

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriel Santos Chagas

**USO DE REALIDADE VIRTUAL POR TÉCNICOS DE
MOBILIDADE URBANA PARA ANÁLISE DE PROJETOS DE
CALÇADA**

Porto Alegre
Abril de 2023

GABRIEL SANTOS CHAGAS

**USO DE REALIDADE VIRTUAL POR TÉCNICOS DE
MOBILIDADE URBANA PARA ANÁLISE DE PROJETOS DE
CALÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão
de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Daniel Sergio Presta García

Porto Alegre
Abril de 2023

GABRIEL SANTOS CHAGAS

**USO DE REALIDADE VIRTUAL POR TÉCNICOS DE
MOBILIDADE URBANA PARA ANÁLISE DE PROJETOS DE
CALÇADA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado _____ como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e _____ em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de abril de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Prof.^a Christine Tessele Nodari (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng.^a Giovana Facchini (UFRGS)
Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha mãe, Cátia, por desde sempre me incentivar aos estudos e proporcionar todo o suporte necessário, superando todas as dificuldades para que eu conseguisse chegar até aqui.

Agradeço a minha vó, Nilza, e ao meu dindo, Daniel, por estarem sempre presentes e me apoiarem durante minha caminhada. Agradeço também ao Allan, companheiro que permaneceu ao meu lado dando todo o auxílio possível.

Sou grato ao meu pai, Márcio, e aos demais familiares, colegas e amigos que de alguma forma contribuíram durante esta jornada.

Agradeço a todos os meus professores, em especial ao prof. Daniel García, que me acolheu gentilmente na graduação e orientou este trabalho. Agradeço também à prof. Christine Nodari por sempre ser solícita e viabilizar que este estudo pudesse acontecer.

Agradeço à Encop Engenharia, aos engenheiros Luciano Bezerra e Thiago Araldi e ao arquiteto Cássio Scholles que disponibilizaram o projeto para o experimento. Agradeço também aos técnicos da SMMU e da EPTC que foram até a UFRGS participar voluntariamente do estudo.

Agradeço aos meus amigos do CEUE, em particular à área de Extensão Social, por todo o desenvolvimento pessoal e motivação que me passaram.

Por fim, agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo crescimento proporcionado, pelos momentos vividos e pelo ensino público de qualidade que me desenvolveu como profissional.

RESUMO

As grandes cidades brasileiras se desenvolveram com base em pensamentos que priorizaram a utilização de automóveis como principal meio de transporte, resultando em vias urbanas com inadequado nível de caminhabilidade. Atualmente, tem se repensado o desenho viário para torna-lo mais democrático e inclusivo, portanto, a avaliação da qualidade das calçadas se torna importante. Além disso, a aplicação de tecnologias de realidade virtual está cada vez mais frequente em diversas áreas da engenharia, porém, para calçadas, a maioria dos estudos com a ferramenta buscam apenas identificar o comportamento dos pedestres. Sendo assim, este artigo descreve um experimento para relatar a percepção em realidade virtual dos técnicos de mobilidade urbana sobre projetos de requalificação de calçadas e verificar a aplicação. A pesquisa foi desenvolvida utilizando o cenário virtual do projeto de requalificação urbana da Rua João Alfredo com os técnicos de mobilidade urbana da cidade de Porto Alegre. A metodologia foi baseada na visualização de 8 princípios que tornam as calçadas adequadas. O estudo mostrou que é válido o uso de realidade virtual como ferramenta complementar aos métodos convencionais de avaliação de calçadas.

Palavras-chave: calçada; realidade virtual; mobilidade urbana.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arruamento com calçadas de mais de 2.000 anos em Pompeia, na Itália.....	11
Figura 2: Modelo tridimensional do projeto da Rua João Alfredo.....	14
Figura 3: Participante durante a imersão no ambiente virtual.	16
Figura 4: Procedimento do experimento	15
Figura 5: Sintomas de <i>Simulator Sickness</i> antes e depois do experimento.	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Os 8 princípios para calçadas adequadas.....	13
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM – *Building Information Model*
CAD – *Computer-Aided Design*
EE – Escola de Engenharia
EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação
IQC – Índice de Qualidade de Calçadas
ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
NBR – Norma Brasileira
LASTRAN – Laboratório de Sistemas de Transportes
PDF – *Portable Document Format*
PNMU – Política Nacional de Mobilidade Urbana
SMMU – Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana
SS – *Simulator Sickness*
SSQ – *Simulator Sickness Questionnaire*
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VR – *Virtual Reality*
WRI – *World Resources Institute*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Projetos de calçadas adequadas	12
2.2. Realidade virtual em projetos de engenharia	13
3. METODOLOGIA	14
3.1. Projeto Virtual.....	14
3.2. Experimento.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. <i>Simulator Sickness</i>	17
4.2. Visualização dos princípios	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS	22

