
4	Parte do arquivo JSON apresentando dados recuperados do banco de dados de CSKD.	35
5	Tela do aplicativo Postman com resultado da execução da API que consulta informações de CSKD.	37
6	Dashboard de CSKD	39
7	Dashboard: filtros	40
8	Dashboard: imersão	40
9	Dashboard: Gênero	41
10	Dashboard: protocolo médico	42
11	Dashboard: detecção e prevenção	42
12	Dashboard: dispositivos	42
13	Dashboard: plataformas	42
14	Dashboard: pacientes	43

Lista de Siglas

API	<i>Application Programming Interface</i>
CSKD	<i>Cybersickness Scientific Knowledge Database</i>
ECG	Eletrocardiograma
EOG	Eletro-oculograma
GSR	<i>Galvanic Skin Response</i>
HCI	<i>International Conference on Human-Computer Interaction</i>
JSF	<i>JavaServer Faces</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MER	Modelo Entidade-Relacionamento
ML	Machine Learning
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
VRLE	Virtual Reality Learning Environment
XR	Realidade Estendida

1. Introdução

A Realidade Virtual (RV) insere os usuários em um ambiente simulado totalmente imersivo e interativo, e a Realidade Aumentada (RA) sobrepõe elementos virtuais no ambiente real. A realidade estendida (XR) é a junção da RV e da RA em um mesmo ambiente (Azuma; 1997) (Sutherland; 1998).

Cybersickness é um fenômeno que afeta usuários de dispositivos de RV ou RA (por exemplo, óculos, fones de ouvido, capacetes), entre outros dispositivos vestíveis. Estudos têm explorado o uso de técnicas de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML) para detectar e prever *cybersickness* (por exemplo, com base em dados fisiológicos e de movimento ocular) (Davis et al.; 2014)(kumar Renganayagalu et al.; 2021).

É fundamental propor e manter uma base de conhecimento de qualidade para apoio aos estudos que visam propor métodos e técnicas de ML voltados a detectar e prevenir *cybersickness* (kumar Renganayagalu et al.; 2021). Pesquisas de ML voltadas a *cybersickness* devem considerar a coleta de dados de qualidade e a exploração de novas características e técnicas de pré-processamento de dados para melhorar a precisão e a generalização dos modelos de ML (Kim et al.; 2021)(Boeldt et al.; 2019).

Apresentamos uma base de conhecimento científico sobre métodos e técnicas de ML para detectar e prevenir *cybersickness*. Por meio de um *dashboard*, a base de conhecimento é disponibilizada para apoiar pesquisadores da área de saúde e desenvolvedores. Com um *dashboard*, é possível apresentar dados complexos de maneira intuitiva, facilitando a análise e a interpretação, o que é fundamental para o avanço das estratégias de detecção e prevenção de *cybersickness* em ambientes de realidade estendida (XR), sendo esta uma contribuição valiosa para a comunidade científica que se esforça para detectar e prever *cybersickness*.

1.1. Questão de Pesquisa, Objetivos e Contribuições

A partir da problemática exposta, perguntas norteadoras foram propostas: "Quais características dos indivíduos (e.g., gênero, idade) impactam na propensão ao diagnóstico de *cybersickness*?" e "Quais sinais biológicos (e.g., sudorese, palpitação, piscar dos olhos) possuem um maior percentual de eficácia na detecção ou prevenção de *cybersickness*?"

Diante destas perguntas, foi possível ter direcionamento para conduzir a revisão de literatura, com o objetivo de identificar os insumos necessários à pesquisa. Após a revisão de literatura, ausências foram identificadas, dando origem à seguinte **questão de pesquisa**: ”*Como prover modelo de representação de conhecimento à detecção e prevenção de cybersickness de maneira estruturada e aberta?*”

O objetivo geral e os objetivos específicos são apresentados a seguir.

Objetivo Geral: Propor uma Base de Conhecimento Científica para apoio a Detecção e Prevenção de *Cybersickness* (CSKD).

Objetivos Específicos:

(i) Implementar CSKD, através de um MER (Modelo Entidade-Relacionamento), uma base de dados populada e um *dashboard* para visualização das informações;

(ii) Disponibilizar código-fonte no repositório GitHub para colaborar com a comunidade científica;

(iii) Desenvolver uma API com métodos para inserção e consulta dos dados em CSKD para garantir uma coleta contínua.

A principal **contribuição** deste trabalho é uma *base de conhecimento estruturada e aberta para prevenção e detecção de cybersickness*.

Outras contribuições secundárias podem ser citadas: (i) protótipo de *software registrado (dashboard)*, para disponibilizar conhecimento a pesquisadores das áreas de Computação e Saúde; (ii) código-fonte em repositório público, aumentando a reprodutibilidade dos resultados e contribuindo para a transparência; (iii) API com métodos para inserção e consulta dos dados na base de conhecimento proposta, apoiando tanto integrações com outros sistemas como para validação e revisão pela comunidade científica.

1.2. Estrutura da Dissertação

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** apresenta o referencial teórico, com a introdução de conceitos essenciais à discussão dos temas abordados nos capítulos subsequentes.

- O **Capítulo 3** apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre aplicações baseadas em realidade estendida, nas quais casos de *cybersickness* podem ser originados, buscando identificar o estado da arte adotado como base para a proposição do CSKD, além de mapear trabalhos relacionados.
- O **Capítulo 4** apresenta CSKD (Base de Conhecimento Científica para apoio à Detecção e Prevenção de *Cybersickness*), sua base de dados e sua estrutura de entrada e saída.
- O **Capítulo 5** apresenta um cenário de aplicação de CSKD através de um protótipo de *software (dashboard)*, abordando os artefatos, técnicas de classificação, inserção e consulta dos dados.
- O **Capítulo 6** apresenta uma discussão sobre os resultados obtidos da aplicação da proposta.
- O **Capítulo 7** apresenta as conclusões do trabalho, incluindo propostas de trabalhos futuros e resultados da pesquisa.

2. Referencial Teórico e Metodológico

Nesta capítulo são apresentados os conceitos fundamentais que embasam o trabalho desenvolvido, proporcionando um melhor entendimento do contexto abordado nas seções subsequentes da dissertação.

A Realidade Virtual (RV) pode ser definida como a indução de comportamento direcionado em um organismo através de estimulação sensorial artificial, com o organismo mantendo pouca ou nenhuma consciência da interferência. Esse conceito abrange quatro componentes principais: comportamento direcionado, organismo, estimulação sensorial artificial e consciência. O comportamento direcionado refere-se às experiências projetadas, como voar, caminhar ou socializar em um ambiente virtual. O termo organismo inclui não apenas humanos, mas também outras formas de vida que podem ser submetidas a experiências de RV. A estimulação sensorial artificial implica o uso da engenharia para substituir ou aprimorar os sentidos do organismo com estímulos artificiais, criando uma ilusão perceptiva convincente. Finalmente, a consciência ou falta dela durante a experiência de RV é crucial, pois o organismo é enganado para se sentir presente em um mundo virtual (LaValle; 2023a).

Com a evolução da tecnologia, várias definições e termos relacionados à RV foram introduzidos e refinados. O termo "realidade virtual" tornou-se amplamente conhecido na década de 1980, popularizado por Jaron Lanier, embora suas raízes possam ser traçadas até o filósofo Immanuel Kant. Recentemente, termos como "ambientes virtuais", "realidade aumentada" (RA) e "realidade mista" (MR) têm sido utilizados para descrever diferentes aspectos da interação entre o mundo real e os elementos virtuais. Enquanto ambientes virtuais podem incluir tanto mundos capturados fotograficamente quanto sintéticos, a RA sobrepõe elementos digitais ao mundo real e a MR integra ambos de maneira interativa. As pessoas perceberam que esses termos e distinções de décadas foram corroídos nos últimos anos, especialmente à medida que as tecnologias unificadoras avançaram rapidamente. Portanto, tentativas foram feitas recentemente para unificá-los novamente sob os títulos XR, X Reality, VR/AR, AR/VR e VR/AR/MR (LaValle; 2023b). Este trabalho adotará o termo Realidade Estendida (XR) para refletir a convergência e a complexidade crescente dessas tecnologias.

2.1. *Cybersickness*

Para facilitar o entendimento sobre *Cybersickness*, faz-se necessário apresentar seus conceitos principais. *Cybersickness* refere-se aos sintomas negativos experimentados durante ou após o uso de sistemas de XR, como náusea, tontura, fadiga e dores de cabeça. Esses sintomas são comparáveis ao enjôo de movimento, mas ocorrem devido a estímulos visuais e não a movimentos reais. A teoria do conflito sensorial é uma explicação amplamente aceita, sugerindo que o desconforto surge quando há uma discordância entre os sinais sensoriais recebidos pelos olhos e o sistema vestibular que é responsável pelo equilíbrio (LaValle; 2023c)

Segundo LaValle (2023d), os sintomas de *Cybersickness* variam em intensidade e tipo, incluindo náusea, tontura, sonolência, sudorese, palidez, dores de cabeça, fadiga e problemas oculares. Esses sintomas podem ser aumentados por fatores individuais, como idade, gênero e histórico prévio de enjoo. Através da base de conhecimento proposta, será possível identificar, por exemplo, as razões pelas quais crianças e mulheres são mais suscetíveis ao enjoo de movimento.

Embora avanços tecnológicos tenham reduzido alguns efeitos colaterais associados a dispositivos de XR, o design de software e o conteúdo ainda desempenham um papel crucial. Conteúdos mal projetados podem intensificar os sintomas, mesmo em fones de ouvido tecnologicamente avançados (LaValle; 2023e).

Segundo LaValle (2023f), entender os sintomas é necessário e os questionários são métodos comuns para coletar dados subjetivos sobre a experiência do usuário através de medições fisiológicas. Eletrocardiograma (ECG), eletrogastrograma (EGG) e resposta galvânica da pele (GSR) oferecem dados objetivos e contínuos. A exposição repetida à XR, pode ajudar na adaptação e redução dos sintomas ao longo do tempo. No entanto, a adaptação varia entre indivíduos e alguns podem continuar a experimentar sintomas persistentes após o uso prolongado.

A detecção precoce e precisa de *cybersickness* é essencial para mitigar seus efeitos negativos e proporcionar uma experiência de realidade estendida mais confortável e segura. Diversas abordagens têm sido propostas para a detecção de *cybersickness*, incluindo a análise de parâmetros fisiológicos (e.g., frequência cardíaca e atividade cerebral), a co-

leta de *feedback* subjetivo dos usuários por meio de questionários e escalas de avaliação, e o uso de algoritmos de machine learning para identificar padrões de comportamento associados à *cybersickness* (Krokos & Varshney; 2021).

A prevenção de *cybersickness* é um aspecto a ser considerado no desenvolvimento de aplicações de XR. Estratégias de prevenção incluem a otimização do design de interfaces e ambientes virtuais para reduzir estímulos visuais conflitantes. A implementação de técnicas como controle da velocidade, intensidade dos movimentos virtuais e adaptação da experiência do usuário poderão minimizar o risco de *cybersickness* (Toschi et al.; 2017). A base de conhecimento proposta vai poder disponibilizar informações sobre abordagens de detecção e estratégias de prevenção.

2.2. Bases de conhecimento

Considerando a necessidade de como prover conhecimento crucial à detecção e à prevenção de *cybersickness* de maneira estruturada e aberta, este trabalho tem seu foco em disponibilizar uma base de conhecimento estruturada e aberta para prevenção e detecção de *cybersickness*.

Para facilitar o entendimento sobre gestão do conhecimento, faz-se necessário apresentar seus conceitos principais. Dados são elementos objetivos, descontínuos e quantificáveis, que por si só não possuem significado (Cardoso et al.; 2001). Eles são essenciais para o funcionamento das organizações, pois representam a matéria-prima a partir da qual a informação pode ser construída. Por outro lado, a informação surge da organização inteligente dos dados, tornando-se coerente e inteligível. É a informação que fornece contexto e significado aos dados, permitindo a transformação da informação em conhecimento, sendo este um processo crucial para a criação de valores nas organizações.

Nonaka & Takeuchi (1997) enfatizam a importância do conhecimento tácito na Teoria da Criação do Conhecimento Organizacional, destacando que a aquisição desse tipo de conhecimento está intrinsecamente ligada à experiência. Para os autores, o conhecimento tácito é pessoal, difícil de formalizar e comunicar de maneira explícita.

Conhecimento explícito na Teoria da Criação do Conhecimento Organizacional, de acordo com (Nonaka & Takeuchi; 1997), destaca sua natureza formal e articulável, que pode ser facilmente documentada e compartilhada dentro das organizações. O conheci-

mento explícito é representado por informações tangíveis, como manuais, procedimentos, documentos e bases de dados, que facilitam a disseminação e transferência de conhecimento entre os membros da organização

Segundo Nonaka & Takeuchi (1997), o conhecimento tácito e explícito não são entidades separadas, mas sim complementares, interagindo e trocando informações de forma dinâmica durante as atividades criativas dos seres humanos. Essa abordagem destaca a importância da interação social na criação e expansão do conhecimento humano, evidenciando a necessidade de uma visão holística que integre ambas as formas de conhecimento.

