

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Giovana Facchini

**UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL PARA
AVALIAÇÃO DE CAMINHABILIDADE**

Porto Alegre

2024

GIOVANA FACCHINI

**UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL PARA
AVALIAÇÃO DE CAMINHABILIDADE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes

Orientador: Prof. Ana Margarita Larranaga Uriarte, Dra.

Porto Alegre

2024

GIOVANA FACCHINI

**UTILIZAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL PARA
AVALIAÇÃO DE CAMINHABILIDADE**

Essa dissertação foi julgada adequada como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 22 de janeiro de 2024

Prof. Ana Margarita Larranaga Uriarte
Dra. pelo PPGEP/UFRGS
Orientadora

Prof. Michel José Anzanello
Dr. pelo PPGEP/UFRGS
Coordenador do PPGEP/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alejandro Ruiz-Padillo (UFSM)
Dr. pela Universidade de Granada

Shanna Trichês Lucchesi (iRAP)
Dra. pelo PPGEP/UFRGS

Prof.^a Christine Tessele Nodari (UFRGS)
Dra. pelo PPGEP/UFRGS

Dedico esse trabalho a minha vó Sônia (*in memoriam*),
que sempre me incentivou a acreditar nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof. Ana Margarita Larranaga Uriarte, minha orientadora, por todos os ensinamentos e incentivos durante o curso de mestrado e na realização desse trabalho.

Agradeço a todos os professores e colegas do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN), pelos aprendizados e experiências compartilhadas. Em especial à Mariana, que me levou para o mestrado e sempre esteve presente me apoiando ao longo desse percurso.

Agradeço aos integrantes da banca examinadora por sua valiosa contribuição ao trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento à pesquisa científica e apoio financeiro.

Agradeço a todos os meus amigos, desde as colegas de colégio, colegas de graduação e hoje colegas de profissão, por se fazerem presentes em mais uma etapa da minha vida e por todos os momentos compartilhados ao longo da nossa amizade.

Agradeço à minha família, por todo suporte, amor e compreensão e por sempre me apoiarem a continuar estudando.

RESUMO

A caminhabilidade, um termo que se refere à qualidade dos espaços urbanos para caminhadas, avalia critérios como segurança, conforto e conveniência. Este conceito abrange a maneira pela qual o ambiente construído estimula a caminhada, considerando fatores como a infraestrutura das calçadas, a atratividade visual, a densidade habitacional e a percepção de segurança. Para a elaboração dos índices de caminhabilidade, dados de percepção são usualmente extraídos de pesquisas que descrevem situações através de texto e/ou imagens. Neste contexto, esta dissertação visa explorar a Realidade Virtual (RV) como uma ferramenta inovadora para coletar dados sobre caminhabilidade, conduzindo análises qualitativas e quantitativas de estudos recentes. Ademais, propõe-se a implementação de cenários virtuais tridimensionais em um estudo de preferência declarada, com o objetivo de identificar os elementos urbanos que influenciam a decisão de caminhar e comparar esses resultados com aqueles obtidos por métodos tradicionais, que se baseiam em imagens estáticas. Dividida em dois artigos, a dissertação aborda, no primeiro artigo, uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da RV em estudos de caminhabilidade, destacando as principais ferramentas usadas e identificando as vantagens e desvantagens da RV em relação às coletas tradicionais. Essa revisão revelou um crescente interesse no tema, especialmente em 2021 e 2022, com destaque para o uso de imagens do *Google Street View* e ferramentas de geoprocessamento (GIS). A RV se distingue por proporcionar um nível mais elevado de detalhe e realismo, apesar de ter custos mais altos e limitar o número de participantes nos experimentos. Já o segundo artigo se concentra em uma pesquisa de preferência declarada utilizando cenários virtuais tridimensionais, representando diferentes características urbanas. A pesquisa foi conduzida online com 436 participantes e presencialmente com 57, utilizando equipamento imersivo de RV. Os resultados indicaram uma concordância razoável/moderada entre as escolhas dos participantes nos dois ambientes. O modelo logit multinomial foi empregado para analisar as preferências, revelando que atributos como a *Atratividade* e a *Qualidade do pavimento* foram mais valorizados, diferindo das coletas com imagens estáticas. Além disso, a RV mostrou vantagens na identificação de aspectos como *Comércio* e *Riscos de sinistros*, graças à sua natureza imersiva. Os vídeos utilizados na etapa online se mostraram eficazes, com resultados consistentes com aqueles obtidos na RV, indicando que esta abordagem pode adicionar realismo ao mesmo tempo que facilita a coleta de dados, devido ao alcance das pesquisas.

Palavras-chave: preferência declarada, ambiente urbano, modelo Logit Multinomial, infraestrutura urbana.

ABSTRACT

Walkability, a term that refers to the quality of urban spaces for walking, evaluates criteria such as safety, comfort, and convenience. This concept encompasses how the built environment encourages walking, considering factors such as sidewalk infrastructure, visual attractiveness, residential density, and perceptions of safety. For the development of walkability indices, perception data are usually extracted from surveys describing situations through text and/or images. In this context, this dissertation aims to explore Virtual Reality (VR) as an innovative tool for collecting walkability data, conducting qualitative and quantitative analyses of recent studies. Furthermore, it proposes the implementation of three-dimensional virtual scenarios in a stated preference study, with the goal of identifying urban elements that influence the decision to walk and comparing these results with those obtained by traditional methods, which are based on static images. Divided into two articles, the dissertation addresses, in the first article, a systematic review of the literature on the use of VR in walkability studies, highlighting the main tools used and identifying the advantages and disadvantages of VR compared to traditional collections. This review revealed a growing interest in the topic, especially in 2021 and 2022, with emphasis on the use of Google Street View images and geoprocessing tools (GIS). VR stands out for providing a higher level of detail and realism, despite having higher costs and limiting the number of participants in experiments. The second article focuses on a stated preference study using three-dimensional virtual scenarios, representing different urban characteristics. The research was conducted online with 436 participants and in-person with 57, using immersive VR equipment. The results indicated a reasonable/moderate agreement between the choices of participants in both environments. The multinomial logit model was employed to analyze preferences, revealing that attributes such as *Attractiveness* and *Pavement quality* were more valued, differing from collections with static images. Additionally, VR showed advantages in identifying aspects such as *Commerce* and *Risk of Accident*, thanks to its immersive nature. The videos used in the online phase proved to be effective, with results consistent with those obtained in VR, indicating that this approach can add realism while facilitating data collection, due to the reach of the research.

Keywords: stated preference, urban environment, Multinomial Logit model, urban infrastructure

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Software stArt para apoio a revisões sistemáticas	20
Figura 2 - Termos de busca	21
Figura 3 - Processo de pesquisa de artigos	21
Figura 4 - Quantidade de artigos por ano de publicação	27
Figura 5 - Classificação dos métodos de coleta por escala das variáveis e ano	29
Figura 6 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	40
Figura 7 - Exemplos de cenários de escolha no questionário online (print dos vídeos).....	43
Figura 8 - Voluntárias realizando o experimento	43
Figura 9 - Diferenças entre sintomas de SS antes e depois do experimento	47
Figura 10 - Relação entre os sintomas de SS depois do experimento e concordância	48
Figura 11 - Efeitos marginais	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de estudos por tipo de coleta de dados aplicada	28
Tabela 2 - Níveis dos atributos pesquisados.....	41
Tabela 3 - Caracterização das amostras quanto à renda, escolaridade e ocupação	46
Tabela 4 - Resultados do modelo com efeito painel.....	49
Tabela 5 - Resultados do modelo de coeficientes aleatórios	49
Tabela 6 - Resultados dos modelos MNL	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	14
2.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	14
2.1.1 Objetivo Geral.....	14
2.1.2 Objetivos Específicos	14
2.2 JUSTIFICATIVA.....	15
2.3 LIMITAÇÕES.....	15
2.4 DELINEAMENTO	15
3 ARTIGO 1: MÉTODOS ALTERNATIVOS DE COLETA DE DADOS DE CAMINHABILIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM ÊNFASE EM REALIDADE VIRTUAL.....	17
3.1 INTRODUÇÃO	18
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3.3 DESCRIÇÃO DA LITERATURA	22
3.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	26
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS ARTIGO 1.....	32
4 ARTIGO 2: REALIDADE VIRTUAL EM PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA PARA AVALIAÇÃO DA CAMINHABILIDADE	36
4.1 INTRODUÇÃO	37
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
4.2.1 Projeto experimental e desenvolvimento dos bairros fictícios	40
4.2.2 Coleta de dados	41
4.2.3 Análise de dados	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS ARTIGO 2.....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO	55
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Os modos de transporte ativos desempenham um papel crucial no desenvolvimento de sistemas de transporte sustentáveis, tornando as cidades acessíveis, seguras e inclusivas. Sendo assim, podem contribuir diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente para o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis.

O modelo de desenvolvimento urbano brasileiro ainda tem priorizado investimentos em infraestrutura para o deslocamento de veículos motorizados particulares, como carros e motocicletas, em detrimento aos modos ativos, como o transporte público, a pé e a bicicleta (ITDP, 2022). Apesar disso, os deslocamentos a pé apresentam um percentual maior do que as viagens realizadas por transporte individual motorizado em municípios brasileiros com mais de 60 mil habitantes (ANTP, 2020). A prevalência de deslocamentos a pé e por bicicleta é uma característica marcante das cidades latino-americanas, assim como a desigualdade na distribuição do espaço e a disparidade nos investimentos quando comparados aos modos motorizados (Rivas e Serebrisky, 2021).

O conceito de caminhabilidade (*walkability*, em inglês) tem sido utilizado em diversos estudos para descrever a qualidade dos espaços para caminhada em termos de segurança, conforto e conveniência, onde esses espaços se tornam atraentes para a realização dessas viagens (Burden, 2001; Litman, 2003). Esse conceito refere-se à medida que o ambiente construído é convidativo aos pedestres (Abley, 2005), e envolve aspectos como as condições e as dimensões das calçadas, a atratividade, a densidade residencial e a percepção de segurança pública e viária.

Os índices de caminhabilidade identificados na literatura consideram aspectos do ambiente construído em nível de meso e microescala. Os índices em mesoescala, conforme definido por Bivina et al. (2020), sintetizam aspectos do ambiente construído e social em pequenas escalas territoriais, como setores censitários ou bairros, incorporando variáveis como densidade populacional e criminalidade. Exemplos de índices compostos em mesoescala incluem o *Walk Score*, que considera fatores como comprimento de quadra, densidade de interseções e acessibilidade a destinos específicos. Esses índices baseiam-se em dados de grande escala comumente disponíveis sobre a conveniência do ambiente para caminhadas e são amplamente utilizados em pesquisas (Fonseca et al., 2021).

Já os índices de caminhabilidade em microescala focam na amigabilidade para pedestres em nível de ruas ou interseções, avaliando aspectos como calçadas, travessias de pedestres, iluminação e arborização, entre outros (Bivina *et al.*, 2020). Nesse contexto, há influência direta na qualidade da experiência de caminhada, afetando fatores como conforto e segurança (Clifton e Livi, 2004; Jensen *et al.*, 2017; Lee e Dean, 2018). Esses índices são geralmente coletados por meio de auditorias detalhadas e incluem ferramentas o *Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes* (MAPS) em seus vários formatos, com o MAPS-Mini sendo o mais utilizado em pesquisas recentes (Bartzokas-Tsiompras e Photis, 2021; Daley *et al.*, 2022).

Na elaboração dos índices, são utilizados dois conjuntos distintos de dados: (i) dados objetivos e/ou subjetivos para mensurar as características de caminhabilidade no ambiente em análise e (ii) dados de percepção, permitindo a quantificação do impacto de cada característica para a população examinada, levando em consideração suas preferências. Ambos os conjuntos de dados são tipicamente extraídos de pesquisas com experimentos estáticos.

Um exemplo de fonte abrangente de mensuração de características de caminhabilidade no nível da rua é o banco de dados do *Google Street View* (GSV). As imagens do GSV têm um alto potencial de aplicação em modelos de pedestres e ciclistas, pois permitem a coleta contínua de informações na rede avaliada e representam a experiência ao nível dos olhos do observador, tendo uma grande semelhança com o que os pedestres veem nas ruas (Anderson, 2017; Yin *et al.*, 2015). Em relação aos dados de percepção, usualmente são apresentadas situações de escolha por meio de textos e/ou imagens. Esses experimentos forçam os respondentes a se imaginarem nessas situações ou lembrarem das suas viagens recentes, o que pode atribuir vies nas estimações e nos resultados obtidos.

Embora o GSV, assim como as pesquisas de percepção, tenha demonstrado confiabilidade na coleta de dados de caminhabilidade, é importante considerar suas limitações, principalmente que se baseiam em imagens estáticas. Imagens estáticas ou representações bidimensionais do ambiente podem limitar a percepção e a compreensão do espaço urbano (Heft e Nasar, 2000). Nesse sentido, experimentos em ambiente de realidade virtual (RV) possuem o potencial de proporcionar uma impressão mais dinâmica e integral do ambiente e, assim, inserir os indivíduos em contextos predeterminados, agregando realismo e reduzindo os vieses decorrentes das análises realizadas (Birenboim *et al.*, 2019).

A literatura internacional tem destacado a utilização de ambientes virtuais tridimensionais para obtenção de preferências e percepções dos indivíduos através da produção de vídeos que simulam a perspectiva de um pedestre em movimento (Kasraian *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2022). Também se observa a adoção de tecnologias imersivas de realidade virtual (RV), como o uso de dispositivos *Head-Mounted Display* (HMD) para coleta de dados de percepção (Nakamura, 2021) e para medidas objetivas (Kim e Lee, 2022). Nesse último, foi identificado que a utilização desses equipamentos resulta em uma maior concordância com as coletas em campo do que quando comparadas as imagens em GSV com o campo.

Diante desse cenário, esse trabalho visa investigar a utilização da Realidade Virtual como ferramenta para coleta de dados de caminhabilidade, analisando quali e quantitativamente os estudos publicados nos últimos anos. Adicionalmente, é proposta uma aplicação de cenários tridimensionais fictícios em uma pesquisa de preferência declarada, a fim de quantificar o impacto das características urbanas que impactam na decisão do ato de caminhar e comparar os resultados obtidos através desses cenários virtuais com os resultados provenientes de coletas tradicionais que utilizam imagens estáticas.

Essa dissertação está dividida em cinco capítulos: i) Introdução; ii) Diretrizes da Pesquisa; iii) Artigo 1: Métodos Alternativos de Coleta de Dados de Caminhabilidade: uma Revisão Sistemática com Ênfase em Realidade Virtual; iv) Artigo 2: Realidade Virtual em Pesquisa de Preferência Declarada para Avaliação da Caminhabilidade; e v) Considerações Finais da Dissertação.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Os itens a seguir apresentam as diretrizes adotadas para desenvolvimento desse trabalho, subdivididas em objetivos da pesquisa, justificativa, limitações e delineamento.

2.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa, classificados em objetivo geral e objetivos específicos, são descritos nos tópicos a seguir.

2.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é aprofundar a compreensão e investigar a utilização da Realidade Virtual como ferramenta para coleta de dados de caminhabilidade, de forma a ampliar os conhecimentos sobre sua aplicação na avaliação de características do ambiente construído.

2.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- a) analisar quali e quantitativamente os estudos existentes a respeito dos métodos alternativos de coleta de dados de caminhabilidade, com enfoque na realidade virtual, através de uma revisão sistemática da literatura;
- b) analisar o uso da Realidade Virtual em uma pesquisa de preferência declarada para quantificação das características urbanas que estimulam a caminhabilidade, a partir do desenvolvimento de bairros fictícios em vídeos e cenários tridimensionais imersivos;
- c) investigar a ocorrência de sintomas de *Simulator Sickness* durante a aplicação da pesquisa de preferência declarada com equipamento imersivo de realidade virtual;
- d) identificar os atributos do ambiente construído mais valorizados a partir das diferentes coletas e comparar os resultados da pesquisa de preferência entre si (vídeos x cenários tridimensionais imersivos) e com dados coletados em pesquisas tradicionais.