USO DE REALIDADE VIRTUAL POR TÉCNICOS DE MOBILIDADE URBANA PARA ANÁLISE DE PROJETOS DE CALÇADA

Gabriel Santos Chagas
Daniel Sergio Presta García
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

As grandes cidades brasileiras se desenvolveram com base em pensamentos que priorizaram a utilização de automóveis como principal meio de transporte, resultando em vias urbanas com inadequado nível de caminhabilidade. Atualmente, tem se repensado o desenho viário para torna-lo mais democrático e inclusivo, portanto, a avaliação da qualidade das calçadas se torna importante. Além disso, a aplicação de tecnologias de realidade virtual está cada vez mais frequente em diversas áreas da engenharia, porém, para calçadas, a maioria dos estudos com a ferramenta buscam apenas identificar o comportamento dos pedestres. Sendo assim, este artigo descreve um experimento para relatar a percepção em realidade virtual dos técnicos de mobilidade urbana sobre projetos de requalificação de calçadas e verificar a aplicação. A pesquisa foi desenvolvida utilizando o cenário virtual do projeto de requalificação urbana da Rua João Alfredo com os técnicos de mobilidade urbana da cidade de Porto Alegre. A metodologia foi baseada na visualização de 8 princípios que tornam as calçadas adequadas. O estudo mostrou que é válido o uso de realidade virtual como ferramenta complementar aos métodos convencionais de avaliação de calçadas.

Palavras-chave: calçada; realidade virtual; mobilidade urbana.

ABSTRACT

Big cities in Brazil have grown based on thoughts that prioritized the use of motorized vehicles as the main transport mode, resulting in traffic ways with low walkability levels. Nowadays, the urban draw has been rethought to become more democratic and inclusive, therefore, the evaluation of the sidewalk's quality is so important. Furthermore, the apply of virtual reality technologies is every day more common in several engineering areas, but, to sidewalks, the most of studies with these tools only seek to identify the pedestrian's behavior. For that reason, this article performed an experiment in order to assay the perception in virtual reality of the urban mobility technicians from Porto Alegre, Brazil, and to verify the application. The research was developed using the virtual scenario from the project of urban requalification of João Alfredo Street in Porto Alegre. The methodology was made according to the 8 principles to better sidewalks. The research shows that the use of virtual reality is valid as a complementary tool to the conventional methods of sidewalk's design projects analysis.

Keywords: sidewalk; virtual reality; urban mobility.

1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento das grandes cidades, na antiguidade, muito antes de se imaginar a existência de veículos motorizados, os arruamentos urbanos se tornaram locais tumultuosos. Carroças dividiam espaços junto das pessoas andando a pé, o que forçou a divisão do fluxo e a introdução das calçadas (Da Silva, 2014). Tal divisão pode ser observada em cidades da antiguidade, as ruínas da cidade de Pompeia, por exemplo, mostrada na foto da Figura 1, guardam um registro deste acontecimento. Este novo espaço era utilizado não só como local de transporte, mas também de convivência e de realização de atividades por distintos indivíduos como vendedores, barbeiros, artistas etc.

A maioria das grandes metrópoles da América Latina e do Brasil se desenvolveram com base em pensamentos que priorizaram a utilização de automóveis como principal meio de transporte. O resultado disso foram vias urbanas com baixos níveis de conforto e segurança devido ao pouco espaço destinado ao trânsito a pé em favorecimento do transporte por veículos motorizados (Jacobs, 2016). Entretanto, a melhora da qualidade de vida e o surgimento de ideais mais humanísticos, sustentáveis e de conservação do meio ambiente demandaram a readequação dos espaços urbanos a partir de projetos onde o pedestre esteja bem mais priorizado (Caccia, 2015).