É a partir do conhecimento que as organizações podem inovar, resolver problemas complexos e adaptar-se às mudanças do ambiente. Este trabalho possui o foco na gestão eficaz do conhecimento envolvendo não apenas a coleta e organização de dados e informações, mas também a promoção de uma cultura que valorize a criação, compartilhamento e aplicação do conhecimento de forma estratégica através de uma base de conhecimento.

Base de conhecimento trata-se de um repositório estruturado de informações, conceitos, dados e experiências acumuladas, organizados de forma a facilitar a recuperação e a utilização desses conhecimentos. Essa estrutura possibilita a representação de conhecimento de maneira acessível e compreensível (Bello López & De Ita Luna; 2021). Dentro da base de conhecimento, a base de dados permite a estruturação e o acesso aos diferentes tipos de informações de forma que possam ser facilmente consultados e utilizados pelos usuários.

A metodologia adotada nesta dissertação envolve a revisão sistemática da literatura científica sobre cybersickness, a análise e classificação de trabalhos relacionados, para construção de uma base de conhecimento para apoio à detecção e prevenção de cybersickness (CSKD), e a proposição de diretrizes e recomendações para o desenvolvimento de um dashboard, que facilitará a visualização e classificação dos dados de CSKD aos usuários, membros de comunidades técnicas e científicas, da área de XR (Kitchenham; 2004).

3. Revisão de Literatura e Trabalhos Relacionados

A partir das perguntas norteadoras "Quais características dos indivíduos (ex., gênero, idade) impactam na propensão ao diagnóstico de cybersickness?" e "Quais sinais biológicos (ex., sudorese, palpitação, piscar dos olhos) possuem um maior percentual de eficácia na detecção ou prevenção de cybersickness?", foi realizada uma revisão de literatura baseada na abordagem proposta por (Kitchenham; 2004), em complemento a uma pesquisa exploratória preliminar, cujo objetivo foi identificar os insumos necessários à pesquisa, bem como a definição de seus parâmetros, período de abrangência, além das bases científicas e palavras-chave a serem utilizadas.

O período de busca das publicações foi estabelecido entre 2015 e 2023, refletindo o quão recentes estes questionamentos se mostram, bem como objetivando relatar o atual estado da arte. A string de busca utilizada foi adaptada à sintaxe de cada base de pesquisa, mas pode ser traduzida como: ("virtual reality" OR "VR" OR "augmented reality" OR "virtual world" OR "metaverse" OR "immersion") AND ("education" OR "educational" OR "school" OR "learning" OR "training" OR "class") AND "cybersickness" AND ("API" OR "dashboard" OR "Knowledge base" OR "machine learning" OR "detection" OR "prevention" OR "physiological data")

A busca resultou em um total de 182 artigos, sendo 58 obtidos na base Springer Link, 28 na base IEEE Xplore, 66 na ACM Digital Library e 30 na plataforma Google Scholar. Os critérios de inclusão e exclusão foram então aplicados, de acordo com a Tabela 1.

A partir da aplicação deste filtro, os 23 artigos resultantes traduzem uma ampla gama de aplicações baseadas em XR, nas quais casos de *cybersickness* podem ser originados, refletindo o estado da arte na pesquisa de aplicações de XR amparando a discussão sobre os sintomas de cybersickness e possibilitando sua consequente tabulação e análise na Figura 1.

Os trabalhos foram analisados e classificados com base nos seguintes objetivos: (i) Apresentação de ferramenta para construção de ambiente de realidade virtual, (ii) Discussão sobre um método para classificação e tabulação das técnicas para implementação de soluções de realidade virtual, (iii) Sistematização e co-relação entre diferentes tecno-

Tabela 1. Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
(i.1) Artigos de periódicos ou anais de eventos científicos, com texto completo disponível	(ii.1) Área de pesquisa que não seja Ciência da Computação
(i.2) Publicações realizadas após 2015	(ii.2) Trabalhos que não se relacionam às perguntas norteadoras
(i.3) Trabalhos que apresentem métodos e técnicas relacionados ao contexto de RV ou RA	(ii.3) Artigos curtos e resumos
(i.4) Trabalhos publicados na língua inglesa	

logias e (iv) abordagem de outros temas relacionados ao uso de realidade virtual. Foram também classificados quanto aos seus domínios de aplicação: (i) ambientes de Realidade Aumentada e Realidade Virtual ou (ii) Inteligência Artificial aplicada à geração de aplicações de realidade virtual.

Adicionalmente, foram identificados 6 trabalhos relacionados por técnica de *snowballing*, que endereçam a construção de bases de conhecimento, discussões sobre *cybersickness* e a construção de *dashboards* por meio de *API's*.

Os trabalhos relacionados foram classificados com base nos seguintes objetivos: (i) Ferramenta para construção de um dos domínios de aplicação relacionados, (ii) Método para classificação e tabulação das técnicas para implementação de um dos domínios de aplicação, (iii) Sistematização e co-relação entre diferentes tecnologias e (iv) abordagem de outros temas relacionados ao uso dos domínios de aplicação. Os domínios de aplicação considerados foram: (i) construção e manutenção de Bases de Conhecimento, (ii) *Cybersickness* e (iii) construção de *Dashboards* e *API's*.

3.1. Trabalhos Analisados

Yang et al. (2022) abordam métodos e sistemas de aprendizado de máquina, aplicados ao estudo da doença cibernética (*cybersickness*), induzida pela XR. Abordam seus

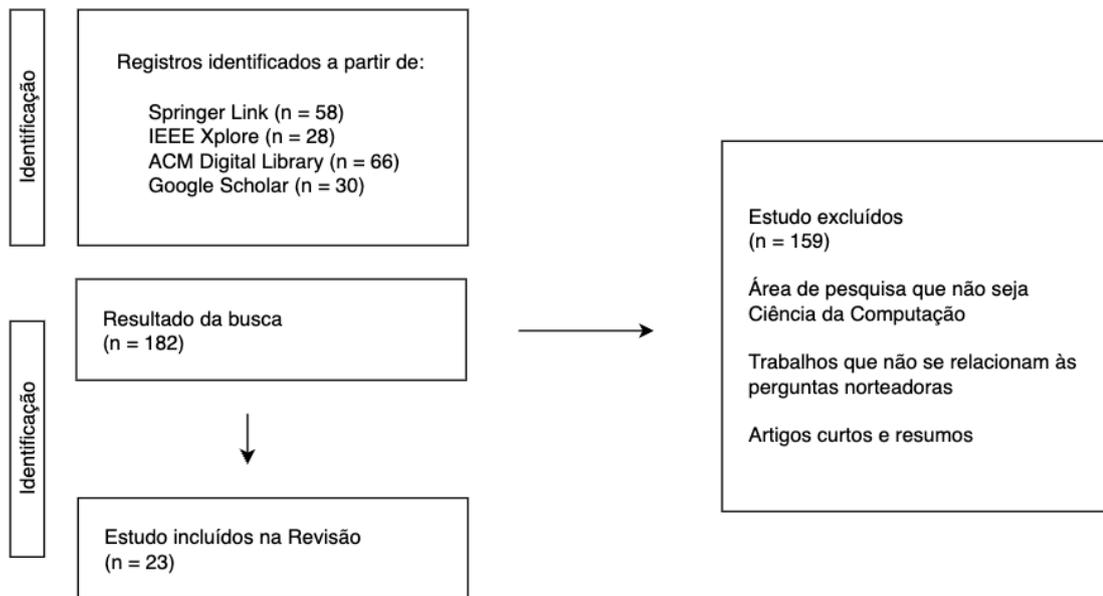


Figura 1. Fluxograma para triagem de estudo e processo de seleção.

principais sintomas, com ênfase na adoção de aprendizado de máquina (ML) para identificar casos de cybersickness através de coleta de dados otimizada de dispositivos e algoritmos apropriados.

Fatahi et al. (2016) apresentam os desafios referentes a modelar o comportamento humano em ambientes virtuais, especialmente em e-learning. Revisam modelos psicológicos de personalidade usados na ciência da computação e exploram suas aplicações na aprendizagem de máquina, apoiando o diagnóstico de cybersickness devido à sua simplicidade e cobertura abrangente das características do comportamento humano.

Rechy-Ramirez et al. (2018) discutem áreas de aplicação de sensores relacionados à identificação de emoções e reações por meio de sinais eletroencefalográficos, técnicas de visão, eletromiografia e o uso de ferramentas de imersão em realidade virtual, sistematizando formas de reduzir a lacuna de comunicação entre humanos e computadores por meio do uso de sensores multimodais.

Wen et al. (2024) utilizaram abordagens de aprendizado de máquina para identificar *cybersickness* em experiências de XR, beneficiando-se de um conjunto de dados diversificado e rotulado com precisão. Com isso, apresentaram o "VR.net", um conjunto de dados que inclui 165 horas de vídeos de gameplay de 100 jogos reais, avaliados por 500

participantes. O VR.net atribui 24 rótulos relacionados a *cybersickness* para cada frame de vídeo, como movimento de câmera, profundidade de campo e fluxo de movimento. A construção desse conjunto de dados foi um desafio, pois a rotulação manual seria inviável; por isso, implementaram uma ferramenta que extrai automaticamente dados precisos dos pipelines de renderização dos mecanismos 3D, sem acessar o código-fonte dos jogos. Foi demonstrada a utilidade do VR.net em aplicações como a detecção de fatores de risco e previsão do nível de *cybersickness*.

Guarnera et al. (2017) estudam a renderização de materiais em processos de realidade virtual, discutindo a percepção do observador dos objetos com base em diferentes aspectos da iluminação dos materiais, que podem impactar a experiência do usuário e limitar seu uso em XR.

Altaheri et al. (2021) abordam o uso de algoritmos de aprendizado profundo para a classificação de sinais de imagens motoras (MI) baseados em eletroencefalograma (EEG) e interfaces cérebro-computador (BCI). Revisam sistematicamente a pesquisa dos últimos dez anos, analisando técnicas de pré-processamento, formulação de entrada, arquitetura de aprendizado profundo e avaliação de desempenho, explorando conjuntos de dados públicos disponíveis e discutindo desafios atuais e direções futuras.

Tasnim et al. (2024) destacam que tem havido um crescente interesse em prever *cybersickness* usando dados fisiológicos em tempo real, como frequência cardíaca, resposta galvânica da pele, rastreamento ocular, oscilações posturais e eletroencefalograma. No entanto, o impacto de fatores individuais como idade e gênero, fundamentais para determinar a susceptibilidade à *cybersickness*, permanece desconhecido nos modelos preditivos. Os autores apresentam um estudo que visa preencher essa lacuna, destacando a necessidade de uma abordagem mais personalizada para a previsão de *cybersickness*, garantindo uma experiência de realidade virtual melhor e mais inclusiva. O estudo forneceu evidências dos benefícios das técnicas de personalização na melhoria da previsão de *cybersickness*, que podem ser utilizados para desenvolver técnicas personalizadas para redução de *cybersickness* no futuro.

Dwivedi et al. (2018) apresentam uma ferramenta de design em ambiente de Realidade Virtual apoiando o planejamento de montagem de sistemas complexos, abordando

o desempenho do usuário durante a montagem em ambientes imersivos (XR) e não imersivos (desktop). Um algoritmo genético é usado para calcular uma sequência de caminho otimizado livre de colisão entre os elementos.

Liao et al. (2020) argumentam que a pesquisa em XR tem sido amplamente aplicada em diversos campos, prometendo entregar experiências que vão além da imaginação do usuário. Uma das vantagens da XR é a sensação de presença, permitindo vivências impossíveis no mundo real, como voar, mergulhar em águas profundas, explorar o espaço sideral ou conviver com dinossauros. Apesar dos avanços no software e hardware, o problema de *cybersickness* persiste. Os autores implementaram um modelo de *deep learning* para treinar e prever *cybersickness*. Questionários são métodos conhecidos para medir o enjoo, mas têm a desvantagem de serem aplicados após o surgimento dos sintomas. Utilizando *deep learning e EEG*, o sistema aprende e classifica *cybersickness* a partir dos padrões de EEG dos usuários quando começam a sentir os sintomas. O sistema é treinado para identificar esses padrões futuramente, podendo prever os sintomas antes que ocorram.

Izard et al. (2019) apresentam um sistema de visualização aprimorada de imagens radiológicas usando realidade virtual e aumentada (XR) para melhorar o planejamento e o monitoramento de cirurgias, indo além das imagens bidimensionais tradicionais e adotando modelos tridimensionais que podem ser visualizados e manipulados pelo usuário.