2.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho tem por justificativa sua contribuição na exploração do uso da Realidade Virtual (RV) como ferramenta de investigação das preferências associadas à caminhabilidade, no que tange aos atributos do ambiente construído. Até o presente momento, a maioria dos estudos, tanto no âmbito nacional quanto internacional, recorreu a metodologias estáticas, descrevendo as situações de escolha apenas por meio de imagens e texto. A abordagem através da RV possibilita incrementar o realismo do experimento, minimizando possíveis distorções nas estimativas dos parâmetros. A utilização de cenários virtuais fictícios permite um maior controle das variáveis a serem estudadas. Ainda, destaca-se a importância da busca por métodos de coleta de dados alternativos ao *Google Street View*, banco de dados que não permite a extração das informações.

2.3 LIMITAÇÕES

Este estudo limita-se em relação ao período temporal dos artigos incluídos na revisão sistemática de literatura, incluindo somente os trabalhos publicados entre janeiro de 2013 e setembro de 2022. Além disso, os dados relativos à pesquisa de preferência declarada limitam-se à coleta de dados realizada nos meses de junho e julho de 2023, de forma online e presencial com moradores de Porto Alegre e Região Metropolitana.

2.4 DELINEAMENTO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos distintos. O primeiro capítulo apresenta uma **introdução** geral dos tópicos abordados ao longo do trabalho. O segundo capítulo detalha as **diretrizes da pesquisa**, os objetivos gerais e específicos, a justificativa por trás do estudo e suas limitações. O terceiro capítulo apresenta o primeiro artigo que compõe esta dissertação, que consiste em uma **revisão sistemática da literatura** sobre as ferramentas de coleta de dados de caminhabilidade, com enfoque na realidade virtual. O quarto capítulo se constitui no segundo artigo desta dissertação, que realiza a aplicação de uma pesquisa de preferência declarada para quantificação das características do ambiente construído que influenciam na caminhabilidade a partir do desenvolvimento de ambientes virtuais em vídeos e em cenários tridimensionais imersivos. Ambos os artigos apresentados são versões corrigidas e ampliadas dos artigos aceitos e publicados nos Anais do 37º Congresso da ANPET que foi realizado entre os dias 6 e 10 de novembro de 2023, em Santos/SP, como requisito do regimento de mestrado acadêmico do

PPGEP/UFRGS. Por fim, o quinto capítulo traz as **considerações finais** da dissertação, incluindo uma análise dos resultados obtidos, as limitações do estudo e possíveis sugestões para pesquisas futuras.

3 ARTIGO 1: MÉTODOS ALTERNATIVOS DE COLETA DE DADOS DE CAMINHABILIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM ÊNFASE EM REALIDADE VIRTUAL

RESUMO

Esse estudo realizou uma revisão sistemática da literatura de forma a identificar as ferramentas e fontes de dados que são utilizadas para auditorias de caminhabilidade como alternativas às medições de campo, levando em conta as limitações de escala dos atributos estudadas, e identificando as vantagens e desvantagens das coletas em realidade virtual (RV). Foram analisados 41 trabalhos que indicavam o método de coleta e apresentavam as variáveis coletadas. Os métodos mais observados foram o *Google Street View* e ferramentas *GIS-based*, sendo essa última focada principalmente em atributos de mesoescala. Somente 7 artigos encontrados citam o uso de RV, indicando como vantagens a possibilidade de identificação de meso e microescala individualmente e possibilidade de aplicação em grande escala espacial. As desvantagens desse método são o alto custo e limitação do número de voluntários. O reconhecimento dessas características é relevante para trabalhos futuros envolvendo caminhabilidade e RV, principalmente com equipamentos imersivos.

Palavras-chave: caminhabilidade; realidade virtual; imersão; revisão sistemática.

ABSTRACT

In order to identify the tools that are used for walkability audits as alternatives to field audits, taking into account the scale constraints of the studied attributes and identifying the advantages and disadvantages of data collection in virtual reality (VR), a systematic literature review was carried out. Forty-one papers that indicated the data collection method and presented the collected attributes were analyzed. The most observed methods were Google Street View and GIS-based tools, the latter being mainly focused on mesoscale attributes. Only 7 articles found cite the use of VR, indicating as advantages the possibility of meso and microscale identification separately and the possibility of application on a large spatial scale. The disadvantages of this method are the higher cost and limitation of the number of volunteers. The recognition of these characteristics is relevant for future work involving walkability and VR, especially with immersive equipment.

Keywords: walkability; virtual reality; immersive; systematic review.

3.1 INTRODUÇÃO

Cerca de 40% dos deslocamentos realizados em 2018 em 533 municípios do Brasil com mais de 60 mil habitantes foram feitos a pé (ANTP, 2020), enquanto 28% são realizados por transporte coletivo e 26% em transporte individual por automóvel. O expressivo número de viagens feitas por esse modo ativo reforça a necessidade da avaliação e qualificação dos espaços destinados ao transporte a pé.

O termo caminhabilidade é utilizado para definir as relações entre o ambiente construído e o ato de caminhar, e pode ser medido através de atributos do espaço urbano vistos pelo ponto de vista do pedestre (ITDP, 2018). A primeira ferramenta para medir a caminhabilidade encontrada na literatura foi elaborada por Bradshaw (1993), com 10 categorias para mensurar a caminhabilidade nas ruas de Ottawa (Canadá). Itens como a densidade populacional, número de lugares para sentar-se em bancos e chances de encontrar um conhecido durante a caminhada são exemplos dos atributos mensurados.

A maioria dos estudos que desenvolveram índices de caminhabilidade nas últimas décadas focam em atributos de mesoescala do ambiente construído, ao analisar as correlações e o impacto nas caminhadas (Ferrer *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2014). Os fatores mensurados envolvem principalmente densidade residencial, uso do solo e conectividade entre vias, elementos baseados nos estudos elaborados por Cervero e Kockelman (1997), que propuseram três principais dimensões a serem avaliadas: densidade, diversidade e design (3D's).

Apenas nos últimos anos os autores começaram a usar medidas de microescala para mensurar a caminhabilidade (Anapakula e Eranki, 2021; Larranaga *et al.*, 2018). Uma revisão bibliográfica elaborada por Arellana *et al.* (2020) a respeito dos estudos sobre caminhabilidade elaborados entre 2009 e 2018 mostrou que somente 14% das pesquisas incluem fatores de microescala. Isso pode estar relacionado ao fato de que o emprego desses fatores pode impor desafios à coleta de dados, exigindo maior quantidade de tempo e recursos (Lucchesi *et al.*, 2021). Dado esse contexto, a aferição dos índices de caminhabilidade através do uso de ferramentas de realidade virtual (RV) pode apresentar vantagens frente à coleta de dados a partir de fotos, visto que a falta de movimento em representações estáticas de espaços pode limitar as percepções do ambiente (Heft e Nasar, 2000).

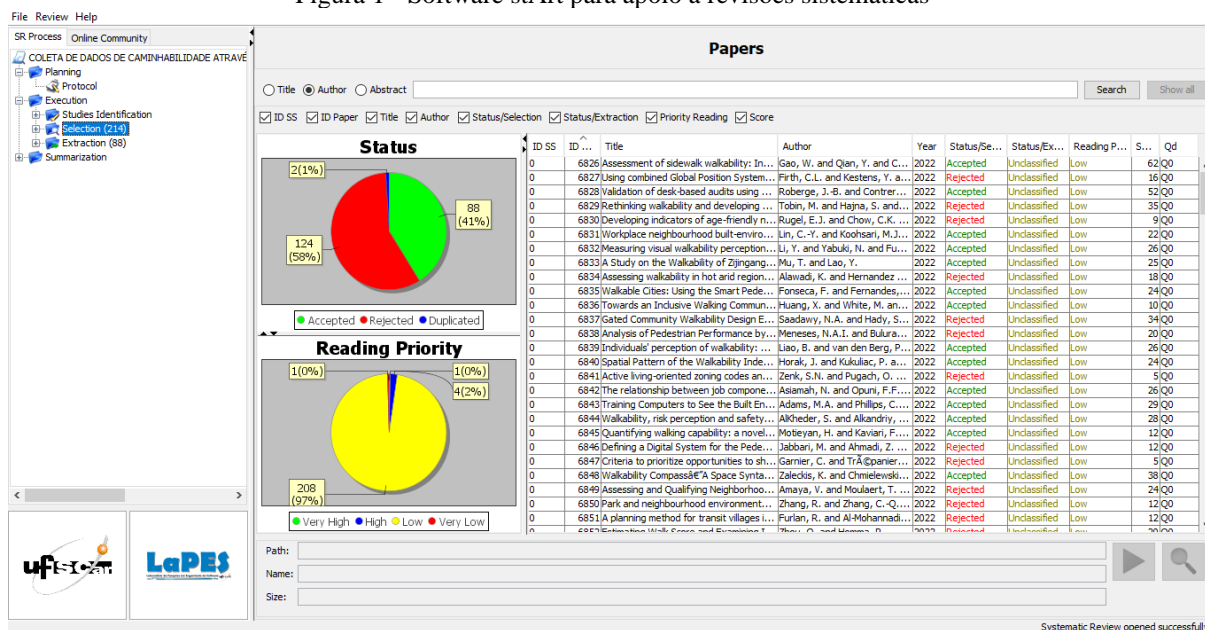
Tendo em vista a disponibilidade de diferentes tecnologias para a coleta de dados a respeito da caminhabilidade nas vias urbanas e a baixa utilização de fatores de microescala nesses estudos, esse estudo tem como objetivo identificar quais são as ferramentas utilizadas para auditorias de caminhabilidade e as suas limitações de escala, por meio de uma revisão sistemática da literatura produzida na área nos últimos anos. Ainda, considerando as limitações de tempo e recurso, essa análise se limitará à trabalhos que utilizaram métodos alternativos às medições de campo, buscando também identificar as vantagens e desvantagens das coletas que utilizam RV.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração da revisão sistemática desse estudo, foi utilizado o *software* StArt (*State of the Art through Systematic Review – Figura 1*). A ferramenta foi desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* da Universidade Federal de São Carlos (LAPES-UFSCar) com o objetivo de facilitar e dar suporte à condução de revisões sistemáticas de literatura (Zamboni *et al.*, 2010), dividindo a revisão em três etapas: planejamento, execução e sumarização.

Na etapa de planejamento devem ser incluídas informações básicas da pesquisa, construindo um protocolo baseado nas diretrizes apresentadas por Kitchenham e Charters (2007). Esse protocolo contém itens como a definição de questões de pesquisa, palavras-chave que deverão compor a *string* de busca, bases de dados e critérios de seleção e exclusão utilizados.

Figura 1 - Software stArt para apoio a revisões sistemáticas

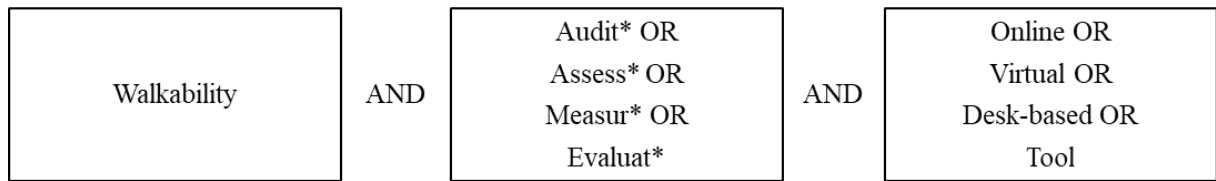


(Fonte: stArt)

A *string* de busca nas bases bibliográficas foi definida com o objetivo atender a questão de pesquisa: “Quais são as ferramentas utilizadas para realização de auditorias de caminhabilidade como alternativa às medições em campo?”. A Figura 2 apresenta os termos selecionados para filtrar os estudos nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* (WoS). As bases foram escolhidas por serem bases multidisciplinares de referência, inclusive pelo grande número de periódicos.

A pesquisa foi realizada em 01/10/2022 e foram definidos três critérios de inclusão: (i) o texto é um artigo publicado em periódico, (ii) publicações realizadas a partir de 2013 (horizonte de pesquisa jan/2013 a set/2022) e (iii) textos escritos em língua inglesa ou portuguesa. Após exportação das bases pesquisadas, é iniciada a revisão sistemática propriamente dita, na etapa de execução. Essa etapa é subdividida em três fases: (i) identificação, onde é realizada a importação dos artigos – nessa etapa, o próprio *software* realiza o reconhecimento de artigos duplicados -, (ii) seleção, onde são aplicados os critérios de seleção e exclusão com base no título e resumo de cada artigo e (iii) extração, onde são lidos os documentos em seu inteiro teor e são extraídas as principais informações de cada um dos trabalhos. Além da extração de informações realizada nas etapas da revisão sistemática em si, foram categorizados dados como país dos autores da publicação e ano de publicação para uma breve análise bibliométrica dos artigos selecionados.

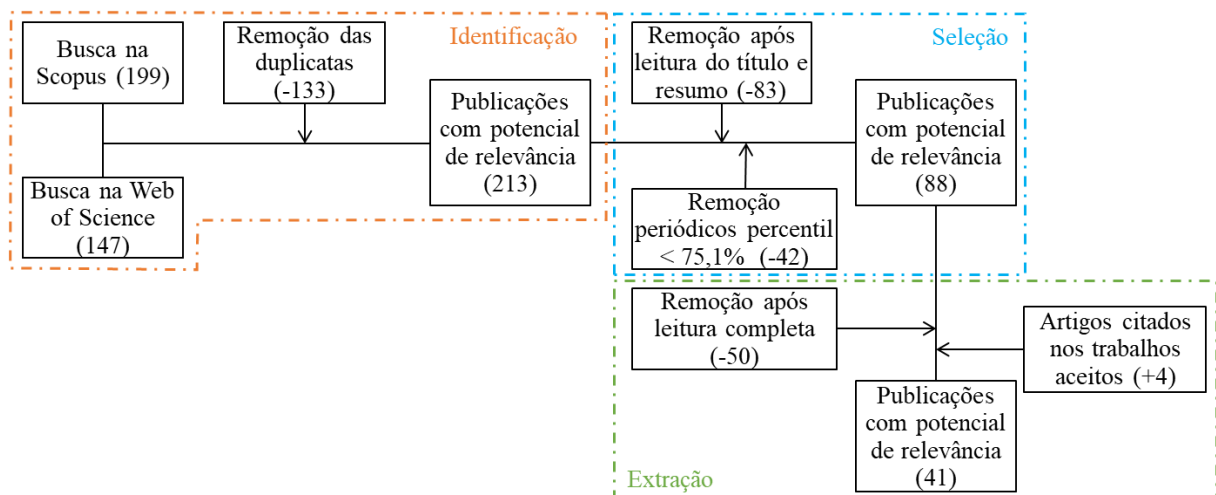
Figura 2 - Termos de busca



(Fonte: Elaboração própria)

Na fase de seleção, os critérios de seleção foram: (i) artigos que não realizavam auditoria de caminhabilidade, (ii) artigos somente de revisão bibliográfica, (iii) artigos de desenvolvimento da ferramenta. Adicionalmente, foram removidas as publicações pertencentes a periódicos que possuem o percentil inferior a 75,1% de acordo com a base *Scopus*, com o objetivo extrair os trabalhos publicados em periódicos de alto impacto. Já na etapa de extração, foram utilizados como critérios: (i) indicar o método de coleta de dados e (ii) apresentar as variáveis coletadas. Dado que essa revisão foca nas alternativas à coleta de dados em campo, os trabalhos que realizaram somente esse tipo de coleta foram excluídos. Durante a leitura dos artigos aceitos, foram encontrados 4 trabalhos adicionais que se encaixavam nos critérios dessa revisão e não haviam sido identificados na busca inicial. Após a leitura completa dos trabalhos e aplicação desses critérios, foram selecionados 41 artigos para integrar a revisão sistemática do presente estudo. A Figura 3 sintetiza esse processo de seleção.

Figura 3 - Processo de pesquisa de artigos



(Fonte: Elaboração própria)

Durante a leitura completa dos trabalhos, foi realizada a classificação dos atributos de caminhabilidade estudados por cada artigo em meso e microescala. Para isso, foram utilizadas as definições adotadas por Sharifi (2019) e Bivina *et al.* (2020): mesoescala, compreende uso do solo, densidade residencial, conectividade de vias, entre outros; microescala, compreende a presença de árvores, qualidade e largura das calçadas, mobiliário, obstáculos, qualidade das fachadas, entre outros.