Figura 1: Arruamento com calçadas de mais de 2.000 anos em Pompeia, na Itália.

Ao longo das décadas, diversas pesquisas foram realizadas na tentativa de converter o pensamento de projetar ruas, que antes eram desenhadas pensando exclusivamente nos meios motorizados, a formas que privilegiam outros meios mais inclusivos. Nesse sentido, buscando entender o que leva as pessoas a escolherem utilizar o transporte a pé ou que leva uma via a ser mais ou menos utilizada para este fim foi disseminado o conceito de caminhabilidade. Esse termo retrata as condições das vias urbanas pelo ponto de vista do pedestre, ou seja, se torna um índice que retrata as características que favorecem sua utilização para o deslocamento a pé (ITDP, 2018).

O conceito de Rua Completa busca repensar o desenho viário e tornar o espaço público de convivência e as vias seguras para todos os seus usuários (Babb e Watkins, 2016). No Brasil, diversos projetos seguindo este objetivo passaram a ser elaborados, como o projeto de requalificação urbana da Rua João Alfredo em Porto Alegre, que segue o conceito e “busca criar espaços de permanência confortáveis e seguros para os pedestres” (Santos et al., 2021).

O crescente avanço tecnológico e computacional tem disponibilizado novas ferramentas de apoio aos projetos de engenharia. A aplicação de tecnologias de realidade virtual tem se tornado mais frequente em diversas áreas, contribuindo para uma melhor visualização de projetos por meio da sua experiência imersiva e interativa. A utilização da ferramenta se torna interessante em pesquisas no qual são estudados situações ou cenários ainda não existentes (Freina e Ott, 2015). A realidade virtual pode ajudar a melhorar a segurança dos pedestres ao simular situações de tráfego e estudar o comportamento dos pedestres (Ye et al., 2020). Além disso, a ferramenta pode ser utilizada para simular diferentes tipos de calçadas e estudar a sua acessibilidade. Todavia, dentro da área de mobilidade, seu uso está muito ligado a estudos de segurança viária e simuladores de direção (Bella, 2009). Há, portanto, um potencial a ser explorado nos estudos sobre a implementação desta tecnologia para a análise e elaboração de projetos de infraestrutura urbana.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo relatar a percepção em realidade virtual dos técnicos de mobilidade urbana quanto aos elementos e aspectos que tornam as calçadas adequadas. Partindo do pressuposto que essa análise atualmente é feita utilizando métodos e ferramentas convencionais, como plataformas bidimensionais e visitas a campo, será traçado um comparativo com esta nova forma de análise. Além de verificar a aplicação da ferramenta para avaliação dos projetos de calçadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão teórica deste artigo foi organizada em duas subseções. A primeira subseção apresenta uma revisão da literatura sobre as metodologias de análise de calçadas e os princípios que tornam seus projetos adequados. A segunda subseção apresenta uma síntese a respeito do uso de realidade virtual em transportes e projetos de mobilidade urbana.

2.1. Projetos de calçadas adequadas

A Política Nacional de Mobilidade Urbana - PNMU (Brasil, 2012) apresenta diretrizes para a qualificação da mobilidade urbana nos municípios do território brasileiro, destacando o dever de se construir uma infraestrutura de transportes mais democrática e inclusiva. Dentre essas diretrizes está o incentivo aos meios de transporte não motorizados. Nesse sentido, a elaboração de projetos favorecedores da acessibilidade e da mobilidade dos pedestres é um fator essencial.

As características que as calçadas devem apresentar para que sejam consideradas rotas acessíveis são dadas em normas técnicas como a ABNT NBR 9050 (ABNT, 2015), que evidencia os parâmetros relacionados à circulação e acessibilidade em áreas externas e espaços públicos. O nível de serviço das calçadas tem direta influência da aplicação de tais normas, contudo, a avaliação da qualidade dos espaços para pedestres não está relacionada apenas aos aspectos físicos devido à complexidade da interação do indivíduo com esse espaço.