Zhang et al. (2017) apresentam um método para melhorar o design de cenas 3D, simulando o comportamento dos usuários e avaliando as reações dos indivíduos, com o objetivo de evitar erros causados pela fadiga durante a avaliação manual do design.

Steshina et al. (2021) apresentam uma técnica para treinamento de pessoas em ambiente de realidade virtual (XR), adotando um mecanismo de alteração dos parâmetros dinâmicos em XR, baseado no modelo fuzzy com um conjunto de regras e funções de pertinência baseadas em um algoritmo genético. Essa abordagem foi aplicada ao desenvolvimento de um simulador para treinamento de máquina de corte florestal.

Shimada et al. (2023) destacam que *cybersickness* é uma preocupação crescente no campo de XR, caracterizada por sintomas como dor de cabeça, suor, desorientação e náusea. Esses sintomas podem prejudicar significativamente a experiência imersiva dos

usuários em ambientes de XR, gerando a necessidade urgente de soluções eficazes para combater *cybersickness*. Os autores apresentam uma nova abordagem de alta frequência para detectar o momento em que os usuários começam a apresentar os sintomas. Os autores utilizam índices oculares em séries temporais de 1, 5 ou 10 segundos processados por algoritmos de deep learning para prever a gravidade de *cybersickness*. Os autores afirmam ainda que a abordagem é importante não apenas para a avaliação imediata por pesquisadores que investigam a mitigação da *cybersickness*, mas também para a detecção precoce e notificação dos usuários que estão apresentando sintomas.

Li et al. (2022) apresentam um estudo sobre a rede vestibular humana (HVN), que registra simultaneamente sinais fisiológicos autonômicos e sinais neurais gerados nos domínios sensorio-motor e cognitivo. Para o estudo, os autores usaram estímulos de XR em uma ou duas tarefas de entretenimento moderadamente indutoras de *cybersickness*, além de uma tarefa cognitiva leve indutora de *cybersickness* implementada antes e depois das tarefas moderadas. Os resultados mostraram que *cybersickness* prejudica a capacidade de controle cognitivo, representada pelo grau de engajamento atencional, e revelaram que indicadores combinados de todos os três domínios da HVN estabeleceram a melhor relação de regressão com as classificações de *cybersickness*. Os resultados fornecem evidências da participação da HVN em *cybersickness*.

Sra et al. (2016) apresentam um sistema para gerar automaticamente ambientes de realidade virtual imersivos e interativos usando o mundo real como modelo, com o objetivo de que usuários criem mundos virtuais com tamanho e forma diversos, sem equipamentos ou treinamentos especializados, capturando cenas internas em 3D, detectando obstáculos e mapeando áreas caminháveis no ambiente gerado.

Feigl et al. (2019) apresentam dois métodos diferentes de estimativa de pose de câmera (posição e orientação) para a avaliação de tarefas de movimento em um ambiente de XR em grande escala: um modelo simples e um modelo otimizado que permite um mapeamento mais preciso e natural dos sentidos humanos. Os participantes realizaram várias tarefas de movimento (caminhar, equilibrar, correr) em três condições: uma condição de realidade física de base, uma condição de XR com o modelo simples e uma condição de XR com o modelo otimizado. As medidas subjetivas confirmaram que o modelo otimi-

zado de estimativa de pose reduz *cybersickness* e aumenta a presença percebida.

Lee et al. (2022) apresentam um framework avaliação que estima *cybersickness* de espectadores individuais com vídeos de XR e respostas fisiológicas correspondentes. Foi estruturado um guia de estímulo de conteúdo, imitando o fenômeno pelo qual os humanos sentem *cybersickness*. O guia de estímulo de conteúdo extrai uma característica de estímulo profunda de um vídeo de XR para refletir a *cybersickness*. Foi criado também um guia de resposta fisiológica para codificar as respostas fisiológicas adquiridas enquanto os humanos assistem aos vídeos de XR. Cada extrator de características de *cybersickness* fisiológica (EEG, ECG e GSR) no guia de resposta fisiológica é projetado para se adequar às suas características fisiológicas. Para validar o método proposto, foram construídos dois conjuntos de dados de referência que contêm vídeos de XR em 360 graus com respostas fisiológicas (EEG, ECG e GSR) e escores SSQ.

Yang et al. (2023) exploram a dinâmica cerebral e a variabilidade da frequência cardíaca envolvidas em *cybersickness* e utiliza essas informações tanto para prever quanto para detectar episódios de *cybersickness*, onde um dos principais problemas é a falta de ferramentas automatizadas e objetivas para prever ou detectar *cybersickness* em indivíduos, que poderiam ser usadas para treinamento de resistência, sistemas de alerta precoce ou intervenção clínica. Os autores aplicaram aprendizado profundo de EEG em uma arquitetura de rede neural spiking (SNN) para prever *cybersickness* antes do uso de XR.

Uma abordagem que adota o conceito de Metaverso no campo da engenharia civil é apresentada em (Wang et al.; 2022). Embora não enderecem diretamente elementos de realidade virtual, apresentam uma discussão sobre campos de aplicação que podem ser abordados.

Borck & Boddy (2017) abordam algoritmos genéticos para criação de casos, que usa indivíduos para representar os parâmetros iniciais de um simulador de baixa fidelidade e de uma tarefa alvo que deve ser simulada por meio de realidade virtual.

Zahabi & Razak (2020) trabalham com técnicas de treinamento baseadas em realidade virtual adaptável, considerando as capacidades e necessidades do usuário, além de apresentar uma revisão sistemática da literatura, identificando abordagens de treinamento

adaptativo baseadas em XR em diferentes domínios.

Totsuka & Yamaguchi (2023) apresentam uma abordagem para detectar cybersickness antecipadamente, pois a evolução da tecnologia de XR tem sido utilizada em diversas aplicações como medicina e educação, podendo causar efeitos colaterais causando desconforto aos usuários, normalmente os métodos de pré-deteção exigem um grande número de sensores a serem fixados no corpo, o que prejudica muito a experiência de XR, com a temperatura corporal, que pode ser medida sem contato, sendo possível investigar a relação entre a temperatura da pele facial e as características de cybersickness.

Jiang et al. (2023) apresentam um estudo sobre tendência futuras de XR relacionados aos fatores humanos, com isto puderam perceber através dos resultados que XR são dois tópicos de pesquisa de tendência nos últimos anos, com aplicações distribuídas em comunidades de saúde, de jogos e engenharia, portando inferiram que o futuro da XR é ilimitado.

Apresentamos uma síntese dos trabalhos analisadas na Tabela 2, onde os Objetivos são: (To) Ferramenta para construção de ambientes de realidade estendida, (Mt) Método para classificação de técnicas para implementação de soluções de realidade estendida, (S) Sistematização e correlação entre diferentes tecnologias, (A) Abordagem de outros temas relacionados à realidade estendida; e os Domínios de Aplicação (DoApp) são: (XR) Ambientes de Realidade Estendida, (AI) Inteligência Artificial aplicada à geração de aplicações de realidade estendida.

3.2. Trabalhos Relacionados

Como trabalhos relacionados, foram consideramos artigos sobre construção de bases de conhecimento, uso de APIs e elaboração de *dashboards*. Resumimos os trabalhos relacionados na Tabela 3, onde os Objetivos são: (To) Ferramenta para construção de um dos domínios de aplicação relacionados, (Mt) Método para classificação de técnicas para implementação de um dos domínios de aplicação, (S) Sistematização e correlação entre diferentes tecnologias, (A) Abordagem de outros temas relacionados aos domínios de aplicação; e os Domínios de Aplicação (AppDo) são (Kb) Construção e manutenção de Bases de Conhecimento, (Cs) Cybersickness, (Db) Construção de Painéis de Controle e APIs. Conforme apresentado na Tabela 3, em comparação aos demais trabalhos re-

Tabela 2. Síntese dos Trabalhos Analisados

<i>Autores</i>	Objetivo				DoApp	
	<i>To</i>	<i>Mt</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>XR</i>	<i>AI</i>
Yang et al. (2022)		X			X	
Fatahi et al. (2016)			X			X
Rechy-Ramirez et al. (2018)			X		X	
Wen et al. (2024)			X		X	
Guarnera et al. (2017)				X	X	
Altaheri et al. (2021)				X		X
Tasnim et al. (2024)		X			X	
Dwivedi et al. (2018)	X				X	
Liao et al. (2020)		X			X	
Izard et al. (2019)	X				X	
Zhang et al. (2017)		X			X	
Steshina et al. (2021)		X			X	
Shimada et al. (2023)		X			X	
Li et al. (2022)				X	X	
Sra et al. (2016)			X		X	X
Feigl et al. (2019)				X	X	X
Lee et al. (2022)		X			X	
Yang et al. (2023)				X	X	
Wang et al. (2022)				X		
Borck & Boddy (2017)				X	X	
Zahabi & Razak (2020)				X	X	
Totsuka & Yamaguchi (2023)			X		X	
Jiang et al. (2023)				X	X	

lacionados, este trabalho não propõe um novo modelo de pré-processamento de dados, além de apresentar uma revisão de literatura abrangente sobre a aplicação de ferramentas e técnicas de algoritmos em ambientes de XR. Este trabalho também contribuiu para o desenvolvimento de uma base de conhecimento para apoiar desenvolvedores e pesquisadores das áreas de computação e saúde.

Bello López & De Ita Luna (2021) discutem o processo de revisão de crenças e seus desafios, por meio da representação de uma base de conhecimento que permita a adição de novas informações, mesmo que contraditórias, propondo um algoritmo que determina de forma prática quando a base se torna inconsistente.

Su et al. (2019) abordam o uso de Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) e sua relação com sistemas de resposta a perguntas baseados em aprendizagem profunda, em contraste com os métodos tradicionais de consulta estruturada, apresentando um método de aquisição de respostas para construção de bases de conhecimento utilizando uma rede de memória dinâmica e aprendizado de representação para interpretar perguntas em linguagem natural e subgrafos.

Valluripally et al. (2022) discutem o conceito de Realidade Virtual Social para Ambientes de Aprendizado (VRLE), com ênfase na segurança do usuário em domínios como educação, simulações de voo e treinamento militar, apresentando um *framework* para quantificar questões de segurança e privacidade desencadeadas por ataques de imersão e outros tipos de ataques/falhas em VRLE e introduzindo a discussão sobre como tais ataques podem induzir determinados níveis de *cybersickness*.

Sarikaya et al. (2019) introduzem elementos relacionados à utilização de *dashboards*, cujo design e contexto de uso se distinguem significativamente das ferramentas de visualização exploratória, analisando seu emprego prático e classificando seus objetivos de design, níveis de interação, práticas associadas, implementação e utilização.

Sun et al. (2019) apresentam aspectos referentes ao uso de bibliotecas e APIs de terceiros para suportar a evolução e integração de softwares e dashboards, através de uma técnica para recomendação de métodos de APIs existentes por meio da análise de repositórios de software.

Estudos têm destacado a importância de detectar precocemente o comprometimento cognitivo leve (CCL), dada as limitações dos biomarcadores tradicionais, que apresentam altos custos, são invasivos e muitas vezes falham em capturar mudanças comportamentais associadas às atividades instrumentais da vida diária (AIVD). Neste contexto, surge como alternativa o uso de marcadores digitais não invasivos, como o "teste de quiosque virtual". Este método envolve a realização de AIVD em um ambiente de XR, como pedir comida através de um quiosque, para identificar CCL em estágios iniciais. Em um estudo envolvendo 20 pessoas saudáveis e 31 pacientes com CCL, foram identificadas quatro características comportamentais principais que diferenciam os grupos: velocidade de movimento das mãos, proporção de duração da fixação, tempo de conclusão e número de erros. Utilizando um modelo de aprendizado de máquina, foi possível alcançar uma precisão de 93,3%, sensibilidade de 100%, especificidade de 83,3% e precisão de 90%. Esses resultados sugerem que a observação de comportamentos através do teste de quiosque virtual, em um período de 5 minutos, pode ser uma abordagem eficiente para a detecção precoce de CCL, atuando como marcadores digitais confiáveis de XR (Kim et al.; 2024).

Diante do exposto na Seção 3.2, é possível observar a relevância e a complexidade das questões relacionadas à detecção e prevenção de Cybersickness em ambientes de XR. Nesse contexto, o presente trabalho se destaca ao propor uma Base de Conhecimento Científica estruturada e aberta, contribuindo significativamente para a evolução e aprimoramento das estratégias de combate a esse fenômeno. Ao integrar conceitos e técnicas inovadoras, a pesquisa apresentada neste capítulo representa um passo importante rumo à construção de soluções mais eficazes e acessíveis para a comunidade científica, profissionais da área de Computação e Saúde.