3.3 DESCRIÇÃO DA LITERATURA

As auditorias de caminhabilidade podem exigir uma grande quantidade de tempo e recursos a depender da escala do estudo. Nesse sentido, a literatura internacional dos últimos 10 anos tem mostrado a busca por alternativas à coleta de dados tradicionalmente realizada em campo. Os avanços tecnológicos têm permitido a realização de coletas alternativas de dados como auditorias virtuais de caminhabilidade, eliminando características desvantajosas da coleta em campo como o tempo de viagem e a insegurança aos auditores (Steinmetz-Wood *et al.*, 2019).

Ferramentas de geoprocessamento com uso de sistemas de informação geográfica (*GIS-based*) têm sido reportadas na literatura internacional, devido à possibilidade do uso de bases de dados pré-existentes. Esse método foi utilizado nos estudos de Giles-Corti *et al.* (2014) na Austrália e Blečić *et al.* (2021) na Itália, que criaram ferramentas automatizadas para cálculo do índice de caminhabilidade com base na conectividade da rede, localização de pontos de interesse, áreas verdes, entre outros. Outros autores fizeram uso do índice *WalkScore*, que é calculado com base na distância de um ponto até certas facilidades como restaurantes, supermercados, serviços de saúde, entre outros (Bereitschaft, 2019; Cole *et al.*, 2015; Götz *et al.*, 2020; Horak *et al.*, 2022; Mu e Lao, 2022; Zhang *et al.*, 2019). O *WalkScore* também é baseado em geoprocessamento, através da utilização de dados do *Google*, *Open Street Map* e outros. Assim como outras ferramentas *GIS-based*, esse índice é calculado através de variáveis de mesoescala, tais como a conectividade de vias, uso do solo e densidade residencial, itens também aferidos por Giles-Corti *et al.* (2014).

Também foram identificados trabalhos utilizando simultaneamente ferramentas em GIS e a medição em campo, integrando variáveis de meso e microescala, como mobiliário nas vias, condições das calçadas, obstáculos, presença de árvores, entre outros (Fonseca *et al.*, 2022a, 2022b; Lee *et al.*, 2013 2020; Ussery *et al.*, 2019). Além disso, o trabalho desenvolvido por

Chiang *et al.* (2017) realizou a comparação de auditoria em campo com uma coleta de dados por mapas e uma coleta pelo *Google Street View* (GSV), medindo variáveis de mesoescala (conectividade, amenidades) e microescala (segurança pública, segurança viária, estética, qualidade da calçada, barreiras físicas). Os autores citam que características como período do dia e clima foram removidos da pesquisa por não serem passíveis de avaliação pelo GSV. Já os estudos de Steinmetz-Wood *et al.* (2019) e Roberge *et al.* (2022) compararam diretamente uma auditoria em campo com uma auditoria GSV. Através de testes de concordância, ambos os autores encontraram alta confiabilidade para auditorias de itens de verificação de presença ou ausência ou que possuem pouca variação sazonal, como presença de recursos de moderação de tráfego, ciclovias, bicicletários, e baixa confiabilidade para itens de avaliação subjetiva ou qualitativa, como a presença de lixo nas vias.

Assim como nos trabalhos desenvolvidos com auditorias *GIS-based* que utilizam um índice de caminhabilidade reconhecido como o *WalkScore*, outros autores fizeram uso do índice *Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes* (MAPS) para comparação de auditorias em campo com o GSV (Kurka *et al.*, 2016; Phillips *et al.*, 2017; Queralt *et al.*, 2021; Yun *et al.*, 2019). Os autores encontraram resultados que atestam a confiabilidade do uso desse índice aplicado ao GSV, principalmente em relação ao uso do solo e fatores de microescala considerados estáveis (por exemplo, qualidade da calçada e sinalização de pedestres). Porém, os quatro estudos concluem que para fatores não estáveis relacionados à atratividade (presença de grafiti, lixo e vegetação), as imagens GSV apresentam limitações da percepção dos voluntários.

A partir dos resultados positivos atestando a confiabilidade do uso do GSV, diversos autores aplicaram a ferramenta para coleta de dados de caminhabilidade, sem combiná-la com outro método (Bartzokas-Tsiompras e Photis, 2021; Hanibuchi *et al.*, 2019; Rosso *et al.*, 2021; Steinmetz-Wood *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2017). Nesses estudos, a restrição de confiabilidade devido à temporalidade dos elementos de microescala citados anteriormente permanece. Steinmetz-Wood *et al.* (2020) em especial, cita a não padronização das imagens em relação à época do ano em que as fotos foram feitas, alterando, além da vegetação, a iluminação da via. Todavia, os estudos concluem que o GSV ainda é uma ferramenta útil para a tomada de decisões que visem a melhoria da caminhabilidade.

Os estudos de Brookfield e Tilley (2016), Shatu e Yigitcanlar (2018) e Shatu *et al.* (2019) fizeram o uso de auditorias virtuais através do GSV para identificar os padrões de escolha de rotas de pedestres idosos (idade acima de 65 anos). O primeiro deles analisou a escolha de rotas com base nos seguintes parâmetros: largura da calçada e obstruções, qualidade do pavimento da calçada e do meio-fio, conectividade, sinalização de rotas para pedestres, iluminação, segurança, conflitos entre usuários e qualidade do ambiente. Os outros dois estudos incluíram também outros atributos, subdividindo as variáveis em três grupos: uso do solo, condições de calçada (largura, qualidade, obstruções etc.) e ambiente de tráfego (faixas de pedestres e número de vias).

Os estudos existentes em caminhabilidade ainda usam principalmente métodos de visualização tradicionais como as fotos, diminuindo a percepção sobre o ambiente construído (Liao *et al.*, 2022). Para preencher essa lacuna, Kasraian *et al.* (2021) e Liao *et al.* (2022) utilizaram representações em modelos 3D animados para apresentar os cenários a serem estudados aos voluntários. Ambos os estudos apresentaram aos voluntários cenários hipotéticos em vídeos 3D através de um questionário online, sendo a principal diferença os atributos escolhidos para a análise (microescala em ambos – quantidade de faixas de rolamento e largura das calçadas, presença de árvores, características do bordo da pista - e conectividade apenas no segundo trabalho). Natapov e Fisher-Gewirtzman (2016) e Birenboim *et al.* (2021) também realizaram análises a respeito das rotas escolhidas pelos voluntários. Entretanto, utilizaram RV com equipamentos imersivos (como o *Head-Mounted Display* - HMD) para que os voluntários pudessem se mover livremente dentro do ambiente virtual. Cada um analisou unicamente um atributo, sendo conectividade e influência de arborização, respectivamente.

Por tratar-se de um estudo piloto, Birenboim *et al.* (2021) aponta algumas das limitações da RV, como o nível de realismo de carros e indivíduos, a definição de imagens no HMD e o tempo de experimentação (que em contrapartida diminui o número de voluntários). Entretanto, tais limitações podem ser melhoradas com o avanço da tecnologia e a criação de uma metodologia usando ferramentas padronizadas, já que o seu uso permite uma análise de parâmetros mais específicos de suas experimentações.

Kim e Lee (2022) realizaram uma série de experimentos utilizando imagens do GSV, vídeos 360° em RV com visualização em óculos de imersão do tipo HMD e coleta em campo, comparando os ambientes através de abordagens qualitativas e quantitativas divididas em quatro grupos: características de design urbano (enclausuramento, complexidade do ambiente, etc), percepções individuais do espaço físico (segurança, conectividade, etc), características e percepções comportamentais (vitalidade, diversidade de atividades, etc) e condições globais. Concluiu-se que o ambiente em RV obteve resultados mais consistentes com a coleta em campo do que as imagens do GSV. Apesar disso, os autores observam que a auditoria em RV não é recomendada para itens que necessitam uma experiência sensorial além da audiovisual, sendo também mais custosa que outros métodos, devido aos custos do equipamento.

Um estudo de 2021 teve como foco a comparação dos métodos de vídeos de visão fixa e vídeos em RV com visão flexível e uso de HMD (Nakamura, 2021). A avaliação teve como critérios as percepções do ambiente a respeito de fatores de microescala, tais como obstáculos, cruzamentos de pedestres e segurança pública. As avaliações dos vídeos em RV mostraram maior engajamento com os ambientes virtuais, relacionado a maior disposição para caminhar, conforto e atratividade.

Na Noruega, os voluntários do estudo de Mouratidis e Hassan (2020) assistiram a vídeos utilizando um HMD sentados em cadeiras com 360° de giro. Os vídeos eram apresentados em pares, sendo um de um ambiente contemporâneo e um de um ambiente tradicional da cidade de Oslo, e foram avaliadas as percepções ambientais e avaliação afetiva quanto à arquitetura de cada cenário (com critérios como “agradável”, “relaxante”, “seguro”), sendo valorizada a mesoescala. Os participantes relataram um baixo nível de sintomas relacionados ao *Simulator Sickness* (SS) como tontura e enjoo, devido ao uso da cadeira giratória.

Visando acelerar a etapa de coleta de dados, os estudos de Koo *et al.* (2022) e Adams *et al.* (2022), realizados nos Estados Unidos, combinaram o uso do GSV com técnicas de *deep learning* para criação de um processo automatizado de coleta de dados de caminhabilidade, sobretudo de variáveis de microescala, devido à capacidade dessas ferramentas de identificar objetos em imagens. No estudo de Koo *et al.* (2022), dos 15 itens de microescala avaliados, 4 deles foram obtidos a partir de bases de dados em GIS por serem de fácil extração e possivelmente mais confiáveis, sendo eles uso do solo, parques, paradas de ônibus e ciclovias.

Foi observada alta concordância para o classificador para a maioria dos itens avaliados ($Kappa > 0,80$). Já o estudo de Adams *et al.* (2022) foi limitado a 7 itens, visto que foi necessário treinar um classificador de imagens para cada item, sendo eles calçadas, *buffer* das calçadas, travessias de pedestres, rampas de acessibilidade, iluminação pública, infraestrutura para bicicletas e semáforos para pedestres. Todos os classificadores atingiram precisão acima de 88,6%.

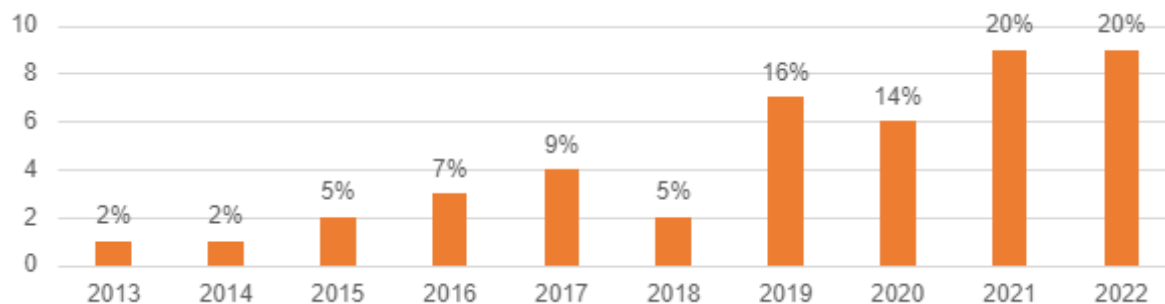
Li *et al.* (2022) também utilizou *deep learning* para treinamento de classificadores de imagens. Entretanto, a coleta de dados envolveu a classificação dos ambientes vistos em imagens panorâmicas com auxílio de HMD. As imagens foram apresentadas em pares para a escolha quanto ao cenário mais caminhável, mais viável para caminhada, mais acessível, mais seguro, mais confortável e mais agradável. A precisão média dos classificadores de imagem (um para cada variável) foi de 85,4%.

3.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A publicação de trabalhos sobre o tema de caminhabilidade com a realização de auditorias com formas alternativas às medições de campo é crescente nos últimos 10 anos, conforme apresentado na Figura 4, tendo atingido seu pico de publicações nos anos de 2021 e 2022. Observa-se que a busca nas bases de referências foi realizada no primeiro dia de outubro de 2022, não cobrindo as publicações realizadas nos últimos 3 meses desse ano.

Quanto ao país de origem das publicações, destaca-se o grande número de trabalhos realizados nos Estados Unidos, responsável por 13 dos 44 artigos revisados (considerando o país de cada um dos autores). Também são notáveis as publicações originadas na Austrália e Canadá, com 4 publicações cada, e Japão e China, com 3 artigos cada. O Brasil, único país da América Latina com publicações, apresentou apenas um estudo publicado, sendo ele realizado com outros 4 países de fora da América Latina.

Figura 4 - Quantidade de artigos por ano de publicação



(Fonte: Elaboração própria)

A Tabela 1 apresenta o quantitativo de trabalhos identificados na presente revisão sistemática de literatura utilizando ferramentas alternativas à coleta tradicional em campo. Os trabalhos que apresentaram coleta de dados através de duas ferramentas diferentes foram contabilizados duas vezes, de forma a quantificar o número total de vezes que cada ferramenta foi utilizada. Cerca de 34% dos artigos revisados apresentam comparação de alguma tecnologia alternativa com a coleta de campo, com objetivo de validação dos métodos propostos.

Observa-se que as ferramentas mais utilizadas são as auditorias virtuais realizadas por meio de imagens do GSV, seguida das ferramentas *GIS-based*. Essas duas abordagens de coleta apresentam vantagens como a utilização de bases de dados já existentes, reduzindo custos de aplicação. Entretanto, observou-se a limitação de análise de fatores de microescala através de coletas *GIS-based*.

14,9% artigos revisados citaram o uso de RV. Apesar disso, foi identificado que a utilização dessa ferramenta permite que a coleta de dados seja realizada em diversos locais simultaneamente, inclusive em diferentes países, o que seria de difícil execução e custoso pela coleta em campo. Em relação ao uso de imagens estáticas, a RV apresentou vantagens quanto ao nível de detalhamento e precisão dos resultados, sendo que os artigos analisados apresentaram resultados de maior convergência da RV com a coleta em campo do que o GSV.

Tabela 1 - Quantidade de estudos por tipo de coleta de dados aplicada

<i>Tipo de coleta</i>	<i>Número de estudos</i>
<i>Google Street View (GSV)</i>	20
<i>GIS-based</i>	18
Realidade virtual (RV)	7
Realidade aumentada	3
<i>Deep learning</i>	3
Comparação com coleta em campo	14

(Fonte: Elaboração própria)

Por meio das informações coletadas de cada artigo analisado e dispostos na seção anterior, foi elaborado o Diagrama de Sankey, apresentado na Figura 5. O diagrama faz a relação entre o ano de publicação do artigo, o método de coleta de dados utilizado e a escala das variáveis coletadas de acordo com Sharifi (2019) e Bivina *et al.* (2020) já mencionadas, sendo elas: mesoescala e predominantemente mesoescala (uso do solo, densidade residencial, conectividade de vias, entre outros); microescala e predominantemente microescala (presença de árvores, qualidade e largura das calçadas, mobiliário, obstáculos, qualidade das fachadas, etc) e a combinação desses dois níveis. Para a construção do diagrama, as tecnologias *GIS-based* e *GSV* utilizadas nos estudos de RV, realidade aumentada e *deep learning* foram contabilizadas dentro do grupo tecnológico mais avançado.