A influência de aspectos qualitativos como conforto, segurança, agradabilidade e acessibilidade sob a caminhada foi apontada pelos estudos de Mori e Tsukaguchi (1987), Sarkar (1993), Khisty (1994) e Dixon (1996). Owen (2004) acrescenta que existem diferenças nessas influências entre o caminhar como exercício físico e o caminhar com objetivo de ir e vir até determinado destino. Na literatura, existem diversos trabalhos que buscam desenvolver um método que meça a qualificação dos espaços caminháveis ou a atratividade no qual um indivíduo tenha vontade de utilizar os espaços a pé, ou seja, a caminhabilidade (Arellana et al., 2019).

Ferreira e Sanches (2001) propuseram o Índice de Qualidade das Calçadas – IQC e o ITDP (2018) lançou a segunda versão do índice de caminhabilidade – iCam, metodologias que pontuam o nível de qualificação de calçadas focado para cidades brasileiras. Contudo, assim como os métodos de Khisty (1994) e Dixon (1996), esses instrumentos desenvolvidos voltados ao contexto de vias já existentes, o que torna a aplicação desses métodos menos adequada para projetos ainda não implementados, o que poderia incorrer em resultados imprecisos. Entretanto, WRI (2017) sintetiza diversas referências relevantes relacionadas a elaboração de projetos de calçadas em um trabalho sobre infraestrutura para pedestres voltado a regiões como o Brasil.

O artigo propõe oito princípios definidos através da revisão de mais de 30 publicações, normas e legislações. Os atributos foram agrupados nos princípios por especialistas de acordo com o potencial resultado para o espaço urbano. Todos os princípios possuem o mesmo nível de importância, porém pode depender do contexto de cada local. Por exemplo, para uma área com um grande número de idosos, o princípio “Acessibilidade Universal” pode ser o mais importante. A Tabela 1 detalha todos os oito princípios propostos pelo artigo.

PRINCÍPIO	O QUE É?	ELEMENTOS	CONTRIBUIÇÃO
Dimensionamento adequado	Largura da calçada compatível com os usos no local	<ul style="list-style-type: none"> • Faixa livre • Faixa de serviço • Faixa de transição 	Garante espaço suficiente para que as pessoas transitem e permaneçam nas calçadas.
Acessibilidade universal	Uso de elementos para facilitar o acesso por todas as pessoas	<ul style="list-style-type: none"> • Rebaixamento da calçada • Piso tátil • Inclinação longitudinal 	Contribui para tornar o espaço urbano inclusivo
Conexões seguras	Elementos urbanos que interligam as calçadas e contribuem para a formação de uma rede	<ul style="list-style-type: none"> • Conectividade • Esquinas • Faixa de travessia de pedestres • Pontos de parada e estações do transporte coletivo 	Propicia deslocamentos a pé contínuos e conectados com outros meios de transporte.
Sinalização coerente	Conjunto de sinais que orientam os pedestres no espaço urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Sinalização informativa • Semáforos para pedestres" 	Provê informações sobre a cidade na escala do pedestre
Espaço atraente	Elementos que contribuem para tornar o espaço agradável	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetação • Mobiliário urbano" 	Motiva as pessoas a caminharem e permanecerem no espaço público urbano
Segurança permanente	Aspectos que conferem melhoria de segurança pública ao ambiente urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação pública • Fachadas ativas" 	Aumenta a sensação de segurança nos deslocamentos a pé
Superfície qualificada	Técnicas para assegurar um piso firme e regular para o calçado	<ul style="list-style-type: none"> • Placas de concreto • Blocos intertravados • Ladrilho hidráulico 	Confere segurança e conforto para os pedestres
Drenagem eficiente	Técnicas para promover o escoamento das águas pluviais	<ul style="list-style-type: none"> • Inclinação transversal • Jardim de chuva" 	Contribui para manter a funcionalidade da calçada

Tabela 1: Os 8 princípios para calçadas adequadas. Fonte: WRI (2017).

2.2. Realidade virtual em projetos de engenharia

Em diversas etapas da construção civil existem potenciais usos de VR – *Virtual Reality*, desde o engajamento de *stakeholders*, elaboração do projeto, análise e revisão, suporte à execução, treinamentos até a manutenção e operação. Na etapa de análise de projetos, segundo Delgado (2020), o emprego de realidade virtual é um facilitador, pois os responsáveis ganham um melhor entendimento da relação espacial, conseguem promover interação e podem visualizar erros mais facilmente. Os modelos virtuais ainda apresentam informações bem estruturadas e de fácil compreensão de uma maneira impossível de se obter por documentos em CAD 2D tradicionais, por exemplo. Os profissionais conseguem analisar sob diferentes perspectivas por meio de uma navegação livre nesses modelos, o que facilita a discussão de soluções e troca de ideias entre um grande grupo de diferentes profissionais, por isso a ferramenta se tornou popular nas reuniões de revisões (Woksepp e Olofsson, 2008).