Tabela 3. Síntese dos Trabalhos Relacionados

<i>Autores</i>	Objetivo				DoApp		
	<i>To</i>	<i>Mt</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>Kb</i>	<i>Cs</i>	<i>Db</i>
Bello López & De Ita Luna (2021)	X				X		
Su et al. (2019)		X		X	X		
Valluripally et al. (2022)	X					X	
Sarikaya et al. (2019)				X			X
Sun et al. (2019)				X			X
Kim et al. (2024)		X				X	
<i>Esta Dissertação</i>	X	X	X	X	X	X	X

4. Base de Conhecimento Científica para apoio a Detecção e Prevenção de Cybersickness

Apresentamos *Cybersickness Scientific Knowledge Database* (CSKD) (Figura 2), que é composta de um Modelo Entidade-Relacionamento (MER) e de uma Base de Dados populada. As entidades principais da base de conhecimento foram definidas envolvendo conhecimento sobre conceitos relacionados aos métodos e técnicas de ML úteis e aplicáveis no contexto (e.g., diagnóstico, tratamento etc.) de *cybersickness*.

A base de dados do CSKD é um conjunto organizado de dados armazenados de forma estruturada em um banco de dados, servindo como um repositório centralizado para armazenar informações relevantes sobre *cybersickness*. Um banco de dados estruturado refere-se como os dados são organizados de acordo com um modelo de dados bem definido, usando tabelas, relacionamentos e chaves de acesso. Essa estrutura facilita a manipulação e a recuperação eficiente dos dados, permitindo consultas complexas e análises detalhadas. Quando uma base de dados está populada, significa que ela foi preenchida com informações úteis para a sua finalidade específica.

CSKD fornece, por exemplo, artefatos de implementação descritos no Apêndice C (e.g., códigos-fonte e modelos), protocolos médicos de tratamento, medicamentos indicados, dispositivos de XR passíveis de causar *cybersickness*, entre outras informações úteis aos profissionais da área de computação (para desenvolvimento de técnicas de ML) ou de

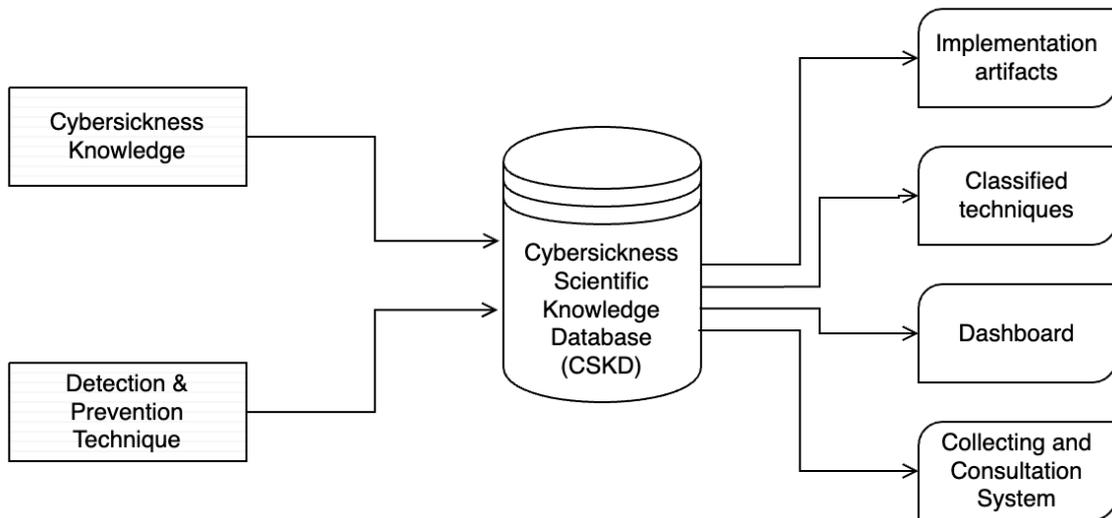


Figura 2. Visão geral do CSKD: entradas e saídas.

saúde (para diagnóstico e tratamento). A documentação de engenharia da base de conhecimento (e.g., MER, diagrama de classes), juntamente com os artefatos de implementação (e.g., JSON, código-fonte da API e da interface gráfica do protótipo de software - dashboard) estão disponíveis publicamente no repositório Github desenvolvido por França et al. (2024).

Na Figura 3, apresentamos o MER (Versão 1.3) de CSKD, contendo as entidades principais propostas, que visam prover informações ou conhecimento essencial para profissionais que lidam com cybersickness. A entidade de banco de dados *Cybersickness* representa o enjoo, ou outras condições de mal estar, que ocorre quando uma pessoa é exposta a ambientes de XR ou outras formas de simulação computacional.

A entidade *DetectionPreventionTechnique* representa as informações relacionadas às técnicas utilizadas para detectar ou prever Cybersickness. Os dados incluem a identificação da técnica, descrição, algoritmo entre outras informações essenciais aos desenvolvedores. A entidade *Immersion* representa aspectos relacionados à imersão dos usuários na experiência de XR, incluindo, por exemplo, o estímulo utilizado, se os usuários se encontravam parados ou em movimento, além do tipo de conteúdo de XR exercitado.

Biosignal representa informações relacionadas aos sinais biológicos utilizados na avaliação. Exemplos de sinais biológicos incluem: ECG (eletrocardiograma), EOG

(eletro-oculograma), taxa de piscar, taxa de respiração, GSR (*Galvanic Skin Response* – resposta galvânica da pele) e temperatura da pele, o tipo de classificação realizada (e.g., detecção). Diferentes algoritmos (e.g., *Fine Gaussian SVM*, linear SVM e KNN) podem ser usados para a classificação, resultando em precisões variadas para diferentes classes, como “cs” (conforto suave), “minor” (desconforto moderado) e “severe” (desconforto grave). A entidade *Questionary* representa informações sobre os estilos de questionários que podem ser utilizados em pesquisas sobre cybersickness. O atributo “rotulado” representa a imersão completa em XR, enquanto o atributo “não rotulado” é composto de uma pontuação SSQ (*Simulator Sickness Questionnaire*) específica.

Device representa informações detalhadas sobre os dispositivos utilizados pelos usuários, tanto no uso de XR quanto na coleta de dados para diagnóstico, e.g., marca e modelo, ano de fabricação, canais específicos dos quais os sinais foram obtidos, faixas de frequência consideradas, entre outras informações críticas ao processo de detecção. Essas informações são essenciais, por exemplo, para compreender o processo de aquisição de dados e a gama de frequências relevantes para a análise dos sinais biológicos.

Reference representa informações detalhadas sobre a fonte, ou seja, artigos técnico-científicos, relatórios técnicos, livros etc., que originaram as informações utilizadas no estudo. *Extraction* representa as informações detalhadas sobre os métodos aplicadas aos sinais biológicos, entre outros recursos importantes usados para escolher as características mais relevantes. *Medication* representa informações detalhadas sobre os diferentes medicamentos utilizados no contexto clínico. Inclui dados como nome do medicamento, dosagem, fórmula, entre outras informações necessárias para garantir a prescrição adequada, evitando interações indesejadas e assegurando o tratamento eficaz dos pacientes.

Protocol representa informações detalhadas sobre os diferentes protocolos e tratamentos médicos aplicados no contexto clínico, por exemplo, nome do protocolo, descrição, entre outras informações para padronizar e definir a eficácia dos procedimentos médicos. *Specialty* representa informações detalhadas sobre as diferentes áreas de especialização no campo da medicina. Inclui dados como nome da especialidade, descrição, entre outras informações essenciais para a organização e classificação dos profissionais de saúde, permitindo uma melhor coordenação e direcionamento dos cuidados aos pacientes.

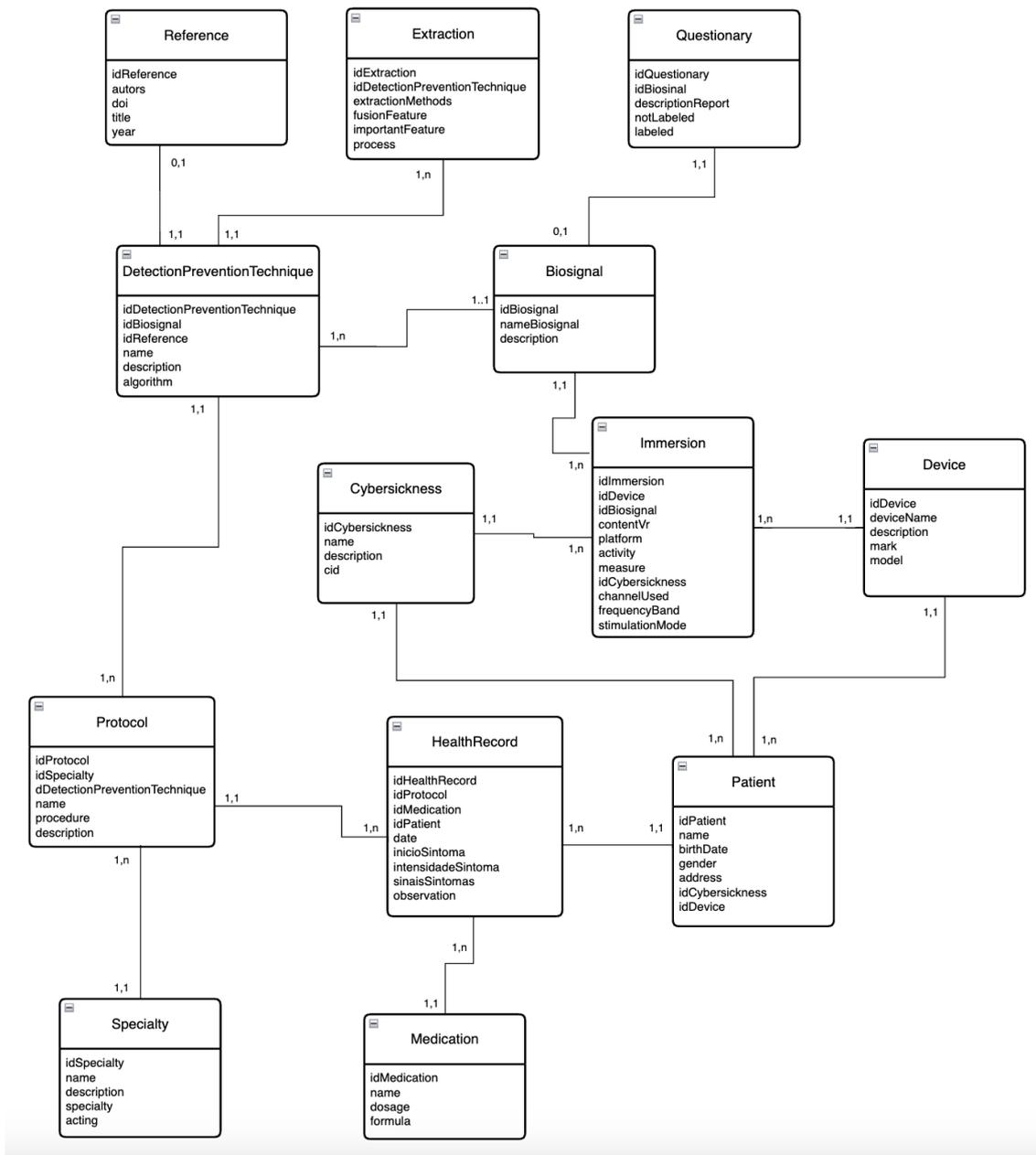


Figura 3. MER (Versão 1.3) de CSKD: principais entidades do banco de dados.

HealthRecord representa informações detalhadas sobre os registros individuais de saúde de cada paciente, incluindo dados sobre paciente, histórico médico e medicamentos. As informações do prontuário médico são essenciais para fornecer um atendimento personalizado e de qualidade, permitindo aos profissionais de saúde uma visão abrangente do estado de saúde de cada paciente. *Patient* representa informações relacionadas aos usuários de XR acometidos pelos sintomas que recebem cuidados médicos, incluindo dados críticos e sensíveis, tais como nome completo, data de nascimento, gênero, endereço, entre outras características pessoais para identificação do paciente.

Desenvolvemos um Dicionário de Dados completo para o CSKD, disponível no GitHub (França et al.; 2024). No Apêndice A (Tabela 4), fornecemos um trecho do dicionário de dados para ilustrar os elementos no modelo proposto do CSKD, destacando entidades essenciais, atributos e relacionamentos para a detecção e prevenção de cybersickness. Ele também estabelece uma base clara para a implementação da base de conhecimento proposta.

4.1. Artefatos de Implementação

Os artefatos de implementação de CSKD representam um passo crucial, pois disponibilizam o código-fonte no repositório do GitHub (França et al.; 2024) e fornecem um ambiente aberto, acessível e colaborativo para a comunidade científica. Artefatos como design, modelo, JSON¹ e código-fonte permitem uma compreensão clara da estrutura do CSKD.

A Figura 4 apresenta uma parte de um artefato de implementação com os atributos das entidades *Biosignal*, *Reference*, *Patient*, *Device*, *Extraction*, *Imersion* e *PreprocessingMethods*. O arquivo JSON completo está no Apêndice B e disponível no GitHub (França et al.; 2024) para desenvolvedores de computação e pesquisadores, fornecendo uma representação estruturada das informações para uma análise técnica mais aprofundada.