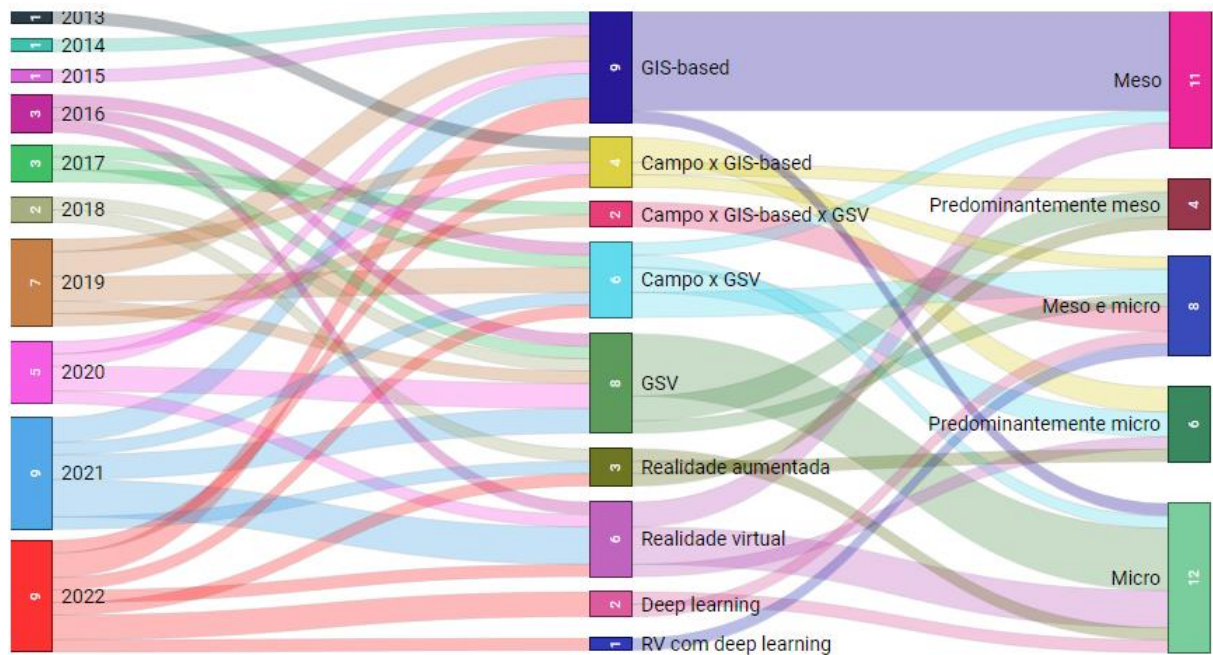
Analisando a primeira metade do diagrama, observa-se que praticamente todos os métodos de coleta ainda são utilizados no ano de 2022, com destaque para as ferramentas em *deep learning* que surgiram apenas nas publicações realizadas a partir de 2022. O primeiro trabalho envolvendo RV foi publicado em 2016, com seu ápice no ano de 2021.

Também é possível observar que o uso de ferramentas *GIS-based* é predominantemente empregado para a coleta de dados de mesoescala quando aplicado de forma única. Entretanto, é possível aliá-la a uma coleta em campo ou com *GSV* para obter informações conjuntas em nível micro. O uso do solo foi o critério mais empregado nos trabalhos que utilizam ferramentas *GIS-based* e mesoescala de forma geral. Já nas coletas envolvendo ferramentas com *GSV*, foi observado maior atenção para fatores de microescala, principalmente para a avaliação de atratividade do ambiente construído (presença de grafite, obstáculos na calçada, entre outros).

As ferramentas de RV e *deep learning* concentraram-se na microescala e eventualmente com mesoescala associada, também com muitos critérios relacionados à atratividade. Entretanto,

essas ferramentas se destacam pelo maior engajamento e melhor percepção do ambiente. De forma geral, os aspectos de microescala mais avaliados foram a atratividade e a sinalização viária (travessias de pedestres, faixas de trânsito, etc).

Figura 5 - Classificação dos métodos de coleta por escala das variáveis e ano



(Fonte: Elaboração própria)

Destaca-se que o uso da RV permite realizar coletas de dados tanto de mesoescala como de microescala separadamente, não sendo um fator limitador para a proposição de uma auditoria com essa tecnologia. Entretanto, foi observado que o número de voluntários e/ou respondentes em coletas com RV é uma limitação em relação às auditorias 100% virtuais. Enquanto estudos com coleta de dados através da realidade aumentada com apresentação de vídeos em 3D de forma online aos participantes atingem até 600 participantes (Kasraian *et al.*, 2021), a necessidade de recrutar voluntários presencialmente em laboratório para uso do HMD limita a participação em menos de 100 pessoas, conforme os artigos revisados. Além disso, o custo da aplicação de ferramentas de realidade virtual ainda é alto devido ao valor dos equipamentos, o que dificulta sua aplicação em grande escala e contribuiu para a limitação no número de participantes.

Outra possível desvantagem na utilização de coletas de dados imersivas é a ocorrência do *Simulator Sickness* (SS), sensação de mal-estar provocada pelo uso de equipamentos imersivos,

explicado pela Teoria do Conflito Sensorial (Kohl, 1983), e ocorre quando há uma falta de sincronia entre a imagem visualizada e o movimento físico, ou seja, quando o usuário é exposto a cenas visuais que estão em movimento, enquanto o corpo permanece em um estado fixo e o cérebro interpreta o movimento como desarmônico (Reason e Brand, 1975). Entretanto, apenas um dos artigos analisados que utilizou esse método realizou a verificação da ocorrência do SS, apontando um nível de sintomas como tontura e enjoo abaixo do esperado. É importante destacar que esse estudo associou o uso do HMD com uma cadeira giratória, fazendo com que o corpo do voluntário também se movimentasse.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma revisão sistemática da literatura, cujo tema central foi a identificação das ferramentas atualmente utilizadas em coletas de dados de caminhabilidade como alternativas às coletas de campo, tendo em vista as limitações de escala dos atributos medidos. Como objetivo secundário, esse estudo também buscou identificar as vantagens e lacunas de pesquisa do uso da realidade virtual (RV) com equipamentos imersivos para realização de auditorias de caminhabilidade.

A partir da definição da questão de pesquisa, foi elaborada uma *string* de busca envolvendo os principais termos em inglês relacionados ao tema dessa revisão, sendo a *string* final composta dos seguintes termos: (*walkability AND (audit* OR assess* OR measur* OR evaluat*) AND (online OR virtual OR desk-based OR tool)*). Esse algoritmo de pesquisa foi utilizado nas bases *Scopus* e *Web of Science*, por se tratar de bases multidisciplinares com grande abrangência de periódicos. Além disso, foram incluídos limitadores na pesquisa como o ano de publicação (a partir de 2013) e língua da publicação (inglês ou português). A lista final de artigos analisados nessa revisão conteve 41 trabalhos.

Quanto ao ano de publicação dos trabalhos, observa-se uma tendência de crescimento a respeito do tema (auditorias de caminhabilidade). Dentre os artigos revisados, 40% deles foram publicados entre os anos de 2021 e 2022, sendo que a busca não incluiu os últimos 3 meses do ano de 2022. Além disso, destaca-se que o país com maior número de publicações é os Estados Unidos. Somente uma publicação envolveu uma auditoria realizada no Brasil, sendo um estudo conjunto com outros 4 países.

Quanto aos métodos de coletas utilizados como substitutos da coleta tradicional em campo, observa-se que as imagens do GSV são as mais utilizadas, com publicações a partir do ano de 2016. O segundo método mais citado foi o uso das ferramentas desenvolvidas com auxílio de geoprocessamento (ferramentas *GIS-based*), sendo que essas coletas envolvem predominantemente variáveis de mesoescala, diferentemente do GSV, que é habitualmente empregado para capturar informações em nível micro.

Observando o uso de ferramentas de RV com equipamentos imersivos, observou-se que as principais vantagens desse método são o maior nível de detalhamento e melhores resultados em convergência com a coleta em campo se comparada à coleta em GSV, além da possibilidade de maior abrangência geográfica, evitando deslocamentos inclusive entre países. Além disso, destaca-se a possibilidade da coleta de dados tanto em meso como microescala, não sendo esse um fator limitante para aplicação da ferramenta, diferentemente dos métodos citados anteriormente que possuem mais facilidade de coleta para um determinado nível.

Como desvantagens, a RV ainda apresenta custos elevados de aplicação, apesar de ser uma tecnologia em crescente uso e disseminação. Além disso, existe uma limitação da quantidade de voluntários participantes do estudo, visto que essas coletas precisam ser realizadas em laboratório onde exista o equipamento de imersão, apresentando uma limitação física do recurso, diferentemente das coletas com realidade aumentada. Nesses casos, a coleta pode ser realizada de forma 100% online, atingindo uma grande participação de voluntários recrutados.

Foi identificada como lacuna de pesquisa a investigação quanto aos sintomas de *Simulator Sickness* (SS) que podem ser apresentadas pelos participantes ao utilizar equipamentos imersivos de RV como o *Head-Mounted Display* (HMD), visto que somente um dos artigos analisados fez essa verificação. Dessa forma, sugere-se para futuros trabalhos a análise da ocorrência de sintomas de SS e a sua influência na percepção quantos aos itens do ambiente construído que influenciam a caminhabilidade, assim como a influência nos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS ARTIGO 1

- Adams, M. A., Phillips, C. B., Patel, A., e Middel, A. (2022) Training Computers to See the Built Environment Related to Physical Activity: Detection of Microscale Walkability Features Using Computer Vision. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8). doi:10.3390/ijerph19084548
- Anapakula, K. B., e Eranki, G. A. (2021) Developing an index to evaluate the quality of pedestrian environment: Case study application in an Indian metro. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11(July 2020), 100406. doi:10.1016/j.trip.2021.100406
- ANTP. (2020) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - Simob/ANTP. Relatório Geral 2018. Obtido de <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>
- Arellana, J., Saltaín, M., Larrañaga, A. M., Alvarez, V., e Henao, C. A. (2020) Urban walkability considering pedestrians' perceptions of the built environment: a 10-year review and a case study in a medium-sized city in Latin America. *Transport Reviews*, 40(2), 183–203. doi:10.1080/01441647.2019.1703842
- Bartzokas-Tsiompras, A., e Photis, Y. N. (2021) Microscale walkability modelling. The case of athens city centre. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3), 413–426. doi:10.18280/IJSDP.160302
- Bereitschaft, B. (2019) Are walkable places tech incubators? Evidence from Nebraska's 'Silicon Prairie'. *Regional Studies, Regional Science*, 6(1), 339–356. doi:10.1080/21681376.2019.1620631
- Birenboim, A., Bloom, P. B. N., Levit, H., e Omer, I. (2021) The study of walking, walkability and wellbeing in immersive virtual environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–18. doi:10.3390/ijerph18020364
- Bivina, G. R., Gupta, A., e Parida, M. (2020) Walk Accessibility to Metro Stations: An analysis based on Meso- or Micro-scale Built Environment Factors. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102047. doi:10.1016/j.scs.2020.102047
- Blečić, I., Cecchini, A., Congiu, T., Fancello, G., Talu, V., e Trunfio, G. A. (2021) Capability-wise walkability evaluation as an indicator of urban peripherality. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(4), 895–911. doi:10.1177/2399808320908294
- Bradshaw, C. (1993) Creating -- And Using -- A Rating System For Neighborhood Walkability Towards An Agenda For "Local Heroes". 14th International Pedestrian Conference. Boulder, Colorado.
- Brookfield, K., e Tilley, S. (2016) Using Virtual Street Audits to Understand the Walkability of Older Adults' Route Choices by Gender and Age. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1061. doi:10.3390/ijerph13111061
- Cervero, R., e Kockelman, K. (1997) Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. doi:10.1016/S1361-9209(97)00009-6
- Chiang, Y. C., Sullivan, W., e Larsen, L. (2017) Measuring neighborhood walkable environments: A comparison of three approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 1–12. doi:10.3390/ijerph14060593
- Cole, R., Dunn, P., Hunter, I., Owen, N., e Sugiyama, T. (2015) Walk Score and Australian adults' home-based walking for transport. *Health and Place*, 35, 60–65. doi:10.1016/j.healthplace.2015.06.011
- Ferrer, S., Ruiz, T., e Mars, L. (2015) A qualitative study on the role of the built environment for short walking trips. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 33, 141–160. doi:10.1016/j.trf.2015.07.014
- Fonseca, F., Fernandes, E., & Ramos, R. (2022a). Walkable Cities: Using the Smart Pedestrian Net Method for Evaluating a Pedestrian Network in Guimarães, Portugal. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610306>
- Fonseca, F., Papageorgiou, G., Tondelli, S., Ribeiro, P., Conticelli, E., Jabbari, M., & Ramos, R. (2022b). Perceived Walkability and Respective Urban Determinants: Insights from Bologna and Porto. *Sustainability*

- (Switzerland), 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159089>
- Giles-Corti, B., Macaulay, G., Middleton, N., Boruff, B., Bull, F., Butterworth, I., Badland, H., Mavoa, S., Roberts, R., e Christian, H. (2014) Developing a research and practice tool to measure walkability: A demonstration project. *Health Promotion Journal of Australia*, 25(3), 160–166. doi:10.1071/HE14050
- Götz, F. M., Yoshino, S., e Oshio, A. (2020) The association between walkability and personality: Evidence from a large socioecological study in Japan. *Journal of Environmental Psychology*, 69(April), 1–6. doi:10.1016/j.jenvp.2020.101438
- Hanibuchi, T., Nakaya, T., e Inoue, S. (2019) Virtual audits of streetscapes by crowdworkers. *Health & Place*, 59, 102203. doi:10.1016/j.healthplace.2019.102203
- Heft, H., e Nasar, J. L. (2000) Evaluating environmental scenes using dynamic versus static displays. *Environment and Behavior*, 32(3), 301–322. doi:10.1177/0013916500323001
- Horak, J., Kukuliac, P., Maresova, P., Orlikova, L., e Kolodziej, O. (2022) Spatial Pattern of the Walkability Index, Walk Score and Walk Score Modification for Elderly. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5). doi:10.3390/ijgi11050279
- ITDP. (2018) Índice De Caminhabilidade - Ferramenta. Obtido 4 de dezembro de 2021, de http://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2019/05/Caminhabilidade_Volume-3_Ferramenta-ALTA.pdf
- Kasraian, D., Adhikari, S., Kossowsky, D., Luubert, M., Hall, G. B., Hawkins, J., Nurul Habib, K., e Roorda, M. J. (2021) Evaluating pedestrian perceptions of street design with a 3D stated preference survey. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1787–1805. doi:10.1177/2399808320946050
- Kim, S., Park, S., e Lee, J. S. (2014) Meso- or micro-scale? Environmental factors influencing pedestrian satisfaction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30, 10–20. doi:10.1016/j.trd.2014.05.005
- Kim, S.-N., e Lee, H. (2022) Capturing reality: Validation of omnidirectional video-based immersive virtual reality as a streetscape quality auditing method. *Landscape and Urban Planning*, 218, 104290. doi:10.1016/j.landurbplan.2021.104290
- Kitchenham, B., e Charters, S. (2007) Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report.
- Kohl, R. L. (1983) Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuro conflict. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, ((54)5), 464–465.
- Koo, B. W., Guhathakurta, S., e Botchwey, N. (2022) Development and validation of automated microscale walkability audit method. *Health & Place*, 73, 102733. doi:10.1016/j.healthplace.2021.102733
- Kurka, J. M., Adams, M. A., Geremia, C., Zhu, W., Cain, K. L., Conway, T. L., e Sallis, J. F. (2016) Comparison of field and online observations for measuring land uses using the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Journal of Transport & Health*, 3(3), 278–286. doi:10.1016/j.jth.2016.05.001
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2018) Using best–worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil. *Transportation* (Vol. 46). Springer US. doi:10.1007/s11116-018-9944-x
- Lee, C., Kim, H. J., Dowdy, D. M., Hoelscher, D. M., e Ory, M. G. (2013) TCOPPE school environmental audit tool: Assessing safety and walkability of school environments. *Journal of Physical Activity and Health*, 10(7), 949–960. doi:10.1123/jpah.10.7.949
- Lee, S., Lee, C., Nam, J. W., Abbey-Lambertz, M., e Mendoza, J. A. (2020) School walkability index: Application of environmental audit tool and GIS. *Journal of Transport and Health*, 18(July 2019), 100880. doi:10.1016/j.jth.2020.100880
- Li, Y., Yabuki, N., e Fukuda, T. (2022) Measuring visual walkability perception using panoramic street view images, virtual reality, and deep learning. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104140. doi:10.1016/j.scs.2022.104140
- Liao, B., van den Berg, P. E. W., van Wesemael, P. J. V., e Arentze, T. A. (2022) Individuals’ perception of walkability: Results of a conjoint experiment using videos of virtual environments. *Cities*, 125(October