Devido ao seu grande potencial, diversos estudos buscam implementar a ferramenta juntamente com projetos em BIM - *Building Information Model*. Du et al. (2018) estudou uma forma de sincronizar os projetos em BIM, em tempo real para o VR a fim de auxiliar na colaboração de projetistas e nas tomadas de decisão. De acordo com Getuli et al. (2020), a integração de BIM com VR tem realmente melhorado o desenvolvimento dos projetos, mas possui uma grande lacuna de estudos para a validação do uso para cada tipo de empreendimento. Em relação ao transporte a pé especificamente, na literatura, a maioria dos trabalhos com realidade virtual buscam apenas identificar o comportamento dos pedestres (Deb et al., 2017).

Mesmo com todos seus potenciais, existe um ponto de atenção em relação ao uso de realidade virtual. O VR pode gerar ao usuário sensação de desconforto e aparecimento de sintomas como tontura, fadiga, vista cansada, dor de cabeça, entre outros, o que caracteriza o chamado *Simulator Sickness* (Kennedy et al., 1993). Conforme Classen et al. (2011), os sintomas aparecem devido a desarmonia da movimentação existente no virtual com o real, chamado de *Motion Sickness*. Esses desconfortos podem atrapalhar a experiência no ambiente virtual e influenciar negativamente nos estudos que utilizam tal ferramenta. A aplicação do *Simulator Sickness Questionnaire* - SSQ, formado por perguntas que englobam os 16 sintomas, mensura o desconforto dos participantes (Carvalho et al., 2011). Alguns participantes podem ser até descartados da amostra caso apresentem alto nível de sintomas, a partir de suas respostas no SSQ, já que, por consequência, deve haver distorções em suas respostas no experimento ou correlações podem ser invalidadas em detrimento da presença agravada de tais efeitos.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Sistema de Transportes (LASTRAN) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EE/UFRGS) com os técnicos responsáveis pela coordenação de projetos de mobilidade urbana do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A amostra de participantes da pesquisa representa mais da metade do universo de técnicos na função. Do total de 4 técnicos participantes, 3 eram da Empresa Pública de Transporte e Circulação - EPTC e 1 da Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana - SMMU. Os técnicos possuíam entre 8 e 23 anos de experiência na função, metade com formação em Arquitetura e Urbanismo e metade formada em Engenharia Civil.

3.1. Projeto Virtual

A pesquisa foi desenvolvida utilizando um cenário virtual criado a partir do modelo tridimensional do projeto de requalificação urbana da Rua João Alfredo em Porto Alegre, elaborado pela empresa Encop Engenharia Ltda. para a Prefeitura Municipal de Porto Alegre por meio de um processo licitatório. Portanto, o cenário retrata, de fato, um projeto de infraestrutura e mobilidade urbana real a ser possivelmente implementado em breve.



Figura 2: Modelo tridimensional do projeto da Rua João Alfredo.

O modelo virtual foi construído no *software* de arquitetura *Sketchup*. Este *software* possui um plugin chamado *SketchVR*, que permite visualizar e editar qualquer projeto utilizando óculos de realidade virtual, sendo para esse trabalho o *Oculus Rift*, disponível no LASTRAN. A ferramenta permite visualizar o modelo através dos óculos em diversas escalas, até mesmo em escala real e, para esse caso, dá ao usuário a possibilidade de simular o ato de estar caminhando, imerso ao projeto. Os técnicos participantes da pesquisa puderam se colocar desta maneira para observar e perceber os elementos do espaço e responder a um questionário sobre caminhabilidade durante a imersão em realidade virtual.

3.2. Experimento

Primeiramente, foi realizada uma etapa de preparação para o experimento, onde os técnicos puderam compreender tranquilamente quais eram e de que se tratavam os princípios que seriam observados no projeto. Na descrição disponibilizada a eles continha, para cada um dos princípios: o nome, o que é, quais são os elementos que o compõem e qual a contribuição que deve ser gerada com a sua implantação adequada.