O repositório público apoia a disseminação e aplicabilidade do conhecimento. Além disso, os artefatos no CSKD vão além da documentação e do dashboard, abrangendo recursos fundamentais (por exemplo, API como ferramenta de integração). Este

¹JavaScript Object Notation (JSON) é um formato de padrão aberto para troca de dados entre sistemas.

```

[ ]
{ [ ]
  "biosignal":{ [ ]
    "accuracies":"Binary: fine Gaussian SVM: no cs: 57.6%, minor: 74.2%, severe: 81.8%",
    "algorithm":"Fine Gaussian SVM, linear SVM, KNN",
    "binaryMulticlass":"Binary and Multiclass",
    "biosignal":"ECG, EOG, blink rate, breathing rate, GSR",
    "classificationType":"Detection"
  },
  "reference":{ [ ]
    "authors":"Garcia-Agundez A, Reuter C, Becker H, Konrad R, Caserman P, Miede A, Göbel ",
    "doi":"https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0045",
    "title":"Development of a Classifier to Determine Factors Causing Cybersickness in Virtual Reality Environments",
    "year":"2019"
  },
  "patient":{ [ ]
    "ageRange":"-",
    "female":"-",
    "male":"-",
    "mean":"-",
    "people":"66"
  },
  "device":{ [ ]
    "channelsUsed":"-",
    "device":"-",
    "powerBandFrequencies":"-"
  },
  "extraction":{ [ ]
    "featureFusion":"Yes",
    "importantFeatures":"Combination of game content vectors, heart rate, blink rate, respiratory rate, galvanic skin response",
    "selectionMethods":"HR, breathing rate, respiration rate using peak detection algorithm"
  },
  "id":"10028",
  "immersion":{ [ ]
    "modeStimulus":"Oculus rift DK2",
    "movingStill":"None",
    "standingSittingActive":"Active sitting (visual)",
    "vrContent":"VR plane flying"
  },
  "measure":"Electrical potentials of eye movement",
  "preprocessingMethods":{ [ ]
    "preprocessing":"Mean and standard deviation on game content vectors"
  },
}

```

Figura 4. Parte do arquivo JSON apresentando dados recuperados do banco de dados de CSKD.

elemento proporciona aos usuários uma melhor experiência, permitindo uma maior eficiência nos dados e nos resultados apresentados pelo CSKD com outros sistemas. Esta abordagem integrada reforça o compromisso do CSKD em ser uma ferramenta acessível.

4.2. Técnicas de Classificação de Dados

Na definição da classificação de dados implementada no contexto de CSKD para detecção e prevenção de cybersickness, os dados foram coletados a partir de abordagens avançadas de aprendizado de máquina e processamento de sinais relacionados à experiência do usuário em ambientes de XR.

Algoritmos permitiram uma análise detalhada de bio sinais, proporcionando uma

compreensão mais profunda dos padrões associados à ocorrência de cybersickness. No escopo das técnicas de classificação, destaca-se a integração de métodos de fusão de características, com o objetivo de otimizar a combinação de múltiplos sinais biométricos para uma avaliação mais abrangente.

A evolução contínua das técnicas de classificação em CSKD é impulsionada pela constante inserção de informações e pela incorporação de tecnologia em ambientes de XR simulados. Isso garante que o modelo permaneça atualizado em relação às estratégias de detecção e prevenção de cybersickness, adaptando-se às complexidades emergentes e oferecendo uma contribuição para o avanço da pesquisa.

4.3. Inserção de Dados e Consultas

Implementar métodos para inserção e consulta de dados em CSKD garante uma coleta contínua. Os pesquisadores podem realizar consultas, explorando informações relevantes para enfrentar esse desafio em ambientes de XR. A inserção e consulta de dados são críticas na dinâmica de CSKD.

A inserção de dados é cuidadosamente projetada para permitir que os pesquisadores contribuam com novas descobertas e informações relevantes, enriquecendo o CSKD. O processo de inserção promove a contribuição ativa dos pesquisadores, garantindo atualizações constantes.

Quanto às consultas, o CSKD oferece uma interface de usuário robusta e eficiente para extrair informações específicas de forma rápida e precisa. A funcionalidade de consulta flexível, por meio de API (Figura 5) e dashboard, permite que os pesquisadores realizem pesquisas personalizadas, explorando a base de conhecimento de maneira adaptável aos seus objetivos. Isso não apenas simplifica a recuperação de dados relevantes, mas também promove a análise crítica e a compreensão das tendências e padrões associados à cybersickness.

4.4. Pseudocódigo do Protótipo de Software

O algoritmo (pseudocódigo) para implementação da interface gráfica do protótipo de software (dashboard) é apresentado no Apêndice D e consiste na lógica para: i) filtrar informações sobre cybersickness, ii) monitorar a imersão, iii) visualizar o gênero do pa-

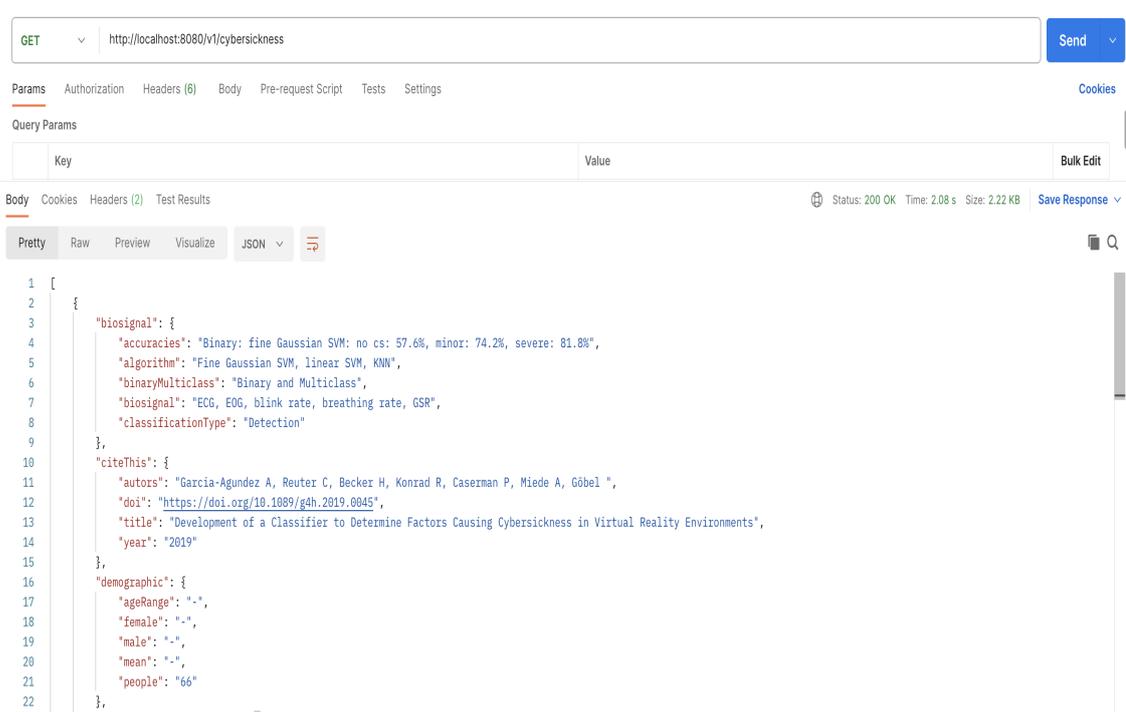


Figura 5. Tela do aplicativo Postman com resultado da execução da API que consulta informações de CSKD.

ciente, iv) visualizações específicas, como fornecer protocolos médicos, v) fornecer uma visão abrangente que contenha indicadores de detecção e prevenção de cybersickness em ambientes de XR, vi) identificar tipos de plataformas, vii) permitir que o visualizador identifique com gráficos de métricas atualizadas os tipos de dispositivos e viii) fornecer especialidade médica.

5. Aplicando CSKD através de um Dashboard

Apresentamos uma implementação do CSKD através de um dashboard. A estrutura de implementação engloba a criação de artefatos, técnicas de classificação de dados, um dashboard proposto, e a criação de funcionalidades para inserção e consulta de dados.

Consideramos um cenário de aplicação no qual equipes de pesquisadores multidisciplinares dos campos da computação e da saúde solicitam informações sobre, por exemplo, como aplicar ML para detectar *cybersickness*. Esses pesquisadores podem consultar o dashboard do CSKD e obter informações relevantes sobre a detecção de *cybersickness* que, até agora, estavam disponíveis de maneira não estruturada e em formatos não adequados para tratamento, como várias tabelas em formato PDF, artigos científicos, relatórios técnicos etc.

Com conhecimento estruturado, centralizado, simplificado, fácil de visualizar e disponível gratuitamente, podemos usar as técnicas e informações fornecidas para realizar várias análises e resumos. O *dashboard* proposto fornece respostas (textuais ou gráficas) para perguntas essenciais, tais como: Quais dispositivos de XR podem causar ou intensificar os sintomas de *cybersickness*? Quais dispositivos de coleta de biossinais podem ser usados para identificar *cybersickness*? Quais características individuais (por exemplo, gênero, idade) impactam na propensão para ser diagnosticado com *cybersickness*? Quais sinais biológicos (por exemplo, sudorese, palpitação, piscar dos olhos) são mais eficazes na detecção ou prevenção de *cybersickness*?

Na Figura 6, apresentamos uma captura de tela do *dashboard* CSKD, projetado para pesquisadores na área da saúde, e que mostra informações críticas de forma amigável e resumida, por exemplo, gráficos e informações necessárias para uma compreensão rápida e clara de *cybersickness*.

A partir da Figura 6, o dashboard proposto oferece uma interface gráfica para classificar dados com as seguintes opções: i) filtrar informações sobre *cybersickness* (Figura 7); ii) monitorar a imersão (Figura 8); iii) visualizar o gênero do paciente (Figura 9); iv) visualizações específicas, como fornecer protocolos médicos (Figura 10); v) fornecer uma visão abrangente que contenha indicadores de detecção e prevenção de *cybersickness* em ambientes de XR (Figura 11); vi) permitir que o visualizador identifique com