- 2020), 103650. doi:10.1016/j.cities.2022.103650
- Lucchesi, S. T., Zechin, D., Larrañaga, A. M., Cybis, H. B. B., e Silva, J. A. de A. e. (2021) Segmentação semântica para identificação de cenas urbanas que são incentivos ou barreiras à caminhada. 35o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET.
- Mouratidis, K., e Hassan, R. (2020) Contemporary versus traditional styles in architecture and public space: A virtual reality study with 360-degree videos. *Cities*, 97(November 2019), 102499. doi:10.1016/j.cities.2019.102499
- Mu, T., e Lao, Y. (2022) A Study on the Walkability of Zijingang East Campus of Zhejiang University: Based on Network Distance Walk Score. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17), 1–17. doi:10.3390/su14171108
- Nakamura, K. (2021) Experimental analysis of walkability evaluation using virtual reality application. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8), 2481–2496. doi:10.1177/2399808320980747
- Natapov, A., e Fisher-Gewirtzman, D. (2016) Visibility of urban activities and pedestrian routes: An experiment in a virtual environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 58, 60–70. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2016.03.007
- Phillips, C. B., Engelberg, J. K., Geremia, C. M., Zhu, W., Kurka, J. M., Cain, K. L., Sallis, J. F., Conway, T. L., e Adams, M. A. (2017) Online versus in-person comparison of Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) assessments: Reliability of alternate methods. *International Journal of Health Geographics*, 16(1), 1–13. doi:10.1186/s12942-017-0101-0
- Queralt, A., Molina-García, J., Terrón-Pérez, M., Cerin, E., Barnett, A., Timperio, A., Veitch, J., Reis, R., Silva, A. A. P., Ghekiere, A., Van Dyck, D., Conway, T. L., Cain, K. L., Geremia, C. M., e Sallis, J. F. (2021) Reliability of streetscape audits comparing on-street and online observations: MAPS-Global in 5 countries. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 1–11. doi:10.1186/s12942-021-00261-5
- Reason, J. T., e Brand, J. J. (1975) *Motion sickness*. Academic press, Oxford, Inglaterra.
- Roberge, J. B., Contreras, G., Kakinami, L., Van Hulst, A., Henderson, M., e Barnett, T. A. (2022) Validation of desk-based audits using Google Street View® to monitor the obesogenic potential of neighbourhoods in a pediatric sample: a pilot study in the QUALITY cohort. *International Journal of Health Geographics*, 21(1), 1–11. doi:10.1186/s12942-022-00301-8
- Rosso, A. L., Harding, A. B., Clarke, P. J., Studenski, S. A., e Rosano, C. (2021) Associations of Neighborhood Walkability and Walking Behaviors by Cognitive Trajectory in Older Adults. *Gerontologist*, 61(7), 1053–1061. doi:10.1093/geront/gnab005
- Sharifi, A. (2019) Urban form resilience: A meso-scale analysis. *Cities*, 93(February), 238–252. doi:10.1016/j.cities.2019.05.010
- Shatu, F., e Yigitcanlar, T. (2018) Development and validity of a virtual street walkability audit tool for pedestrian route choice analysis—SWATCH. *Journal of Transport Geography*, 70, 148–160. doi:10.1016/j.jtrangeo.2018.06.004
- Shatu, F., Yigitcanlar, T., e Bunker, J. (2019) Objective vs. subjective measures of street environments in pedestrian route choice behaviour: Discrepancy and correlates of non-concordance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126(April 2018), 1–23. doi:10.1016/j.tra.2019.05.011
- Steinmetz-Wood, M., El-Geneidy, A., e Ross, N. A. (2020) Moving to policy-amenable options for built environment research: The role of micro-scale neighborhood environment in promoting walking. *Health and Place*, 66(September), 102462. doi:10.1016/j.healthplace.2020.102462
- Steinmetz-Wood, M., Velauthapillai, K., O'Brien, G., e Ross, N. A. (2019) Assessing the micro-scale environment using Google Street View: The Virtual Systematic Tool for Evaluating Pedestrian Streetscapes (Virtual-STEPS). *BMC Public Health*, 19(1), 1–11. doi:10.1186/s12889-019-7460-3
- Ussery, E. N., Omura, J. D., Paul, P., Orr, J., Spoon, C., Geremia, C., e Carlson, S. A. (2019) Sampling methodology and reliability of a representative walkability audit. *Journal of Transport & Health*, 12, 75–85. doi:10.1016/j.jth.2018.11.007
- Yun, H. Y., Zegras, C., e Palencia Arreola, D. H. (2019) “Digitalizing Walkability”: Comparing Smartphone-

- Based and Web-Based Approaches to Measuring Neighborhood Walkability in Singapore. *Journal of Urban Technology*, 26(3), 3–43. doi:10.1080/10630732.2019.1625016
- Zamboni, A. B., Thommazo, A. D., Hernandez, E. C. M., e Fabbri, S. C. P. F. (2010) StArt Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática. Brazilian Conference on Software: Theory and Practice - Tools session. UFBA.
- Zhang, J., Tan, P. Y., Zeng, H., e Zhang, Y. (2019) Walkability assessment in a rapidly urbanizing city and its relationship with residential estate value. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8), 7–9. doi:10.3390/su11082205
- Zhu, W., Sun, Y., Kurka, J., Geremia, C., Engelberg, J. K., Cain, K., Conway, T., Sallis, J. F., Hooker, S. P., e Adams, M. A. (2017) Reliability between online raters with varying familiarities of a region: Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Landscape and Urban Planning*, 167, 240–248. doi:10.1016/j.landurbplan.2017.06.014

4 ARTIGO 2: REALIDADE VIRTUAL EM PESQUISA DE PREFERÊNCIA DECLARADA PARA AVALIAÇÃO DA CAMINHABILIDADE

RESUMO

Esse estudo investigou o uso da Realidade Virtual em pesquisa de preferência declarada (PD) para quantificar características urbanas que estimulam a caminhabilidade e analisar o efeito do *Simulator Sickness*. As características foram representadas em cenários virtuais em pesquisa PD, por meio de vídeos, em pesquisa online, e cenários tridimensionais imersivos, presencialmente. Modelos logit multinomial e mistos foram estimados para quantificar e comparar a importância das características. Os resultados mostraram concordância moderada entre as escolhas realizadas nas duas pesquisas. Adicionalmente, a ocorrência de sintomas de SS não influenciou na escolha dos participantes. Os modelos indicaram que atributos como *Atratividade* e *Qualidade do pavimento* foram os mais valorizados, diferentemente de outras pesquisas anteriores na mesma cidade com imagens e textos, onde esses aspectos não apresentaram tanta relevância. Aspectos como *Comércio* e *Risco de sinistros* apresentaram diferentes relevâncias entre as técnicas, levantando desafios na representação gráfica desses atributos para melhor apresentação do processo de escolha.

Palavras-chave: caminhabilidade; realidade virtual; preferência declarada; cenários tridimensionais.

ABSTRACT

This study investigated the use of Virtual Reality in a stated preference survey (SP) to quantify urban characteristics on walkability and analyzed the effects of Simulator Sickness (SS). The characteristics were represented in virtual scenarios and applied to a SP survey, using videos in the online survey, and immersive three-dimensional environments, in-person. Multinomial and mixed logit models were estimated to quantify and compare the importance of different characteristics. The results indicate moderate level of agreement between choices made in both surveys. Additionally, the occurrence of SS didn't influence the participants' decision-making process. The estimated models indicate that attributes like *Attractiveness* and *Pavement Quality* were highly valued, in contrast to previous studies in the same city using images and text, where these aspects were not as significant. Aspects like *Commerce* and *Risk of Accident* show varying degrees of relevance between the techniques, underscoring challenges in the graphical representation of these attributes to better represent the choice process.

Keywords: walkability; virtual reality; stated preference; 3D scenarios.

4.1 INTRODUÇÃO

O conceito de caminhabilidade compreende aspectos do ambiente construído como as condições e dimensões das calçadas, a atratividade, a densidade residencial, a percepção de segurança pública e viária, entre outros que podem influenciar o ato de caminhar (Burden, 2001; Litman, 2003). Essa relação tem sido estudada ao longo das últimas décadas em estudos de transportes e planejamento urbano (Ewing e Cervero, 2010; Larranaga *et al.*, 2014), economia (Lucchesi *et al.*, 2021, 2023a) e geografia (Jun e Hur, 2015).

A literatura internacional tem se concentrado predominantemente em métricas relativas à mesoescala para compreender a relação entre ambiente urbano e viagens a pé. No entanto, estudos recentes indicam que os elementos de microescala também desempenham um papel importante nesse contexto (Cain *et al.*, 2014; Arellana *et al.*, 2020; Kim e Lee, 2022). A limitação de pesquisas quanto a esses atributos pode ser atribuída à exigência de estar fisicamente presente no ambiente de auditoria, impondo desafios à coleta de dados e exigindo mais tempo e recursos (Lucchesi *et al.*, 2023b).

Dado esse contexto, os avanços tecnológicos que permitem a obtenção de dados de maneiras alternativas, como as auditorias virtuais de caminhabilidade utilizando o *Google Street View* (GSV), são notáveis. Essas auditorias têm se mostrado promissoras, uma vez que eliminam as desvantagens associadas à coleta de dados em campo, como o tempo de viagem e a insegurança dos auditores, e permitem a auditoria de mais locais de estudo (Steinmetz-Wood *et al.*, 2019). No entanto, é importante validar a eficácia dessas ferramentas em relação aos métodos tradicionais. Para isso, foram verificadas abordagens de comparação de auditorias realizadas em campo com auditorias com GSV (Queralt *et al.*, 2021; Roberge *et al.*, 2022). Esses estudos visaram investigar a concordância entre os resultados obtidos a partir das duas formas de coletas de dados, a fim de validar a viabilidade de substituição do método convencional de coleta em campo pelo uso do GSV como um recurso eficiente e confiável.

Embora o GSV tenha demonstrado confiabilidade na coleta de dados de referente à caminhabilidade, é importante considerar suas limitações. Imagens estáticas ou representações bidimensionais do ambiente podem limitar a percepção e compreensão do espaço urbano (Heft e Nasar, 2000). Portanto, a utilização de ambientes virtuais tridimensionais (3D) e vídeos em realidade virtual (RV) tem suscitado interesse no âmbito de pesquisas sobre a percepção da

paisagem urbana. Estudos têm explorado o potencial desses métodos, visando avaliar a percepção dos pedestres e reunir informações mais abrangentes e detalhadas.

Uma das abordagens encontradas na literatura consiste na construção de ambientes virtuais tridimensionais que são convertidos em vídeos que reproduzem a perspectiva de um pedestre em movimento, utilizando técnicas de preferência declarada (PD) ou Escala *Likert* para classificação dos ambientes (Kasraian *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2022). Além disso, alguns estudos têm incorporado o uso de equipamentos imersivos de RV, como o *Head-Mounted Display* (HMD), para exibir vídeos gravados com câmeras de 360 graus (Kim e Lee, 2022; Nakamura, 2021). Foi observado que as avaliações realizadas com o HMD apresentam uma maior concordância com as coletas em campo do que com imagens do GSV, e que os participantes demonstraram maior engajamento com os ambientes virtuais (Kim e Lee, 2022). Também foram observados estudos nos quais os participantes podiam se mover livremente no ambiente virtual tridimensional criado, com uso de um HMD, por meio de um *joystick* (Natapov e Fisher-Gewirtzman, 2016) ou de uma esteira omnidirecional (Birenboim *et al.*, 2021).

No entanto, é importante considerar os possíveis efeitos adversos associados à utilização dessas tecnologias imersivas, como o *Simulator Sickness* (SS). O SS refere-se à sensação de mal-estar sentida pelos usuários de simuladores, resultante da falta de sincronia entre a imagem visualizada e o movimento físico (Classen *et al.*, 2011; Kohl, 1983). Embora apenas um dos estudos analisados tenha investigado os sintomas de SS relacionados ao uso de HMD em uma coleta de dados sobre caminhabilidade (Mouratidis e Hassan, 2020), é fundamental compreender esses efeitos e sua possível influência na percepção dos elementos do ambiente construído que impactam a caminhabilidade.

Diante desse panorama, o objetivo deste estudo é analisar o uso da Realidade Virtual em uma pesquisa de preferência declarada para quantificar as características urbanas que estimulam a caminhabilidade. Para isso, as características urbanas foram representadas em cenários virtuais de bairros fictícios, utilizando vídeos e cenários tridimensionais imersivos, permitindo a comparação das escolhas realizadas em ambos cenários e pesquisas tradicionais. Além disso, foi investigada a ocorrência de *Simulator Sickness* durante a experiência imersiva, visando compreender melhor seus efeitos na percepção dos atributos de caminhabilidade. Os dados de preferência declarada foram coletados através de vídeos, utilizados para representar os cenários

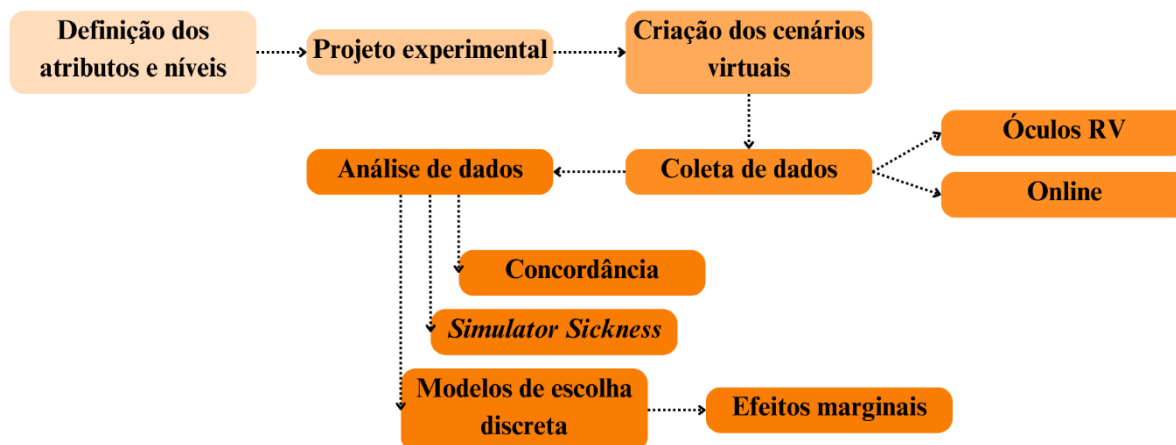
em uma pesquisa online, e posteriormente com o uso do *Oculus Rift*, um equipamento de realidade virtual imersiva. Com base nos dados coletados, foram estimados modelos de escolha discreta, como logit multinomial, logit de componente de erro e de coeficientes aleatórios, a fim de quantificar e comparar a importância das diferentes características.

Esse trabalho contribui em 3 aspectos. Primeiro, explora a utilização da RV como uma ferramenta para investigar as preferências relacionadas à caminhabilidade. A maioria dos trabalhos na literatura nacional e internacional até o momento utilizou abordagens estáticas, descrevendo as situações de escolha apenas por meio de imagens e texto. Essa abordagem possibilita aumentar o realismo do experimento, reduzindo potenciais vieses nas estimativas dos parâmetros. Em segundo lugar, identifica e quantifica a influência dos sintomas de SS no processo de escolha dos participantes. Esses sintomas não foram estudados nos poucos estudos existentes sobre caminhabilidade em ambientes virtuais, embora estejam associados às tecnologias imersivas. Essa investigação permite compreender como esses sintomas podem afetar as escolhas relacionadas à caminhabilidade. Terceiro, compara os resultados das duas coletas obtidas entre si e com outras pesquisas tradicionais, buscando identificar os parâmetros do ambiente construído mais valorizados a partir das diferentes coletas. Essa comparação permite recomendar melhorias para próximas pesquisas e uma representação mais precisa do comportamento de escolha.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As seções a seguir apresentam os procedimentos metodológicos aplicados no desenvolvimento do estudo. A primeira etapa envolveu o desenho do projeto experimental e o desenvolvimento dos bairros fictícios, seguida da coleta e análise de dados, conforme apresentado no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos



(Fonte: Elaboração própria)

4.2.1 Projeto experimental e desenvolvimento dos bairros fictícios

A pesquisa de preferência declarada (PD) foi desenhada com o objetivo de analisar a escolha dos indivíduos em relação à caminhabilidade de bairros fictícios. Os atributos foram definidos a partir do estudo de Larranaga *et al.* (2019), que realizou uma pesquisa *best-worst* para comparar a importância de oito atributos diferentes do ambiente construído em relação à caminhabilidade, sendo eles: largura da calçada; qualidade do pavimento da calçada; quantidade de policiais; quantidade de comércio; atratividade; risco de sinistros de tráfego; conectividade e topografia. Os dois últimos atributos não foram utilizados devido à dificuldade de visualização de ambos em vídeos curtos. O atributo “quantidade de policiais” foi adaptado para “segurança pública”, de forma a facilitar a representação nos cenários. A Tabela 2 apresenta as características de cada atributo e os respectivos níveis utilizados.