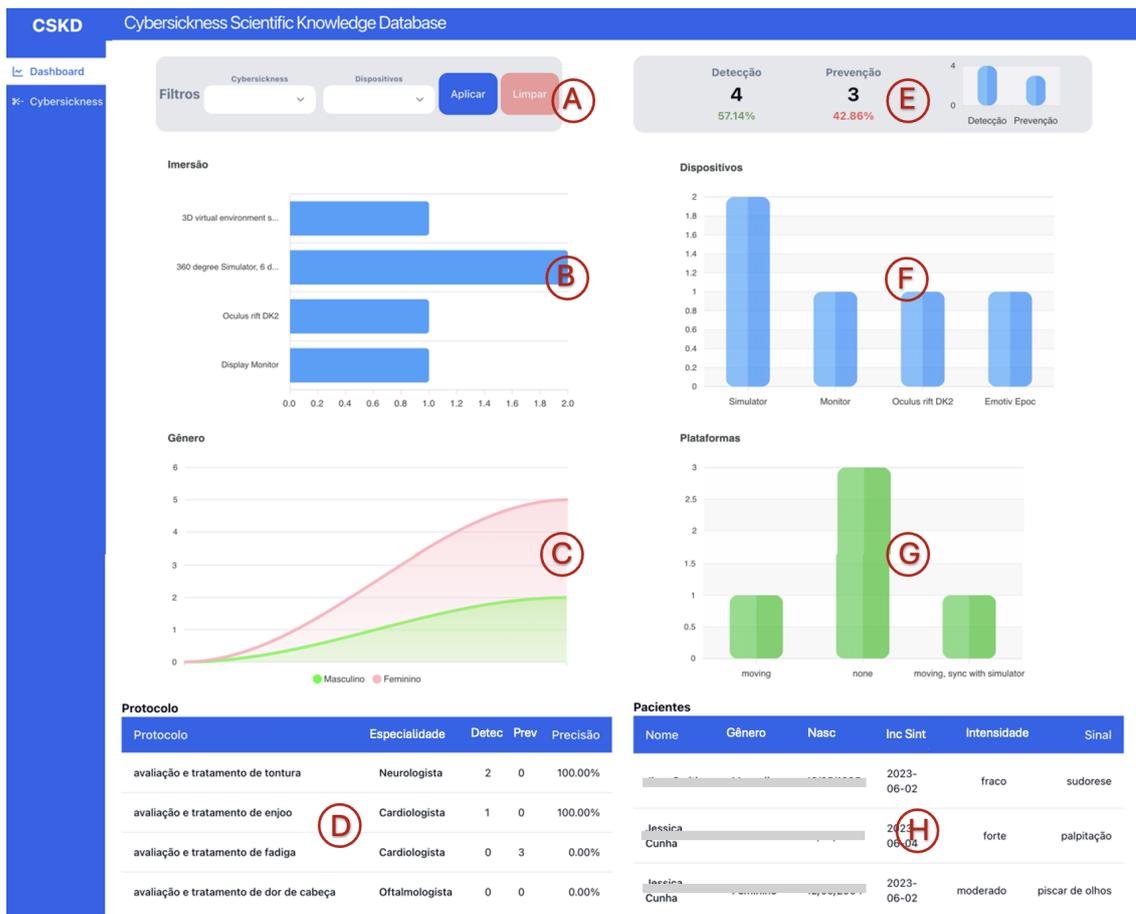


Figura 6. Dashboard de CSKD

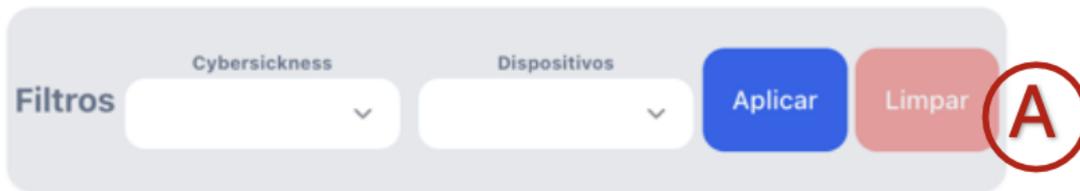


Figura 7. Dashboard: filtros

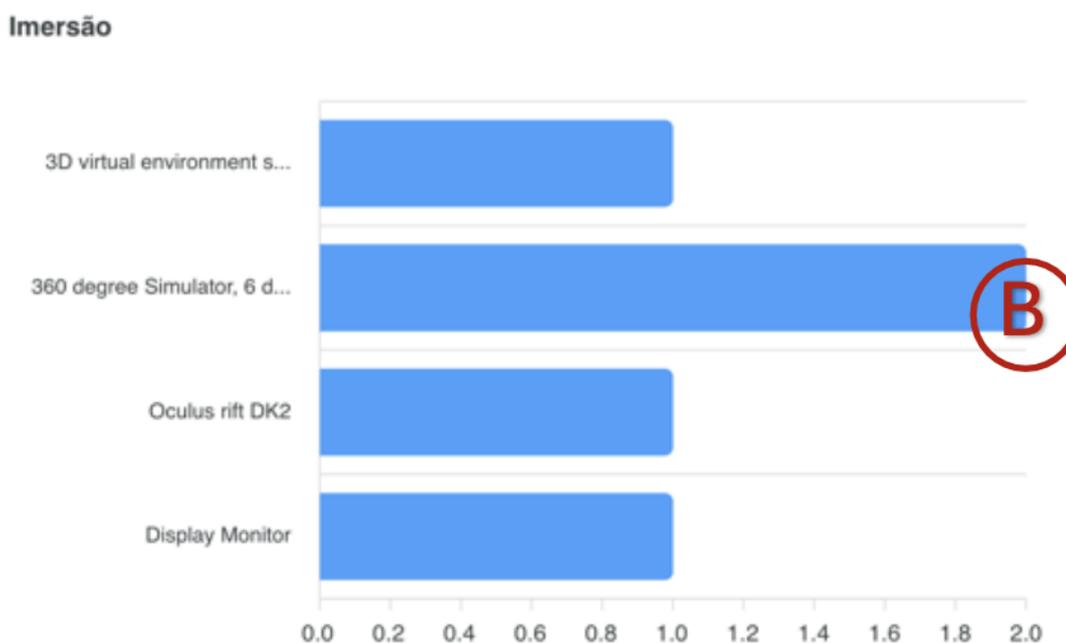


Figura 8. Dashboard: imersão

gráficos de métricas atualizadas os tipos de dispositivos (Figura 12); vii) identificar tipos de plataformas (Figura 13); e viii) fornecer especialidade médica (Figura 14).

A pergunta norteadora "Quais características dos indivíduos (e.g., gênero, idade) impactam na propensão ao diagnóstico de cybersickness?" é fundamental para a compreensão dos fatores que podem influenciar a ocorrência e gravidade da *cybersickness* em diferentes pessoas. A análise do gênero, por exemplo, pode revelar padrões de suscetibilidade distintos entre homens e mulheres, como demonstrado na Figura 9. Além disso, a idade dos pacientes, conforme data de nascimento nos dados da Figura 14, também pode desempenhar um papel significativo na manifestação da *cybersickness*, uma vez que diferentes faixas etárias podem reagir de maneira distinta aos estímulos visuais dos ambientes

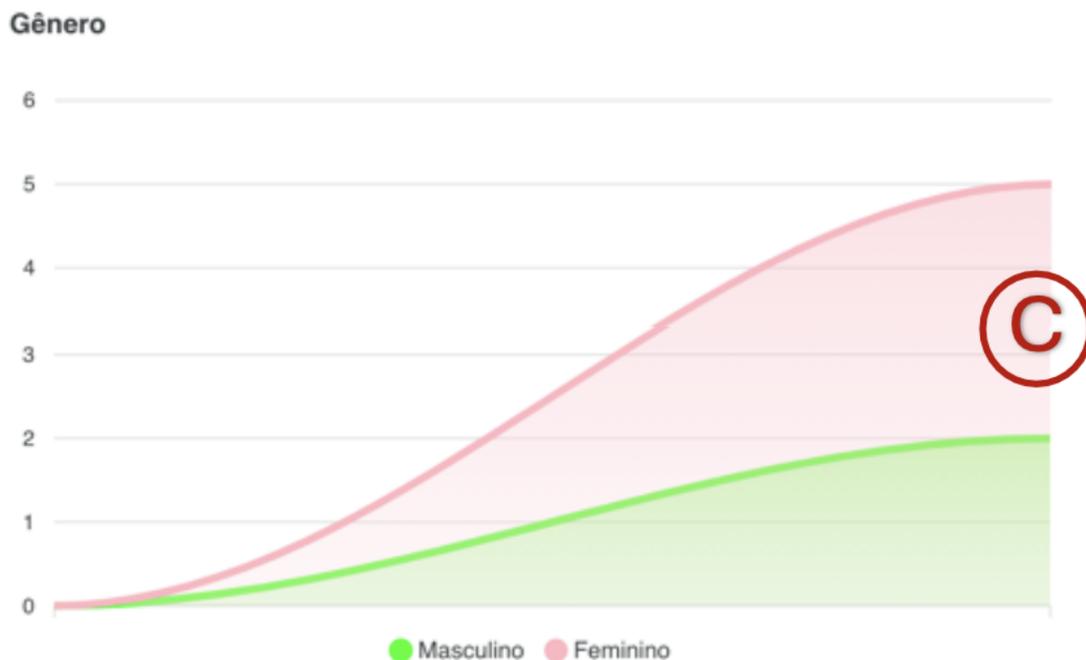


Figura 9. Dashboard: Gênero

de XR.

A pergunta norteadora "Quais sinais biológicos (e.g., sudorese, palpitação, piscar dos olhos) possuem um maior percentual de eficácia na detecção ou prevenção de *cybersickness*?" é crucial para identificar marcadores fisiológicos que podem ser indicativos da ocorrência de *cybersickness* e auxiliar na implementação de estratégias preventivas adequadas. Na Figura 14, são apresentados dados relacionados a esses sinais biológicos. A análise desses sinais biológicos pode revelar padrões de resposta do corpo humano à exposição a estímulos virtuais, permitindo a identificação de *cybersickness*.

Usando o dashboard, podemos obter informações do CSKD através da interface gráfica de forma amigável e resumida para facilitar a compreensão rápida e clara da *cybersickness*. Com a proposta do dashboard, o CSKD se torna mais colaborativo para profissionais técnicos e científicos.

Protocolo

Protocolo	Especialidade	Detec	Prev	Precisão
avaliação e tratamento de tontura	Neurologista	2	0	100.00%
avaliação e tratamento de enjoo	Cardiologista	1	0	100.00%
avaliação e tratamento de fadiga	Cardiologista	0	3	0.00%
avaliação e tratamento de dor de cabeça	Oftalmologista	0	0	0.00%

D

Figura 10. Dashboard: protocolo médico



Figura 11. Dashboard: detecção e prevenção



Figura 12. Dashboard: dispositivos

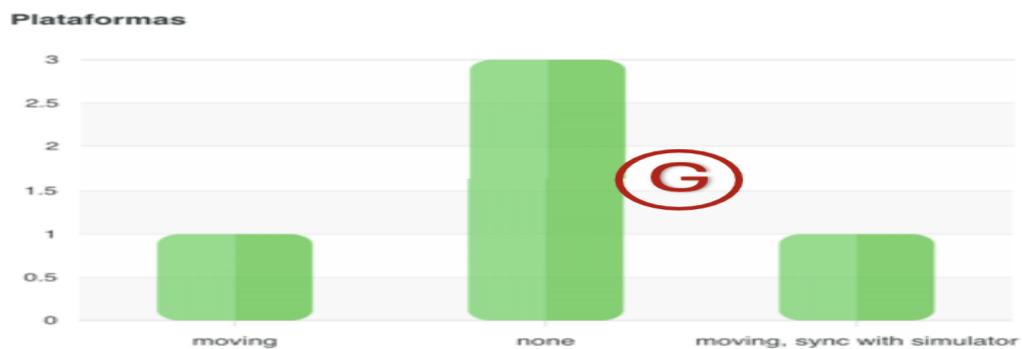


Figura 13. Dashboard: plataformas

Pacientes						
Nome	Gênero	Nasc	Inc Sint	Intensidade	Sinal	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	2023-06-02	fraco	sudorese	
Jessica Cunha	[REDACTED]	[REDACTED]	2023-06-04	forte	palpitação	
Jessica Cunha	[REDACTED]	[REDACTED]	2023-06-02	moderado	pisca de olhos	

Figura 14. Dashboard: pacientes

6. Discussão sobre os Resultados

CSKD pode alimentar com informações úteis para detecção e prevenção de cybersickness devido à capacidade de centralizar e estruturar o conhecimento, permitindo que os pesquisadores realizem análises mais detalhadas. O CSKD tornou-se uma fonte valiosa de informação, proporcionando acesso rápido a conhecimentos anteriormente dispersos. Pesquisadores, tanto no campo da computação quanto no campo médico, agora podem explorar conhecimentos sistematizados sobre técnicas de detecção e prevenção e outras ações relacionadas à cybersickness.

A disponibilidade do código-fonte e da documentação de engenharia de *software* no repositório do GitHub aumentou a reprodutibilidade dos resultados e contribuiu para a transparência. Os pesquisadores podem revisar e validar os métodos usados, promovendo uma cultura de colaboração na comunidade científica. O CSKD tem como objetivo compartilhar conhecimento na área de cybersickness, sendo disponibilizado publicamente, facilitando a aplicabilidade e incentivando a colaboração entre pesquisadores dos campos da computação e da saúde.

Estamos comprometidos em aprimorar continuamente esses recursos, garantindo uma experiência adequada ao usuário e consolidando o CSKD como uma ferramenta essencial. Nosso objetivo é contribuir e beneficiar os seguintes perfis:

- Pesquisadores em Cybersickness - CSKD fornece uma fonte centralizada e sistematizada de informações, permitindo análises detalhadas e avanços mais rápidos na pesquisa de doença cibernética. Sua estrutura promove uma compreensão abrangente das

técnicas de detecção e prevenção.

- Desenvolvedores e Engenheiros de Realidade Virtual - Através do código-fonte e do design do banco de dados (disponíveis gratuitamente), o CSKD oferece insights práticos para aprimorar a experiência do usuário em ambientes de XR. Ele fornece recursos tangíveis para a comunidade de desenvolvimento, promovendo avanços no design de ambientes virtuais.

- Profissionais de saúde e terapeutas - Melhor detecção e prevenção de cybersickness beneficiam os profissionais de saúde, promovendo estratégias mais eficazes no uso terapêutico das tecnologias de XR.

- Estudantes e acadêmicos - Com a disponibilidade de uma revisão abrangente, o CSKD serve como um exemplo prático e uma valiosa fonte de conhecimento para estudantes e acadêmicos interessados em pesquisa sobre cybersickness.

7. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentada uma base de conhecimento (*Cybersickness Scientific Knowledge Database - CSKD*), composta de um Modelo Entidade-Relacionamento e de uma base populada para apoiar as comunidades científica e técnica.

Cybersickness é uma doença com alto potencial de crescimento devido ao uso intensivo de tecnologias de XR. Ao disponibilizar o conhecimento científico em um formato acessível, por meio de um dashboard, de forma rápida e gratuita, os pesquisadores terão acesso a informações valiosas que anteriormente eram desestruturadas e dispersas em diferentes formatos, permitindo a execução de análises mais detalhadas e eficientes. A documentação de engenharia de CSKD e o código-fonte são disponibilizados publicamente, permitindo a replicação e implementação de técnicas computacionais para o estudo de cybersickness.

7.1. Limitações e Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento deste trabalho, algumas limitações foram encontradas. Por exemplo, i) realizar melhorias no dashboard com novas funcionalidades e elementos visuais mais aprimorados, ii) novos artefatos de desenvolvimento de CSKD, iii) estratégias de prevenção de *cybersickness*.

Como trabalhos futuros, abordando a primeira limitação (i), o objetivo será manter uma interface mais amigável como gráficos detalhados e experiência de usuário mais intuitiva, proporcionando uma visão mais clara dos dados em resposta a solicitações de informações. Essa expansão contínua é para refletir o compromisso com a atualização constante do CSKD, mantendo-o relevante e abrangente em relação ao cenário de *cybersickness*.

Com relação à limitação ii, para abordar a implementação de novos artefatos no desenvolvimento da CSKD, será necessário explorar a criação de ferramentas e recursos adicionais que enriqueçam a base de conhecimento existente. Isso pode envolver a inclusão de novos tipos de dados, a expansão das categorias de classificação e a implementação de funcionalidades inovadoras para a detecção e prevenção da *Cybersickness*. O desenvolvimento de novos artefatos tem como objetivo aprimorar a eficácia e a

abrangência da CSKD, garantindo que a base de conhecimento esteja sempre atualizada e alinhada com os desafios nesse campo de estudo.

Por fim, abordando a limitação iii, é fundamental realizar uma análise aprofundada dos fatores de risco e das causas de *cybersickness*. Isso pode envolver a investigação de novas abordagens de intervenção, a avaliação de técnicas de imersão mais seguras, o desenvolvimento de protocolos de monitoramento mais eficazes e a implementação de medidas preventivas personalizadas com base nas características individuais dos usuários.

Embora o trabalho apresentado demonstre avanços significativos na área de detecção e prevenção de *cybersickness*, algumas limitações da pesquisa podem ser identificadas. Entre essas limitações, destaca-se a necessidade de uma amostra mais diversificada e representativa para garantir a generalização dos resultados. Além disso, a falta de estudos ao longo do tempo pode limitar a compreensão dos efeitos a longo prazo das estratégias de detecção ou prevenção. Outro aspecto a considerar é a possibilidade de tendências nos métodos de coleta e análise de dados, o que pode impactar a validade e confiabilidade dos resultados obtidos. Portanto, para futuras pesquisas, é recomendável abordar essas limitações, buscando ampliar a abrangência e a robustez dos estudos realizados no campo da *cybersickness*.

7.2. Resultados da Pesquisa

Como resultados efetivos da pesquisa, cabe destacar um artigo publicado na *26th International Conference on Human-Computer Interaction*, além de um protótipo de software que foi registrado junto ao INPI, detalhados a seguir.

1. **Artigo da Base de Conhecimento** França et al. (2024) – Incluso na área temática “Virtual, Augmented and Mixed Reality” da 26th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII - 2024) (Qualis CC B1), este artigo apresentou o núcleo da proposta de CSKD e foi publicado pela Springer Nature. Este estudo foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). O abstract do artigo é apresentado a seguir:

Abstract. Exploring new data pre-processing features and techniques to improve the accuracy and generalizability of machine learning (ML) models is a concern, especially in the context of disease prevention and detection. We develop and make

available a scientific knowledge base on ML methods and techniques applied to cybersickness detection and prevention. The proposed knowledge base is intended to support researchers and developers working on ML and cybersickness.

2. **Protótipo de Software** - Com o objetivo automatizar e validar o processo de aplicação de CSKD, um protótipo de software foi desenvolvido e registrado. O código-fonte encontra-se disponível na plataforma GitHub (França et al.; 2024). O protótipo foi registrado junto ao INPI sob o título “CSKD Base de Conhecimento para apoio à Detecção e Prevenção de Cybersickness”, por meio do processo número BR512024001893-0 em 06/06/2024. As seguintes linguagens de programação foram utilizadas: i) JSF, para a interface do sistema e ii) Java, para a implementação da lógica de processamento de CSKD, em conjunto a um banco de dados noSQL, conforme apresentado no Apêndice C. As funcionalidades providas pela aplicação são: i) filtrar informações sobre cybersickness, ii) monitorar a imersão, iii) visualizar o gênero do paciente, iv) visualizações específicas, como fornecer protocolos médicos, v) fornecer uma visão abrangente que contenha indicadores de detecção e prevenção de cybersickness em ambientes de XR, vi) identificar tipos de plataformas, vii) permitir que o visualizador identifique com gráficos de métricas atualizadas os tipos de dispositivos e viii) fornecer especialidade médica.

A principal contribuição deste trabalho é a Base de conhecimento estruturada e aberta para prevenção e detecção de cybersickness. O artigos e o protótipo de software desenvolvidos fornecem insights valiosos sobre novas técnicas de pré-processamento de dados e modelos de aprendizado de máquina aplicados à detecção e prevenção de *cybersickness*. Além disso, o acesso à base de conhecimento científico por meio de um *dashboard* representa uma contribuição importante para apoiar pesquisadores e desenvolvedores na área da saúde. A disponibilização do código fonte em repositório público do protótipo de software, registrado junto ao INPI, também destaca a relevância prática do trabalho, permitindo a automação e validação do processo de aplicação da base de conhecimento para detecção e prevenção de cybersickness. Essas contribuições demonstram o compromisso em impulsionar a pesquisa e o desenvolvimento de soluções inovadoras para lidar com os desafios associados à *cybersickness*.

Referências

- Altaheri, H., Muhammad, G., Alsulaiman, M., Amin, S. U., Altuwajri, G. A., Abdul, W., Bencherif, M. A. & Faisal, M. (2021). Deep learning techniques for classification of electroencephalogram (eeg) motor imagery (mi) signals: a review, *Neural Computing and Applications* .
URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06352-5>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* **6**(4): 355–385.
URL: <http://www.cs.unc.edu/azuma>
- Bello López, P. & De Ita Luna, G. (2021). An algorithm to belief revision and to verify consistency of a knowledge base, *IEEE Latin America Transactions* **19**(11): 1867–1874.
- Boeldt, D., McMahon, E., McFaul, M. & Greenleaf, W. (2019). Using virtual reality exposure therapy to enhance treatment of anxiety disorders: Identifying areas of clinical adoption and potential obstacles, *Frontiers in Psychiatry* **10**.
URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2019.00773>
- Borck, H. & Boddy, M. (2017). Automated case generation using a genetic algorithm, Association for Computing Machinery, pp. 187–188.
URL: <https://doi.org/10.1145/3067695.3075603>
- Cardoso, T., R., D., G. A. & J., M. (2001). Management discourses about organizational learning. communication, the tenth european congress on work and organizational psychology, Vol. Communication, The Tenth European Congress on Work and Organizational Psychology, Praga, 16-19 de Maio, República Checa.
- Davis, S., Nesbitt, K. & Nalivaiko, E. (2014). A systematic review of cybersickness, Association for Computing Machinery, pp. 1–9.
URL: <https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>
- Dwivedi, P., Cline, D., Joe, C. & Etemadpour, R. (2018). Manual assembly training in virtual environments, pp. 395–399.
- Fatahi, S., Moradi, H. & Kashani-Vahid, L. (2016). A survey of personality and learning styles models applied in virtual environments with emphasis on e-learning environ-

ments, *Artificial Intelligence Review* **46**: 413–429.

URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9469-7>

Feigl, T., Roth, D., Gradl, S., Wirth, M., Latoschik, M. E., Eskofier, B. M., Philippsen, M. & Mutschler, C. (2019). Sick moves! motion parameters as indicators of simulator sickness, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **25**(11): 3146–3157.

França, M., Rosa, F. & Amaral, A. (2024). Cskd repository. Accessed on January 20, 2024.

URL: <https://github.com/FrancaFilho/cybersickness>

Guarnera, G. C., Ghosh, A., Hall, I., Glencross, M. & Guarnera, D. (2017). Material capture and representation with applications in virtual reality, Association for Computing Machinery.

URL: <https://doi.org/10.1145/3084873.3084918>

Izard, S. G., Méndez, J. A. J., Palomera, P. R. & García-Peñalvo, F. J. (2019). Applications of virtual and augmented reality in biomedical imaging, *Journal of Medical Systems* **43**: 102.

URL: <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1239-z>

Jiang, J., Zhou, G., Duffy, B. M. & Duffy, V. G. (2023). Ar and vr – a review on recent progress and applications, in J. Y. C. Chen, G. Fragomeni & X. Fang (eds), *HCI International 2023 – Late Breaking Papers*, Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 46–63.

Kim, H., Kim, D. J., Kim, S., Chung, W. H., Park, K.-A., Kim, J. D. K., Kim, D., Kim, M. J., Kim, K. & Jeon, H. J. (2021). Effect of virtual reality on stress reduction and change of physiological parameters including heart rate variability in people with high stress: An open randomized crossover trial, *Frontiers in Psychiatry* **12**.

URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2021.614539>

Kim, Y., Park, J., Choi, H., Loeser, M., Ryu, H. & Seo, K. (2024). Decoding behavior: Utilizing virtual reality digital marker and machine learning for early detection of mild cognitive impairment, *Extended Abstracts of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '24, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.

URL: <https://doi.org/10.1145/3613905.3650731>

- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews, *Keele, UK, Keele University* **33**(2004): 1–26.
- Krokos & Varshney (2021). Quantifying vr cybersickness using eeg, *Virtual Reality* **26**(77–89).
- kumar Renganayagalu, S., Mallam, S. C. & Nazir, S. (2021). Effectiveness of vr head mounted displays in professional training: A systematic review, *Technology, Knowledge and Learning* **26**: 999–1041.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10758-020-09489-9>
- LaValle, S. M. (2023a). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 1**: 2–4. [Accessed 06-06-2024].
- LaValle, S. M. (2023b). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 1**: 5–6. [Accessed 06-06-2024].
- LaValle, S. M. (2023c). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 12**: 354. [Accessed 06-06-2024].
- LaValle, S. M. (2023d). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 12**: 348. [Accessed 06-06-2024].
- LaValle, S. M. (2023e). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 12**: 338. [Accessed 06-06-2024].
- LaValle, S. M. (2023f). Virtual Reality - LaValle — lavallo.pl, **Chapter 12**: 355. [Accessed 06-06-2024].
- Lee, S., Kim, S., Kim, H. G. & Ro, Y. M. (2022). Assessing individual vr sickness through deep feature fusion of vr video and physiological response, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* **32**(5): 2895–2907.
- Li, G., McGill, M., Brewster, S., Chen, C. P., Anguera, J. A., Gazzaley, A. & Pollick, F. (2022). Multimodal biosensing for vestibular network-based cybersickness detection, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* **26**(6): 2469–2480.
- Liao, C.-Y., Tai, S.-K., Chen, R.-C. & Hendry, H. (2020). Using eeg and deep learning to predict motion sickness under wearing a virtual reality device, *IEEE Access* **8**: 126784–126796.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1997). Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação, *1997 4nd Criação de conhecimento*

na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação, Vol. Rio de Janeiro : Campus, p. 358.

Rechy-Ramirez, E. J., Marin-Hernandez, A. & Rios-Figueroa, H. V. (2018). Impact of commercial sensors in human computer interaction: a review, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* **9**: 1479–1496.

URL: <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0568-3>

Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M. & Fisher, D. (2019). What do we talk about when we talk about dashboards?, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **25**(1): 682–692.

Shimada, S., Pannattee, P., Ikei, Y., Nishiuchi, N. & Yem, V. (2023). High-frequency cybersickness prediction using deep learning techniques with eye-related indices, *IEEE Access* **11**: 95825–95839.

Sra, M., Garrido-Jurado, S., Schmandt, C. & Maes, P. (2016). Procedurally generated virtual reality from 3d reconstructed physical space, Association for Computing Machinery, pp. 191–200.

URL: <https://doi.org/10.1145/2993369.2993372>

Steshina, L., Petukhov, I., Glazyrin, A., Zlateva, P. & Velez, D. (2021). An intelligent virtual environment for training with dynamic parameters, Association for Computing Machinery, pp. 79–84.

URL: <https://doi.org/10.1145/3442705.3442718>

Su, L., He, T., Fan, Z., Zhang, Y. & Guizani, M. (2019). Answer acquisition for knowledge base question answering systems based on dynamic memory network, *IEEE Access* **7**: 161329–161339.

Sun, X., Xu, C., Li, B., Duan, Y. & Lu, X. (2019). Enabling feature location for api method recommendation and usage location, *IEEE Access* **7**: 49872–49881.

Sutherland, I. E. (1998). *A head-mounted three dimensional display*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, p. 295–302.

URL: <https://doi.org/10.1145/280811.281016>

Tasnim, U., Islam, R., Desai, K. & Quarles, J. (2024). Investigating personalization techniques for improved cybersickness prediction in virtual reality environments, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **30**(5): 2368–2378.