O projeto experimental foi elaborado utilizando desenhos eficientes (Rose e Bliemer, 2009) no *software N-gene* (ChoiceMetrics, 2018), devido ao fato de que esses desenhos geram estimativas de parâmetros mais precisas em relação aos projetos ortogonais. Os valores iniciais dos parâmetros da função utilidade foram retirados dos resultados da pesquisa *best-worst* de Larranaga *et al.* (2019). Devido ao número de atributos, o número mínimo de cenários projetados foi 9, cada um apresentando a comparação de dois bairros fictícios. O desenho foi realizado considerando dois blocos (com 4 e 5 perguntas), tendo em vista que o questionário poderia se tornar muito longo caso apresentasse os 9 cenários.

Os bairros fictícios foram desenvolvidos no *software Twinmotion*, um programa de visualização arquitetônica em tempo real que permite criar renderizações e animações de projetos. O *software* foi escolhido devido à sua interface intuitiva e seus recursos de importação de modelos 3D, aplicação de materiais realistas, vegetação, fluxo de veículos e pedestres, além do suporte para visualização do projeto em RV.

Tabela 2 - Níveis dos atributos pesquisados

Atributo	Itens	Características	Níveis
Segurança pública	Fluxo de pessoas	Sem pessoas e fachadas cegas	Inseguro
		Sem pessoas e com fachadas ativas	Pouco seguro
	Presença de janelas	Com pessoas e com fachadas ativas	Muito seguro
Risco de sinistros de tráfego	Velocidade dos veículos	Velocidade 40km/h e sem travessias	Inseguro
	Presença de travessia de pedestres	Velocidade 40km/h e com travessias	Pouco seguro
		Velocidade 20km/h e com travessias	Muito seguro
Qualidade do pavimento	Condições do pavimento da calçada	Pavimento irregular, com buracos	Ruim
		Pavimento liso de concreto, sem buracos	Boa
Quantidade de comércio	Número de lojas e restaurantes	Nenhuma loja ou restaurante	Nenhum
		Comércios em 10% das edificações da quadra	Poucos
		Comércios em 50% das edificações da quadra	Muitos
Atratividade	Arborização, presença de lixo, presença de bancos, prédios atraentes	Sem árvores, sem grama na faixa de serviço, presença de lixo no passeio, pichação nos prédios	Pouco atrativo
		Árvores a cada 30 metros, grama na faixa de serviço, presença de lixo no passeio, menor disponibilidade bancos e paraciclos	Médio atrativo
		Árvores a cada 10 metros, grama na faixa de serviço, presença de bancos, paraciclos, lixeiras	Muito atrativo
Largura da calçada	Largura da calçada e faixas de tráfego	Calçada estreita, 1 faixa de tráfego + 1 faixa de estacionamento por sentido	Estreita
		Calçada larga, 1 faixa de tráfego por sentido	Larga

(Fonte: Elaboração própria)

4.2.2 Coleta de dados

Foram coletados dados socioeconômicos e de preferência declarada durante uma pesquisa no mês de junho de 2023. A pesquisa envolveu duas etapas distintas de coleta: a primeira online, com questionário distribuído vias redes sociais e e-mail, e a segunda de forma presencial, realizada no Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LASTRAN-UFRGS).

No questionário online, a seção de preferência declarada incluiu a apresentação de pares de vídeos (cenários) de um minuto de duração, a partir da perspectiva de um pedestre caminhando

por uma quadra de um bairro fictício onde o voluntário deveria escolher um dos bairros, respondendo à pergunta “Considerando as características de cada bairro, qual o estimularia mais a caminhar?”. Antes da proposição dos cenários de escolha, foi realizada uma contextualização e explicação a respeito dos atributos a serem observados. Um exemplo dos cenários apresentados pode ser visto na Figura 7. Além disso, os vídeos elaborados para a pesquisa podem ser vistos [no canal do YouTube](#), junto a um vídeo 3D apresentado como exemplo da visualização dos cenários com o equipamento imersivo na etapa presencial.

Inicialmente, uma etapa piloto foi conduzida, na qual os primeiros 80 respondentes analisaram apenas um bloco de perguntas com 4 ou 5 cenários, distribuído a partir da seleção de uma cor aleatória. Tendo em vista a facilidade e rapidez em responder o questionário, os demais participantes responderam a todos os 9 cenários elaborados no projeto experimental. Na segunda etapa, a coleta de dados presencial foi realizada no laboratório utilizando o *Oculus Rift*, um equipamento de RV imersivo. A convocação para participação na pesquisa presencial ocorreu por meio de convites enviados aos participantes que demonstraram interesse na etapa online. A amostra foi auto selecionada, visto que os primeiros participantes que marcaram horário através do link de agendamento puderam participar.

A fim de controlar o tempo de utilização dos óculos de RV, os participantes que responderam ao questionário completo online foram atribuídos aleatoriamente a um dos dois blocos do experimento, garantindo que o período de utilização dos óculos de RV não excedesse 15 minutos. Aqueles que responderam apenas a um bloco no questionário online responderam ao mesmo bloco durante a utilização dos óculos de RV. Os participantes puderam explorar livremente cada cenário virtual por aproximadamente 1 minuto e meio. Após visualização dos dois bairros a serem comparados, o voluntário deveria realizar a sua escolha e informar verbalmente a pesquisadora, que realizou o preenchimento do formulário. Além disso, os participantes foram solicitados a preencher um questionário sobre *Simulator Sickness* (SS) antes e após a exposição ao equipamento imersivo (Carvalho *et al.*, 2011). A Figura 8 apresenta duas voluntárias realizando o experimento.

Figura 7 - Exemplos de cenários de escolha no questionário online (print dos vídeos)



(Fonte: Elaboração própria)

Figura 8 - Voluntárias realizando o experimento



(Fonte: Elaboração própria)

4.2.3 Análise de dados

A análise dos dados envolveu quatro etapas: (i) concordância das respostas da pesquisa online e presencial; (ii) sintomas de *Simulator Sickness*, (iii) estimação de modelos de escolha discreta e (iv) cálculo de efeitos marginais. Essas etapas são descritas a seguir.

Para a avaliação da concordância entre as escolhas realizadas pelos participantes na pesquisa online e presencial foram utilizadas três medidas: (i) concordância em percentual, calculada

como a proporção de concordâncias em relação ao total de avaliações; (ii) Coeficiente Kappa de Cohen e (iii) teste de significância do Coeficiente Kappa de Cohen. Essas três medidas se complementam, e o procedimento usual é realizar uma análise conjunta delas. O coeficiente Kappa de Cohen é uma estatística amplamente utilizada para avaliar a confiabilidade para variáveis categóricas nominais, como no caso da escolha entre dois bairros apresentados. Essa medida leva em consideração tanto a concordância em percentual quanto a concordância esperada ao acaso, corrigindo o valor do índice (Kottner *et al.*, 2011). O teste de significância permite complementar os valores anteriores, pois avalia se o coeficiente obtido é estatisticamente diferente de zero. Por si só, o teste não é suficiente, uma vez que valores relativamente baixos de Kappa podem ser estatisticamente significativos. No entanto, devido às limitações da própria estatística, em alguns casos podem ser relatados baixos valores de Kappa mesmo com uma alta concordância (Steinmetz-Wood *et al.*, 2019). Dessa forma, o procedimento usual é a análise conjunta das três medidas mencionadas, pois cada uma oferece informações distintas sobre a concordância das escolhas dos participantes.

A avaliação da concordância em percentual foi baseada na classificação adotada por Rundle *et al.* (2011): alta (>80%), moderada (60 – 79,9%) e fraca (<60%). A magnitude do coeficiente Kappa foi interpretada seguindo a classificação dada por Landis e Koch (1977): Kappa < 0,00 (péssima); 0,00 – 0,20 (ruim); 0,21 – 0,40 (razoável); 0,41 – 0,60 (moderada); 0,61 – 0,80 (muito boa) e 0,81 – 1,00 (perfeita).

Na segunda etapa foram analisados os sintomas de SS como cansaço, dor de cabeça, náuseas, entre outros. Para isso foram transformados os valores de severidade de cada sintomas numa medida quantitativa (1 a 4) e comparados os valores observados antes e após a utilização do equipamento imersivo. Os valores de severidade adotados foram 1 para nenhum sintoma, 2 para sintomas leves, 3 para moderados e 4 para severo (Nodari *et al.*, 2017). Adicionalmente, foi investigada a existência de correlação entre a concordância em percentual nas escolhas de bairro por participante e o nível de SS reportado após o experimento. O nível de SS foi calculado a partir da média aritmética dos valores atribuídos a cada sintoma (média de cansaço, dor de cabeça, náuseas etc.), de forma a representar a sensação média de mal-estar sentida pelos respondentes após o uso do simulador. A correlação foi avaliada através da correlação de Pearson, para avaliar a relação linear e de Spearman, para capturar relações não lineares.

Na terceira etapa foram estimados modelos de escolha discreta utilizando os dados coletados na pesquisa online e presencial a fim de determinar o impacto dos atributos incluídos no experimento. A estimação dos modelos foi realizada no *software Apollo* (Hess e Palma, 2019). Inicialmente, foram estimados modelos logit multinomial (MNL) (McFadden, 1974), que são os modelos mais utilizados e mais simples de escolha discreta. Posteriormente, foram estimados modelos logit mistos (Boyd e Mellman, 1980), para incluir a heterogeneidade e a correlação entre as escolhas dos indivíduos. Os modelos mistos estimados foram modelos de componente de erro com termo de efeito painel (EC) e modelos de coeficientes aleatórios (RCL). Os EC foram utilizados para lidar com a correlação das múltiplas respostas de cada indivíduo, decorrente das respostas de preferência declarada, e os RCL para capturar a heterogeneidade nas preferências dos indivíduos.

Por último, foram calculados os efeitos marginais de cada atributo na probabilidade de escolha, a fim de comparar a importância relativa dos atributos na escolha de bairro, tanto na pesquisa online quanto presencial. Os atributos estão especificados com diferentes escalas, de forma que a comparação não pode ser realizada diretamente a partir dos parâmetros estimados nos modelos. Os efeitos marginais indicam como uma mudança de 1 unidade na variável independente afeta a probabilidade de escolher determinado bairro. Esses efeitos foram calculados conforme descrito em Hensher *et al.* (2005) para cada indivíduo e agregados por enumeração amostral (média das probabilidades de escolha de cada indivíduo).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do questionário online resultou em 436 respostas válidas. O tamanho da amostra foi definido através do cálculo para estimadores de proporção em amostras aleatórias simples, considerando um nível de confiança de 95% e um erro de 5%, determinando um mínimo de 384 respondentes. A mostra foi composta por 54% respondentes do gênero feminino e 46% do gênero masculino. A média de idade dos participantes foi de 34,9 anos, com idades distribuídas entre 16 e 83 anos. Já o experimento presencial foi realizado com 57 participantes, dessa vez sendo 46% do gênero feminino e 54% do gênero masculino. A faixa etária está distribuída entre 19 e 67 anos, sendo a média de 29,3 anos. Mais detalhes de caracterização da amostra podem ser vistos na Tabela 3 (onde P = presencial e O = online).

Tabela 3 - Caracterização das amostras quanto à renda, escolaridade e ocupação

Renda familiar	P	O	Escolaridade	P	O	Ocupação	P	O
Até R\$2.640	15%	15%	Ensino fundamental	0%	0%	Aposentado	5%	4%
R\$2.640 a R\$5.280	22%	20%	Ensino médio	6%	0%	Desempregado	2%	0%
R\$5.280 a R\$13.200	32%	22%	Ensino médio técnico	0%	0%	Do lar	0%	0%
\$13.200 a R\$26.400	17%	33%	Ens. superior completo	22%	7%	Emp. do setor privado	22%	5%
Acima de R\$26.400	5%	7%	Ens. superior incompleto	39%	62%	Emp. do setor público	19%	20%
Prefiro não responder	10%	4%	Pós-graduação	33%	31%	Estudante	39%	67%
						Sócio de empresa	13%	4%

(Fonte: Elaboração própria)

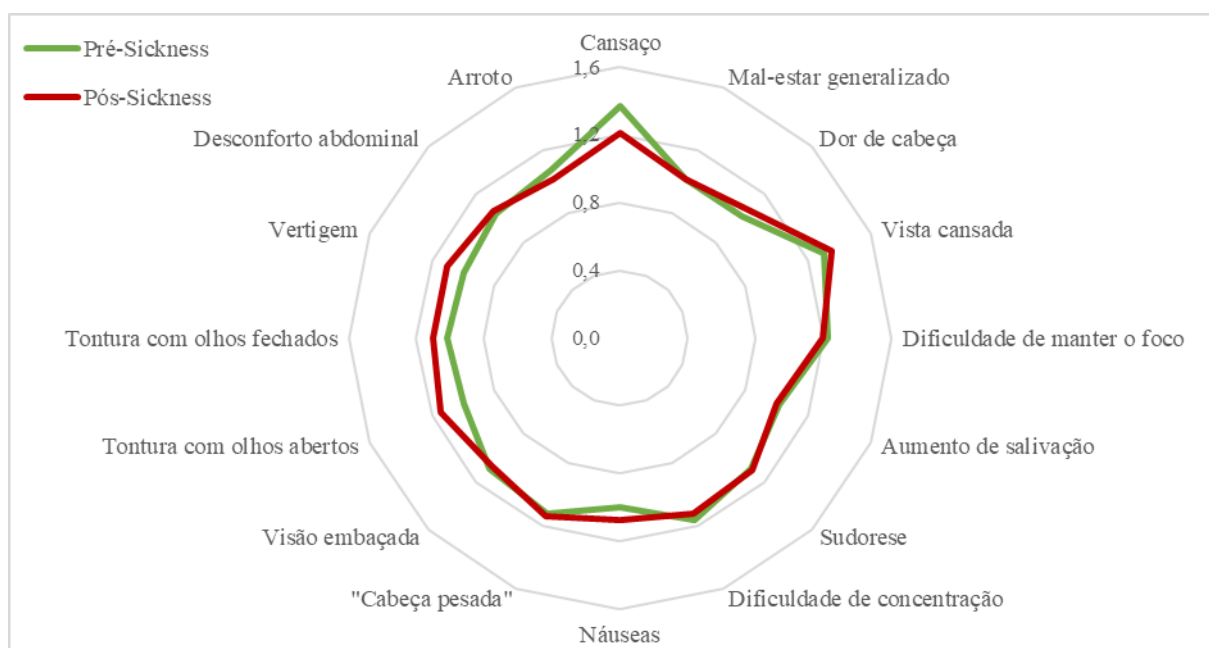
A avaliação da concordância das escolhas dos 57 participantes entre a pesquisa online e presencial foi realizada a partir das três medidas descritas na seção 2.3. A avaliação resultou nos seguintes valores: (i) concordância em percentual de 70% - ou seja 70% das escolhas feitas na pesquisa online coincidiram com as escolhas feitas na pesquisa presencial- indicando uma concordância moderada; (ii) Coeficiente Kappa de Cohen de 0,385, indicando uma concordância razoável, quase moderada e (iii) valor-p do teste de significância do Coeficiente Kappa de Cohen de 0,00, menor que o valor de significância usual de 5%, indicando que o índice é significativamente diferente de zero. A análise conjunta das três medidas sugere que os participantes apresentaram concordância nas escolhas em ambas as pesquisas. De forma geral, eles selecionaram os mesmos bairros quando foram apresentados às duas opções.

A análise dos sintomas de SS é sintetizada na Figura 9, que apresenta as diferenças entre os sintomas de SS observados antes e após a utilização do equipamento imersivo durante o experimento. O círculo unitário no centro da figura representa a menor intensidade na escala apresentada. Após o experimento, o nível relatado de “cansaço” foi inferior aos níveis observados antes da utilização do HMD, indicando que os participantes se sentiram à vontade e aproveitaram o experimento. Além disso, observou-se que os principais sintomas que apresentaram aumento após uso do HMD foram vertigem, tontura com olhos abertos, tontura com olhos fechados e vista cansada. Entretanto, os valores médios de todos os participantes se situam entre 1 e 2 (nada a leve).