Toschi, J. K., R, S., A, D., R, B., B, K. & V, N. (2017). Motion sickness increases func-

- tional connectivity between visual motion and nausea-associated brain regions, *Auton Neurosci* **202**(108–113).
- Totsuka, K. & Yamaguchi, T. (2023). Predictive indicators of virtual reality sickness: A look into skin temperature disturbance, in J. Y. C. Chen, G. Fragomeni & X. Fang (eds), *HCI International 2023 – Late Breaking Papers*, Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 212–223.
- Valluripally, S., Gulhane, A., Hoque, K. A. & Calyam, P. (2022). Modeling and defense of social virtual reality attacks inducing cybersickness, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing* **19**(6): 4127–4144.
- Wang, X., Wang, J., Wu, C., Xu, S. & Ma, W. (2022). Engineering brain: Metaverse for future engineering, *AI in Civil Engineering* **1**: 2.
URL: <https://doi.org/10.1007/s43503-022-00001-z>
- Wen, E., Gupta, C., Sasikumar, P., Billinghamurst, M., Wilmott, J., Skow, E., Dey, A. & Nanayakkara, S. (2024). Vr.net: A real-world dataset for virtual reality motion sickness research, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **30**(5): 2330–2336.
- Yang, A. H. X., Kasabov, N. & Cakmak, Y. O. (2022). Machine learning methods for the study of cybersickness: a systematic review, *Brain Informatics* **9**: 24.
URL: <https://doi.org/10.1186/s40708-022-00172-6>
- Yang, A., Kasabov, N. & Cakmak, Y. (2023). Prediction and detection of virtual reality induced cybersickness: a spiking neural network approach using spatiotemporal eeg brain data and heart rate variability, *Brain Inf* **10**(15).
- Zahabi, M. & Razak, A. M. A. (2020). Adaptive virtual reality-based training: a systematic literature review and framework, *Virtual Reality* **24**: 725–752.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00434-w>
- Zhang, Y., Fei, G. & Shang, W. (2017). 3d architecture facade optimization based on genetic algorithm and neural network, pp. 693–698.

A. Dicionário de dados

Tabela 4. Dicionário de dados

Entidade	Atributos	Tipo	Relacionamentos
Reference	idReference autors doi title year	Int Text Text Text Int	
Extraction	idExtraction idDetectionPreventionTechnique extractionMethods fusionFeature importantFeature process	Int Int Text Text Text Text	
Questionary	idQuestionary idBiosinal descriptionReport notLabeled labeled	Int Int Text Text Text	
DetectionPreventionTechnique	idDetectionPreventionTechnique idBiosignal idReference name description algorithm	Int Int Int Text Text Text	Reference (idReference) Biosignal (idBiosignal)
Biosignal	idBiosignal nameBiosignal description	Int Text Text	

Tabela 5. Continuação Dicionário de dados

Entidade	Atributos	Tipo	Relacionamentos
Device	idDevice deviceName channelUsed frequencyBand stimulationMode	Int Text Text Text Text	
Immersion	idImmersion idDevice idBiosignal contentVr platform activity measure	Int Int Int Text Text Text Text	Device (idDevice) Biosignal (idBiosignal)
Cybersickness	idCybersickness idImmersion name description cid	Int Int Text Text Text	Immersion (idImmersion)
Patient	idPatient name birthDate gender address	Int, Texto, Data, Texto, Texto	

Tabela 6. Continuação Dicionário de dados

Entidade	Atributos	Tipo	Relacionamentos
HealthRecord	idHealthRecord idProtocol idMedication idCybersickness idPatient date observation	Int Int Int Int Int Date Text	Protocol (idProtocol) Medication (idMedication) Cybersickness (idCybersickness)
Protocol	idProtocol idSpecialty name procedure description	Int Int Text Text Text	Specialty (idSpecialty)
Medication	idMedication name dosage formula	Int Text Text Text	
Specialty	idSpecialty name description specialty acting	Int Text Text Text Text	

B. JSON file

```
[
  {
    "biosignal": {
      "accuracies": "Binary: fine Gaussian SVM: no cs: 57.6%,
minor: 74.2%, severe: 81.8%",
      "algorithm": "Fine Gaussian SVM, linear SVM, KNN",
      "binaryMulticlass": "Binary and Multiclass",
      "biosignal": "ECG, EOG, blink rate, breathing rate, GSR",
      "classificationType": "Detection"
    },
    "citeThis": {
      "authors": "Garcia-Agundez A, Reuter C, Becker H, Konrad R,
Caserman P, Miede A, Göbel ",
      "doi": "https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0045",
      "title": "Development of a Classifier to Determine Factors
Causing Cybersickness in Virtual Reality Environments",
      "year": "2019"
    },
    "demographic": {
      "ageRange": "-",
      "female": "-",
      "male": "-",
      "mean": "-",
      "people": "66"
    },
    "devicesChannelsPowerband": {
      "channelsUsed": "-",
      "device": "-",
      "powerBandFrequencies": "-"
    },
    "featureExtraction": {
      "featureFusion": "Yes",

```

```

    "importantFeatures": "Combination of game content vectors,
    heart rate, blink rate, respiratory rate,
    galvanic skin response",
    "selectionMethods": "HR, breathing rate, respiration rate
    using peak detection algorithm"
  },
  "id": "10028",
  "immersion": {
    "modeStimulus": "Oculus rift DK2",
    "movingStill": "None",
    "standingSittingActive": "Active sitting (visual)",
    "vrContent": "VR plane flying"
  },
  "measure": "Electrical potentials of eye movement",
  "preprocessingMethods": {
    "preprocessing": "Mean and standard deviation on
    game content vectors"
  },
  "reportingStyles": {
    "cybersicknessLabelling": "Entire VR immersion",
    "nonCybersicknessLabelling": "SSQ score cut of",
    "report": "SSQ"
  }
},
{
  "biosignal": {
    "accuracies": "uyuyy",
    "algorithm": "uyuyy",
    "binaryMulticlass": "uyuy",
    "classificationType": "uyuyy"
  },
  "citeThis": {
    "authors": "yuyuy",

```

```

    "doi": "yuyuy",
    "title": "yuyuy",
    "year": "yuyuy"
  },
  "demographic": {
    "ageRange": "uyuyuy",
    "female": "uyuy",
    "male": "yuyuy",
    "mean": "uyuyuy",
    "people": "yuyuy"
  },
  "devicesChannelsPowerband": {
    "channelsUsed": "uyuyy",
    "device": "uyuyy",
    "powerBandFrequencies": "yuyuy"
  },
  "featureExtraction": {
    "featureFusion": "uyuyy",
    "importantFeatures": "yuyuy",
    "selectionMethods": "yuyuy"
  },
  "id": "00001",
  "immersion": {
    "modeStimulus": "yuyuyuy",
    "movingStill": "uyuy",
    "standingSittingActive": "yuyuyy",
    "vrContent": "uyuyy"
  },
  "measure": "ytytyty",
  "preprocessingMethods": {
    "preprocessing": "yuyuy"
  },
  "reportingStyles": {

```

```
        "cybersicknessLabelling": "uyuy",
        "nonCybersicknessLabelling": "yuyuy",
        "report": "yuyuy"
    }
}
]
```

C. Código fonte API, linguagem java

C.1. Pacote resource

```
package br.com.measure.resource;

import br.com.measure.service.CybersicknessService;
import jakarta.inject.Inject;
import jakarta.ws.rs.Consumes;
import jakarta.ws.rs.GET;
import jakarta.ws.rs.Path;
import jakarta.ws.rs.Produces;
import jakarta.ws.rs.core.MediaType;
import jakarta.ws.rs.core.Response;

import java.util.concurrent.ExecutionException;

@Path("/v1")
@Produces(MediaType.APPLICATION_JSON)
@Consumes(MediaType.APPLICATION_JSON)
public class CybersicknessResource {

    @Inject
    CybersicknessService cybersicknessService;

    @GET
    @Path("/cybersickness")
    @Produces(MediaType.APPLICATION_JSON)
    public Response getItem()
        throws ExecutionException, InterruptedException {

        return Response.ok(cybersicknessService
            .listarCybersickness()).build();
    }
}
```

```
    }  
}
```

C.2. Pacote service

```
package br.com.measure.service;  
  
import br.com.measure.entity.Dados;  
import br.com.measure.repository.CybersicknessRepository;  
import jakarta.enterprise.context.ApplicationScoped;  
import jakarta.inject.Inject;  
  
import java.util.List;  
import java.util.concurrent.ExecutionException;  
  
@ApplicationScoped  
public class CybersicknessService {  
  
    @Inject  
    CybersicknessRepository cybersicknessRepository;  
  
    public List<Dados> listarCybersickness() throws ExecutionException,  
        InterruptedException {  
        return cybersicknessRepository.obterListSickness();  
    }  
}
```

C.3. Pacote repository

```
package br.com.measure.repository;  
  
import br.com.measure.entity.Dados;  
import com.google.api.core.ApiFuture;  
import com.google.cloud.firestore.CollectionReference;
```

```

import com.google.cloud.firestore.Firestore;
import com.google.cloud.firestore.FirestoreOptions;
import com.google.cloud.firestore.QuerySnapshot;
import io.quarkus.arc.Unremovable;
import jakarta.enterprise.context.ApplicationScoped;

import java.io.IOException;
import java.util.List;
import java.util.concurrent.ExecutionException;

@ApplicationScoped
@Unremovable
public class CybersicknessRepository {

    private static final String COLLECTION_NAME = "cybersickness";
    private final Firestore firestore;

    public CybersicknessRepository() throws IOException {

        FirestoreOptions firestoreOptions = FirestoreOptions.newBuilder()
            .setProjectId("cybersickness-1ec86")
            .build();
        this.firestore = firestoreOptions.getService();

    }

    public List<Dados> obterListSickness() throws ExecutionException,
    InterruptedException {
        CollectionReference dataCollection =
            firestore.collection(COLLECTION_NAME);
        ApiFuture<QuerySnapshot> future = dataCollection.get();
        QuerySnapshot querySnapshot = future.get();
        if (!querySnapshot.isEmpty()) {

```

```
        return querySnapshot.toObject(Dados.class);
    } else {
        return null;
    }
}
}
```

C.4. Parametrizações e configurações para banco de dados

```
# Open-API
quarkus.smallrye-openapi.path=/openapi
quarkus.smallrye-openapi.title=CRUD API
quarkus.smallrye-openapi.version=1.0

# Configurações do Banco de Dados
#quarkus.datasource.db-kind = mysql
#quarkus.datasource.username = root
#quarkus.datasource.password = root
#quarkus.datasource.jdbc.url = jdbc:mysql://localhost:3306/bd_pessoas

quarkus.google.cloud.credentials-file-path = *****.json
```

D. Pseudocódigo para implementação da interface gráfica do protótipo de software - Dashboard

Função filtrarInformacoesCybersickness():

```
// Implementação básica
dadosFiltrados = FiltrarDados(databaseCybersickness,
periodoTempo="última semana", gravidade="alta")
Retornar dadosFiltrados
```

Função monitorarImersao():

```
// Implementação básica
tempoDeUso = CalcularTempoUso(usuario)
feedbackUsuario = ColetarFeedback(usuario)
Retornar tempoDeUso, feedbackUsuario
```

Função visualizarGeneroPaciente():

```
// Implementação básica
generoPaciente = ConsultarGeneroPaciente(idPaciente)
Retornar generoPaciente
```

Função visualizacoesEspecificas():

```
// Implementação básica
protocolosMedicos = ConsultarProtocolosMedicos()
Retornar protocolosMedicos
```

Função visaoAbrangenteCybersickness():

```
// Implementação básica
indicadoresCybersickness = CalcularIndicadoresCybersickness()
recomendacoesPrevencao = GerarRecomendacoesPrevencao()
Retornar indicadoresCybersickness, recomendacoesPrevencao
```

Função identificarTiposPlataformas():

```

// Implementação básica
tiposPlataformas = IdentificarPlataformasDisponiveis()
Retornar tiposPlataformas

Função visualizadorIdentificarComGraficos():
// Implementação básica
graficosAtualizados = GerarGraficosAtualizados()
Retornar graficosAtualizados

Função fornecerEspecialidadeMedica():
// Implementação básica
especialidadeMedica = ConsultarEspecialidadeMedica()
Retornar especialidadeMedica

// Aplicando o uso das funções:
dadosFiltrados = filtrarInformacoesCybersickness()
tempoDeUso, feedbackUsuario = monitorarImersao()
generoPaciente = visualizarGeneroPaciente()
protocolosMedicos = visualizacoesEspecificas()
indicadoresCybersickness, recomendacoesPrevencao
= visaoAbrangenteCybersickness()
tiposPlataformas = identificarTiposPlataformas()
graficosAtualizados = visualizadorIdentificarComGraficos()
especialidadeMedica = fornecerEspecialidadeMedica()

```