Na Figura 10 são apresentados os valores de concordância em percentual nas escolhas de bairro por participante de acordo com o nível de SS reportado após o experimento. Como exemplo, dois participantes tiveram uma concordância de 50% entre as escolhas presenciais e online e relataram níveis de sintomas pós-experimento diferentes, resultantes em valores médios de SS

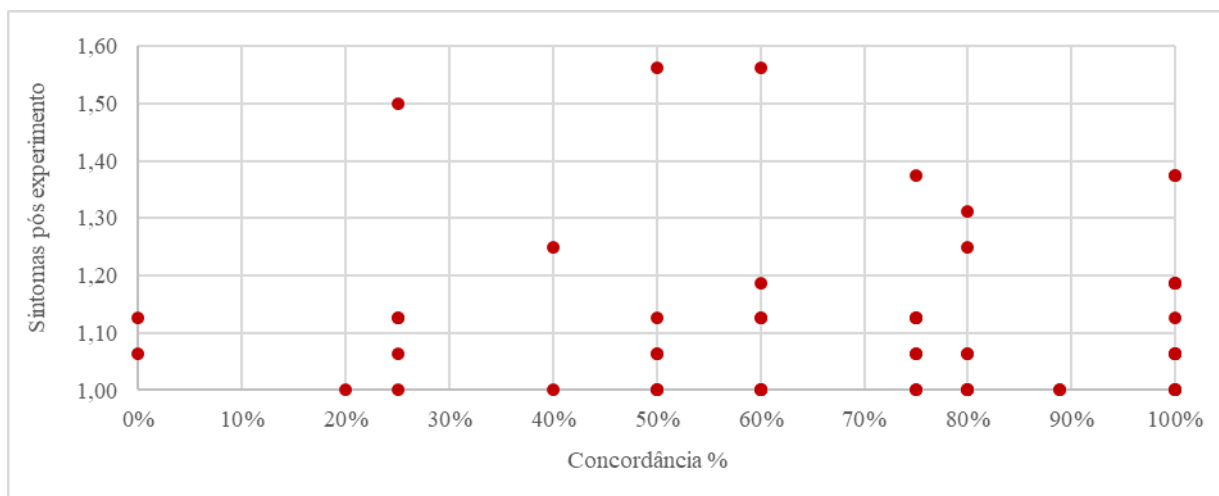
igual a 1 e 1,6. A figura mostra que não há uma tendência evidente entre o nível de SS e a concordância nas escolhas de bairro. Esse resultado foi comprovado pelos testes de correlação de Pearson (valor- $p=0,911$) e de Spearman (valor- $p=0,822$), ambos valores não estatisticamente significativos (5% de significância). É possível observar também que participantes com diferentes níveis de concordância apresentaram a mesma escala de SS, indicando que o uso do equipamento imersivo *Oculus Rift*, apesar de causar o surgimento de sintomas de SS, não possui influência nas escolhas dos cenários pelos participantes. O mesmo resultado foi encontrado por Mouratidis e Hassan (2020), que apresentaram cenários do GSV aos participantes com um HMD e uma cadeira giratória. Os autores não encontraram correlações significativas entre os níveis de tontura relatados e as percepções ambientais e avaliações afetivas quanto ao ambiente construído, exceto para a variável segurança, que apresentou correlação positiva com os sintomas de SS. Entretanto, os autores concluem que essa correlação pode ter ocorrido ao acaso.

Figura 9 - Diferenças entre sintomas de SS antes e depois do experimento



(Fonte: Elaboração própria)

Figura 10 - Relação entre os sintomas de SS depois do experimento e concordância



(Fonte: Elaboração própria)

A Tabela 4 e Tabela 5 apresentam os resultados dos modelos EC e RCL. Observa-se que ambos os modelos apresentaram valores não significativos estatisticamente ($\text{valor-}p > 0,05$), colapsando para o modelo MNL. A falta de significância dessas estimativas indica que as escolhas do mesmo indivíduo possivelmente não estejam correlacionadas (EC) e também a existência de homogeneidade nas preferências dos indivíduos amostrados (RCL). Isso significa que os efeitos dos atributos (segurança pública, superfície das calçadas, atratividade etc.) sobre as escolhas dos participantes são os mesmos para todos os indivíduos.

A Tabela 6 apresenta os resultados da estimação do modelo de escolha MNL para a pesquisa presencial realizada com HMD e para a pesquisa online. Também sintetiza os efeitos marginais calculados para cada variável. Os modelos estimados apresentaram um ajuste satisfatório, valores de ρ^2 entre 0,2 e 0,3, considerando que valores de 0,4 podem ser considerados ótimos ajustes (Ortúzar e Willumsen, 2011). *Risco de sinistros* não foi estatisticamente significativa para os dados coletados na pesquisa online para os níveis de significância usuais, e, portanto, foi removida do modelo.

Tabela 4 - Resultados do modelo com efeito painel

Variável	Parâmetro (valor-p)	
	Presencial	Online
Intercepto	0,296 (0,03)	0,075 (0,07)
Segurança pública	0,452 (0,04)	0,449 (0,00)
Risco de sinistros	0,340 (0,00)	-
Qualidade do pavimento	0,585 (0,05)	0,497 (0,00)
Comércios	0,408 (0,00)	0,061 (0,07*)
Atratividade	0,983 (0,00)	1,301 (0,00)
Largura da calçada	0,389 (0,07*)	0,457 (0,00)
σ Efeito Painel	-0,00015 (0,34)	-0,00112 (0,11)
Nº de observações válidas	266	3556
ρ^2	0,207	0,284

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 5 - Resultados do modelo de coeficientes aleatórios

Variável	Presencial		Online	
	μ	σ	μ	σ
Segurança pública	-1,429 (0,00)	-0,038 (0,18)	-0,665 (0,00)	-0,381 (0,00)
Risco de sinistros	-25,472 (0,00)	-0,072 (0,36)	-	-
Qualidade do pavimento	-0,839 (0,06)	0,209 (0,38)	-0,235 (0,00)	0,001 (0,38)
Comércios	-3,012 (0,13)	-0,305 (0,38)	-0,868 (0,00)	-0,003 (0,26)
Atratividade	-256,09 (0,00)	-0,067 (0,38)	-13,872 (0,00)	0,003 (0,005)
Largura da calçada	-2,717 (0,25)	1,799 (0,27)	-1,151 (0,00)	0,03 (0,23)
σ Efeito Painel	-0,00039 (0,28)	-	-0,00019 (0,38)	-
Nº de observações válidas	266		3556	
ρ^2	-0,039		0,117	

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 6 - Resultados dos modelos MNL

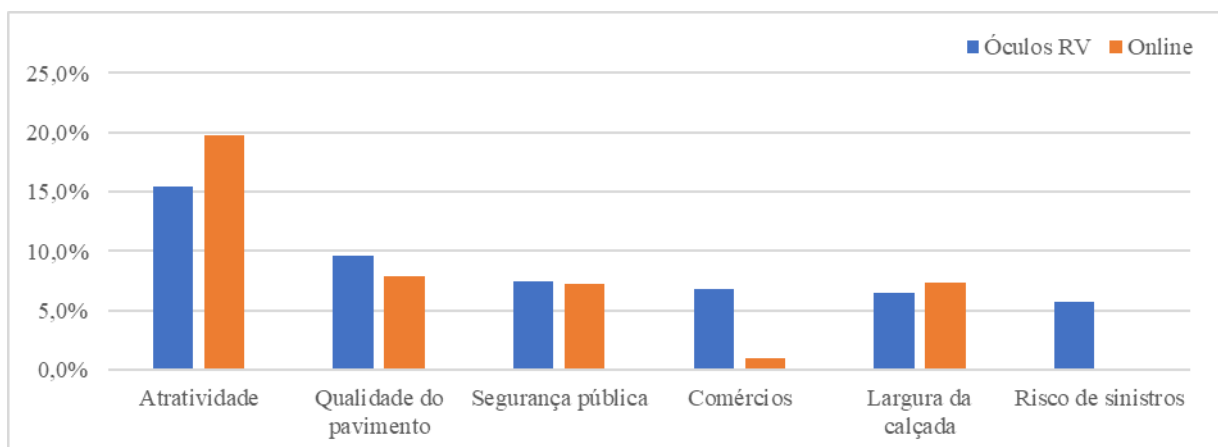
Variável	Presencial		Online	
	Parâmetro (valor-p)	Efeito marginal	Parâmetro (valor-p)	Efeito marginal
Intercepto	0,296 (0,03)	-	0,075 (0,07)	-
Segurança pública	0,452 (0,04)	7,50%	0,449 (0,00)	7,20%
Risco de sinistros	0,340 (0,00)	5,70%	-	-
Qualidade do pavimento	0,585 (0,05)	9,60%	0,497 (0,00)	7,90%
Comércios	0,408 (0,00)	6,80%	0,061 (0,07*)	1,00%
Atratividade	0,983 (0,00)	15,40%	1,301 (0,00)	19,80%
Largura da calçada	0,389 (0,07*)	6,50%	0,457 (0,00)	7,30%
Nº de observações válidas	266		3556	
ρ^2	0,213		0,285	

(Fonte: Elaboração própria)

Os resultados dos efeitos marginais apresentaram resultados bastante interessantes (Figura 11). Em primeiro lugar, *Atratividade* e *Qualidade do pavimento* foram os atributos mais valorizados pelos respondentes em ambas as pesquisas. Esse resultado difere dos estudos anteriores realizados na mesma cidade, como os estudos conduzidos por Larranaga *et al.* (2019) e Ruiz-

Padillo *et al.* (2018), que utilizaram métodos tradicionais de pesquisa com descrições estáticas dos níveis dos atributos, por meio de texto e imagens. Nestes estudos anteriores, esses atributos não estavam entre os mais valorizados. Essa discrepância pode ser atribuída à possibilidade de interatividade e imersão proporcionadas pela RV, que oferece uma experiência mais realista. O realismo é uma característica altamente procurada em experimentos de preferência declarada, pois ajuda a reduzir o viés nos parâmetros estimados nos modelos. Essa imersão pode ter influenciado a forma como os participantes perceberam e valorizaram os atributos.

Figura 11 - Efeitos marginais



(Fonte: Elaboração própria)

Em segundo lugar, *Segurança Pública* mostrou ser um atributo muito importante para os respondentes. Esse resultado coincide com os obtidos em outros estudos realizados em Porto Alegre e em outras cidades do Sul Global, como apontado por Arellana *et al.*, 2020, Larranaga *et al.*, 2019, Lucchesi *et al.*, 2023a e Ruiz-Padillo *et al.*, 2018, entre outros. Entretanto, é uma característica de difícil representação, tanto em formato de texto quanto por meio de imagens e realidade virtual. Isso se deve à sua natureza complexa, envolvendo duas dimensões distintas: a segurança percebida pelos indivíduos, que influencia suas decisões de viagens e escolha modal, e a segurança objetiva, que se refere a ocorrência efetiva de crimes. Diversos estudos têm utilizado diferentes métricas para representar a *Segurança Pública*, como número de policiais por cada 1000 habitantes, a presença ou quantidade de câmeras de vigilância, a movimentação ou volume de pedestres, bem como aspectos relacionados à vigilância natural, como janelas e grades. No âmbito do presente estudo, realizado em ambiente virtual, a representação por meio do fluxo de pessoas nas ruas e a presença de janelas se mostrou adequado para transmitir adequadamente o conceito de segurança pública. Contudo, é possível

que outras características relevantes possam ser consideradas para uma avaliação mais abrangente desse aspecto.

Em terceiro lugar, *Comércios* apresentou diferente nível de importância na pesquisa online e presencial. Na pesquisa presencial, o comércio foi mais valorizado em comparação à pesquisa online. Provavelmente, ao percorrer o cenário com uma imersão maior, os participantes puderam identificar os estabelecimentos comerciais presentes nos bairros fictícios. De fato, a visualização desses comércios não estava tão clara nos vídeos, mas sim quando visualizados com o uso de óculos de RV, embora os cenários fossem os mesmos. Em outros estudos realizados na cidade, mencionados anteriormente, a presença de comércios foi considerada de importância média dentro do conjunto de atributos urbanos avaliados. Esse resultado traz um aprendizado e um desafio sobre a representação mais adequada para essa variável.

Em quarto lugar, *Risco de sinistros* apresentou menor relevância em ambas as pesquisas assim como nos estudos realizados na mesma cidade a partir de técnicas tradicionais de coleta de dados (Larranaga *et al.*, 2019; Ruiz-Padillo *et al.*, 2018).

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo analisou a utilização de realidade virtual em uma pesquisa de preferência declarada para analisar a importância das características urbanas que influenciam na caminhabilidade. Para isso, as características urbanas foram representadas em cenários virtuais, apresentados em vídeos convencionais e comparados com cenários tridimensionais com equipamento imersivo. A partir de projetos experimentares, esses cenários foram combinados e elaborado o questionário de coleta de dados. 436 respondentes participaram da pesquisa online e 57 da pesquisa presencial. Adicionalmente, foi analisada a ocorrência de SS durante a experiência imersiva, a fim de compreender melhor seus efeitos na percepção dos atributos de caminhabilidade. A análise dos dados envolveu quatro etapas: (i) concordância das respostas da pesquisa online e presencial; (ii) sintomas de SS, (iii) estimação de modelos de escolha discreta e (iv) cálculo de efeitos marginais.

A avaliação da concordância das escolhas dos 57 participantes entre a pesquisa online e presencial sugere que os participantes apresentaram concordância nas escolhas em ambas as pesquisas. De forma geral, eles selecionaram os mesmos bairros quando foram apresentados às

duas opções. A concordância percentual foi de 70%, o Coeficiente Kappa de Cohen foi estatisticamente significativo e com valor de 0,385, indicando uma concordância razoável, quase moderada.

Para os sintomas de SS, foi observado que houve aumento no nível de intensidade de alguns sintomas sentidos, como vertigem, tontura com olhos abertos e fechados e vista cansada. Entretanto, a partir da análise das correlações lineares e não lineares entre os sintomas de SS pós-experimento e a concordância nas escolhas de bairro nas duas pesquisas, não foi observada tendência evidente da influência dos sintomas de SS nas escolhas dos participantes.

Os resultados dos modelos de escolha discreta para ambas as pesquisas mostraram que os modelos logit multinomial foram os mais adequados, dentro dos modelos estimados para representar o processo de escolha de bairro. O cálculo de efeitos marginais indicou que *Atratividade* e *Qualidade do pavimento* foram os atributos mais valorizados pelos respondentes em ambas as pesquisas, seguidos de *Segurança Pública*.

A representação por meio de vídeos se mostrou bastante adequada, com resultados que coincidem, em geral, com aqueles obtidos através do uso de óculos de realidade virtual. Houve concordância nas respostas entre ambas as pesquisas, assim como na importância atribuída pelos participantes. As pesquisas online possuem a vantagem de maior alcance e amostras mais amplas. A utilização dessa técnica pode contribuir para adicionar realismo, ao mesmo tempo em que facilita a coleta de dados.

Em linha com o argumento apresentado por Kim e Lee (2022), os resultados indicam que a auditoria em RV é mais apropriada para avaliação de aspectos relacionados à sensação de espaço, qualidades comportamentais e atmosfera geral da rua. Conforme os resultados da pesquisa, as técnicas de realidade virtual apresentaram vantagens para identificação de alguns aspectos, como *Comércios* e *Risco de sinistros*, que possuíram maior relevância na pesquisa presencial devido às características da imersão.

Para trabalhos futuros, sugere-se a investigação mais aprofundada da influência do modo de representação desses dois atributos nos cenários em vídeos convencionais e nos cenários em realidade virtual, buscando com que a forma de visualização desses aspectos não seja privilegiada somente em um tipo de observação. Além disso, novos atributos como *Sons/ruídos*

e *Clima* podem ser adicionados aos ambientes virtuais para investigação da influência no ato de caminhar.

REFERÊNCIAS ARTIGO 2

- Arellana, J., Saltarín, M., Larrañaga, A. M., Alvarez, V., e Henao, C. A. (2020) Urban walkability considering pedestrians' perceptions of the built environment: a 10-year review and a case study in a medium-sized city in Latin America. *Transport Reviews*, 40(2), 183–203. doi:10.1080/01441647.2019.1703842
- Birenboim, A., Bloom, P. B. N., Levit, H., e Omer, I. (2021) The study of walking, walkability and wellbeing in immersive virtual environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2).
- Boyd, J., e Mellman, J. (1980) The effect of fuel economy standards on the U.S. automotive market: a hedonic demand analysis. *Transportation Research*, 14A(5–6), 423–434.
- Burden, D. (2001) Building Communities with Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1773(1), 5–20. doi:10.3141/1773-02
- Cain, K. L., Millstein, R. A., Sallis, J. F., Conway, T. L., Gavand, K. A., Frank, L. D., Saelens, B. E., Geremia, C. M., Chapman, J., Adams, M. A., Glanz, K., e King, A. C. (2014) Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS). *Social Science & Medicine*, 116, 82–92. doi:10.1016/j.socscimed.2014.06.042
- Carvalho, M. R. de, Costa, R. T. da, e Nardi, A. E. (2011) Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 60(4), 247–252. doi:10.1590/S0047-20852011000400003
- ChoiceMetrics. (2018) Ngene 1.2 user manual and reference guide. ChoiceMetrics Pty Ltd, Australia.
- Classen, S., Bewernitz, M., e Shechtman, O. (2011) Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65(2), 179–188.
- Ewing, R., e Certero, R. (2010) Travel and the built environment. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265–294. doi:10.1080/01944361003766766
- Heft, H., e Nasar, J. L. (2000) Evaluating environmental scenes using dynamic versus static displays. *Environment and Behavior*, 32(3), 301–322. doi:10.1177/0013916500323001
- Hensher, D. A., Rose, J. M., e Greene, W. H. (2005) *Applied Choice Analysis: A Primer*. (1º ed). Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- Hess, S., e Palma, D. (2019) Apollo version 0.1.0 User Manual. Obtido de www.ApolloChoiceModelling.com
- Jun, H. J., e Hur, M. (2015) The relationship between walkability and neighborhood social environment: The importance of physical and perceived walkability. *Applied Geography*, 62, 115–124.
- Kasraian, D., Adhikari, S., Kossowsky, D., Luubert, M., Hall, G. B., Hawkins, J., Nurul Habib, K., e Roorda, M. J. (2021) Evaluating pedestrian perceptions of street design with a 3D stated preference survey. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1787–1805. doi:10.1177/2399808320946050
- Kim, S.-N., e Lee, H. (2022) Capturing reality: Validation of omnidirectional video-based immersive virtual reality as a streetscape quality auditing method. *Landscape and Urban Planning*, 218, 104290.
- Kohl, R. L. (1983) Sensory conflict theory of space motion sickness: an anatomical location for the neuro conflict. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, ((54)5), 464–465.
- Kottner, J., Audigé, L., Brorson, S., Donner, A., Gajewski, B. J., Asbjørn Hróbjartsson, C. R., Shoukri, M., e Streiner, D. L. (2011) Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. *International Journal of Nursing Studies*, 48(6), 661–671.
- Landis, J. R., e Koch, G. G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. doi:10.2307/2529310
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2019) *Using best–worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil*. *Transportation* (Vol. 46). Springer US.

- Larranaga, A. M., Rizzi, L. I., Arellana, J., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2014) The influence of built environment and travel attitudes on walking: A case study of Porto Alegre, Brazil. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(4), 332–342. doi:10.1080/15568318.2014.933986
- Liao, B., van den Berg, P. E. W., van Wesemael, P. J. V., e Arentze, T. A. (2022) Individuals' perception of walkability: Results of a conjoint experiment using videos of virtual environments. *Cities* 125, 103650.
- Litman, T. A. (2003) Economic Value of Walkability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828(1), 3–11. doi:10.3141/1828-01
- Lucchesi, S. T., Larranaga, A. M., Cybis, H. B. B., Abreu e Silva, J. A. de, e Arellana, J. A. (2021) Are people willing to pay more to live in a walking environment? A multigroup analysis of the impact of walkability on real estate values and their moderation effects in two Global South cities. *Research in Transportation Economics*, 86, 100976. doi:10.1016/j.retrec.2020.100976
- Lucchesi, S. T., Abreu e Silva, J. A. de, Larranaga, A. M., e Cybis, H. B. B. (2023a) Walkability premium: evidence for low-income communities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(7), 727–739.
- Lucchesi, S. T., Abreu e Silva, J. A. de, Larranaga, A. M., Zechin, D., e Beatriz Bettella Cybis, H. (2023b) Machine Learning and Image Recognition Technologies to Identify Built Environment Barriers and Incentives to Walk. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(1), 14–24.
- McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. P. Zarembka (Ed), *Frontiers in Econometrics* (p. 105–142). Academic Press, New York, New York, USA.
- Mouratidis, K., e Hassan, R. (2020) Contemporary versus traditional styles in architecture and public space: A virtual reality study with 360-degree videos. *Cities*, 97(November 2019), 102499.
- Nakamura, K. (2021) Experimental analysis of walkability evaluation using virtual reality application. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8), 2481–2496.
- Natapov, A., e Fisher-Gewirtzman, D. (2016) Visibility of urban activities and pedestrian routes: An experiment in a virtual environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 58, 60–70.
- Nodari, C. T., Oliveira, M. C. de, Veronez, M. R., Bordin, F., Gonzaga Jr., L., Larocca, A. P. C., e Framarim, C. (2017) Avaliação do realismo e da sensação de mal-estar (simulator sickness) no uso de simulador imersivo de direção. *Anais XXXI Congresso da ANPET* (p. 3103–3115). ANPET, Recife.
- Ortúzar, J. de D., e Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*. Wiley. doi:10.1002/9781119993308
- Queralt, A., Molina-García, J., Terrón-Pérez, M., Cerin, E., Barnett, A., Timperio, A., Veitch, J., Reis, R., Silva, A. A. P., Ghekiere, A., Van Dyck, D., Conway, T. L., Cain, K. L., Geremia, C. M., e Sallis, J. F. (2021) Reliability of streetscape audits comparing on-street and online observations: MAPS-Global in 5 countries. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 1–11. doi:10.1186/s12942-021-00261-5
- Roberge, J. B., Contreras, G., Kakinami, L., Van Hulst, A., Henderson, M., e Barnett, T. A. (2022) Validation of desk-based audits using Google Street View® to monitor the obesogenic potential of neighbourhoods in a pediatric sample: a pilot study in the QUALITY cohort. *International Journal of Health Geographics*, 21(1).
- Rose, J. M., e Bliemer, M. C. J. (2009) Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. *Transport Reviews*, 29(5), 587–617. doi:10.1080/01441640902827623
- Ruiz-Padillo, A., Pasqual, F. M., Larranaga Uriarte, A. M., e Cybis, H. B. B. (2018) Application of multi-criteria decision analysis methods for assessing walkability: A case study in Porto Alegre, Brazil. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 855–871. doi:10.1016/j.trd.2018.07.016
- Rundle, A. G., Bader, M. D. M., Richards, C. A., Neckerman, K. M., e Teitler, J. O. (2011) Using google street view to audit neighborhood environments. *American Journal of Preventive Medicine*, 40(1), 94–100.
- Sohn, D. W., Moudon, A. V., e Lee, J. (2012) The economic value of walkable neighborhoods. *Urban Design International*, 17(2), 115–128. doi:10.1057/udi.2012.1
- Steinmetz-Wood, M., Velauthapillai, K., O'Brien, G., e Ross, N. A. (2019) Assessing the micro-scale environment using Google Street View: The Virtual Systematic Tool for Evaluating Pedestrian Streetscapes (Virtual-STEPS). *BMC Public Health*, 19(1), 1–11. doi:10.1186/s12889-019-7460-3

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação se propôs a explorar a aplicação da Realidade Virtual como uma ferramenta para a coleta de dados relacionados à caminhabilidade, tendo em vista as vantagens dessa ferramenta quanto ao realismo agregado aos experimentos. A aplicação da RV tem se mostrado promissora visto que atualmente a maior parte dos estudos utiliza metodologias estáticas, como imagens e texto, para descrever os atributos do ambiente construído, podendo causar distorções nas escolhas dos participantes devido à diminuição do realismo.

O presente trabalho foi dividido em dois artigos que visam analisar o uso da RV para a coleta de dados de caminhabilidade. O primeiro artigo é constituído por uma revisão sistemática da literatura para analisar de forma quali e quantitativa os estudos existentes sobre o tema na última década, identificando as principais ferramentas utilizadas para auditorias de caminhabilidade como alternativas às coletas tradicionais em campo, considerando a escala das variáveis estudadas, e objetivando também identificar as vantagens e desvantagens da utilização da RV.

A revisão sistemática identificou uma tendência de crescimento nas pesquisas sobre o tema, principalmente nos anos de 2021 e 2022. A ferramenta mais utilizada para mensuração das características urbanas como substituta à coleta tradicional em campo são as imagens do *Google Street View*, seguida dos instrumentos que utilizam geoprocessamento (GIS). A diferença entre esses métodos é que o primeiro é usualmente empregado para capturar informações em nível de microescala, enquanto o segundo envolve mais variáveis de mesoescala.

As ferramentas de RV, apesar de apresentarem maiores custos de aplicação e limitação na quantidade de voluntários dos experimentos, possuem vantagens quanto ao maior nível de detalhamento e realismo nos ambientes, com resultados mais precisos quando comparados às coletas realizadas com GSV. Por fim, a investigação de sintomas de *Simulator Sickness* foi identificada somente em um artigo, sendo que é um elemento relevante na obtenção de dados com equipamentos imersivos, se caracterizando como uma lacuna de pesquisa.

O segundo artigo dessa dissertação foi elaborado com base na aplicação de uma pesquisa de preferência declarada com a utilização de cenários tridimensionais fictícios representando características urbanas que influenciam no ato de caminhar. As coletas dessa pesquisa foram

realizadas em duas etapas, sendo uma de forma online, com 436 respondentes, e outra de forma presencial com equipamento imersivo, com 57 participantes.

Os resultados obtidos indicaram para uma concordância razoável, quase moderada, entre as escolhas realizadas pelos participantes da pesquisa online e presencial. Ainda, não foi observada influência dos sintomas de SS nas escolhas dos cenários fictícios entre os dois ambientes pesquisados, apesar do aumento no nível de intensidade de alguns sintomas sentidos, como vertigem, tontura com olhos abertos e fechados e vista cansada, fatores comuns em experimentos de RV.

O modelo logit multinomial foi o modelo mais adequado para representa o processo de escolha, sendo que os atributos mais valorizados pelos respondentes foram a *Atratividade* e *Qualidade do pavimento*, diferentemente das coletas tradicionais com imagens estáticas, podendo ser relacionado à interatividade e imersão proporcionadas pela RV. A coleta com óculos de realidade virtual apresentou algumas vantagens para identificação de alguns aspectos, como *Comércios* e *Riscos de sinistros*, devido às características imersivas do experimento.

Por fim, foi identificado que a representação por meio de vídeos na etapa online da pesquisa foi adequada, com resultados coincidentes, de forma geral, com os obtidos com os óculos de realidade virtual. Isso indica que o método aplicado pode contribuir para a adição de realismo, ao mesmo tempo que facilita a coleta de dados tendo em vista o alcance das pesquisas online.

Com base nos aprendizados obtidos durante o processo de elaboração dessa dissertação, sugere-se a exploração do modo de representação de atributos como *Comércio* e *Risco de Sinistros*, que apresentaram diferentes níveis de importância entre os cenários em vídeos e em realidade virtual, devido às características imersivas desse último. Ainda, outros aspectos do ambiente construído podem ser investigados, como *Sons/ruídos* e *Clima*, atributos pouco estudados até o momento na literatura. Por fim, para os métodos de análise de dados, podem ser aplicados algoritmos de *Machine Learning*, que têm se difundido no planejamento de transportes, tendo em vista suas vantagens quanto à capacidade analítica perante a diversidade e volume de dados.

REFERÊNCIAS

- Abley, S. (2005) Walkability Scoping Paper. Christchurch: Chartered Traffic and Transportation Engineering.
- Anderson, S. F. (2017) The War Between Data and Images. MIT Press Journals.
- ANTP. (2020) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - Simob/ANTP. Relatório Geral 2018. Obtido de <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>
- Bartzokas-Tsiompras, A., e Photis, Y. N. (2021) Microscale walkability modelling. The case of athens city centre. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3), 413–426. doi:10.18280/IJSDP.160302
- Birenboim, A., Dijst, M., Ettema, D., de Kruijf, J., de Leeuw, G., e Dogterom, N. (2019) The utilization of immersive virtual environments for the investigation of environmental preferences. *Landscape and Urban Planning*, 189(April), 129–138. doi:10.1016/j.landurbplan.2019.04.011
- Bivina, G. R., Gupta, A., e Parida, M. (2020) Walk Accessibility to Metro Stations: An analysis based on Meso- or Micro-scale Built Environment Factors. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102047. doi:10.1016/j.scs.2020.102047
- Burden, D. (2001) Building Communities with Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1773(1), 5–20. doi:10.3141/1773-02
- Daley, J., Rodrigue, L., Ravensbergen, L., DeWeese, J., Butler, G., Kestens, Y., e El-Geneidy, A. (2022) Foot-based microscale audit of light rail network in Montreal Canada. *Journal of Transport & Health*, 24, 101317. doi:10.1016/j.jth.2021.101317
- Fonseca, F., Ribeiro, P. J. G., Conticelli, E., Jabbari, M., Papageorgiou, G., Tondelli, S., e Ramos, R. A. R. (2021) Built environment attributes and their influence on walkability. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(7), 660–679. doi:10.1080/15568318.2021.1914793
- Heft, H., e Nasar, J. L. (2000) Evaluating environmental scenes using dynamic versus static displays. *Environment and Behavior*, 32(3), 301–322. doi:10.1177/0013916500323001
- ITDP. (2022) Transporte de média e alta capacidade. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, RJ.
- Jensen, W. A., Stump, T. K., Brown, B. B., Werner, C. M., e Smith, K. R. (2017) Walkability, complete streets, and gender: Who benefits most? *Health & Place*, 48, 80–89. doi:10.1016/j.healthplace.2017.09.007
- Kasraian, D., Adhikari, S., Kossowsky, D., Luubert, M., Hall, G. B., Hawkins, J., Nurul Habib, K., e Roorda, M. J. (2021) Evaluating pedestrian perceptions of street design with a 3D stated preference survey. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1787–1805. doi:10.1177/2399808320946050
- Clifton, K. J., e Livi, A. D. (2004) Gender Differences in Walking Behavior, Attitudes About Walking, and Perceptions of the Environment in Three Maryland Communities. *Proceedings of the Conference on Research on Women's Issues in Transportation*.
- Kim, S.-N., e Lee, H. (2022) Capturing reality: Validation of omnidirectional video-based immersive virtual reality as a streetscape quality auditing method. *Landscape and Urban Planning*, 218, 104290. doi:10.1016/j.landurbplan.2021.104290
- Lee, E., e Dean, J. (2018) Perceptions of walkability and determinants of walking behaviour among urban seniors in Toronto, Canada. *Journal of Transport & Health*, 9, 309–320. doi:10.1016/j.jth.2018.03.004
- Liao, B., van den Berg, P. E. W., van Wesemael, P. J. V., e Arentze, T. A. (2022) Individuals' perception of walkability: Results of a conjoint experiment using videos of virtual environments. *Cities*, 125(October 2020), 103650. doi:10.1016/j.cities.2022.103650
- Litman, T. A. (2003) Economic Value of Walkability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828(1), 3–11. doi:10.3141/1828-01
- Nakamura, K. (2021) Experimental analysis of walkability evaluation using virtual reality application. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8), 2481–2496.

doi:10.1177/2399808320980747

Rivas, M. E., e Serebrisky, T. (2021) The Role of Active Transport Modes in Enhancing the Mobility of Low-Income People in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank. doi:10.18235/0003216

Yin, L., Cheng, Q., Wang, Z., e Shao, Z. (2015) 'Big data' for pedestrian volume: Exploring the use of Google Street View images for pedestrian counts. *Applied Geography*, 63, 337–345. doi:10.1016/j.apgeog.2015.07.010