Os técnicos participantes da pesquisa responderam a 4 questionários, nessa ordem: (i) dados do perfil, (ii) questões referentes ao *Simulator Sickness Questionnaire* pré experimento, (iii) questões sobre a percepção dos princípios da calçada em realidade virtual e (iv) questões referentes ao *Simulator Sickness Questionnaire* pós experimento. Os entrevistados responderam os questionários de *Simulator Sickness* antes e depois da imersão com os óculos de realidade virtual, de forma a determinar uma possível ocorrência dos sintomas. Os questionários respondidos pelos técnicos estão apresentados no Apêndice A. O fluxograma da Figura 3 ilustra todo o processo do experimento.

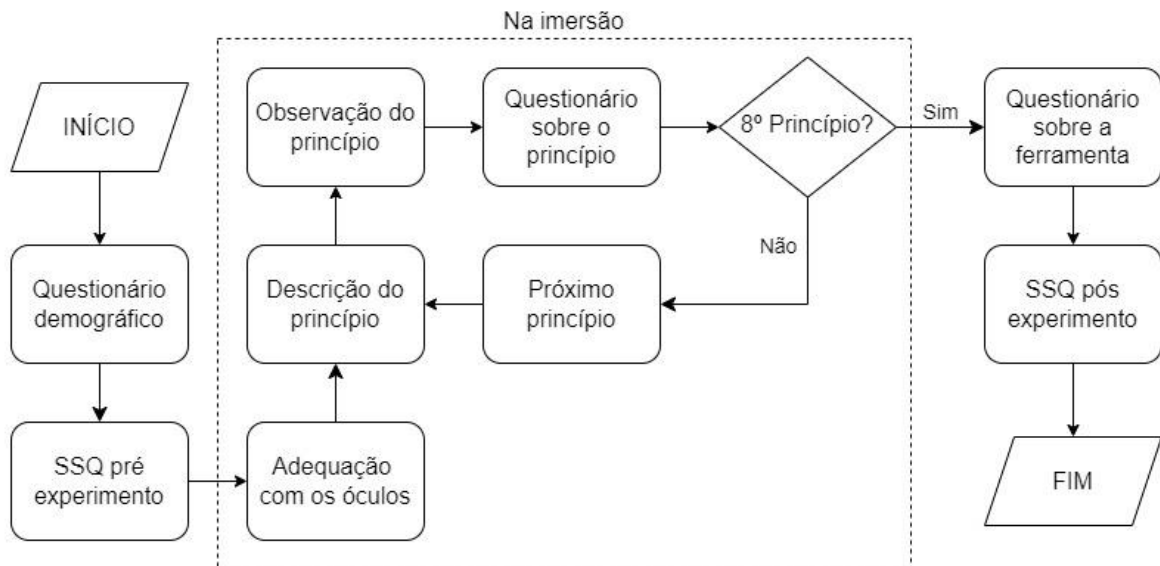


Figura 3: Procedimento do experimento

O técnico era colocado imerso no projeto, vestindo os óculos adequadamente, de forma que o equipamento estivesse fixo e com ajuste confortável com o técnico visualizando o ambiente virtual claramente. Com os óculos colocados, o primeiro passo era o técnico se adaptar ao ambiente virtual, entender a dinâmica e os controles de movimentação do equipamento. A adaptação era feita dentro do próprio modelo de realidade virtual do projeto. Só depois do técnico adaptado, iniciava-se o experimento de fato.

No experimento, o técnico voluntário percorreu o projeto virtual e respondeu a um questionário enquanto estava imerso em realidade virtual. O questionário relativo à percepção dos princípios foi realizado inteiramente de forma oral. Um entrevistador, sendo, neste caso, o próprio autor deste trabalho, lia o questionário em voz alta e o técnico retornava com a resposta oralmente, enquanto se mantinha imerso ao projeto. Para cada princípio, o entrevistador lia sua descrição para a avaliação da percepção e o técnico tinha o tempo livre para visualizar, no ambiente virtual, todos os aspectos que julgasse pertinentes. Ao dar a sua observação por concluída, o técnico sinalizava ao entrevistador que este poderia ler as perguntas e o mesmo assim o fazia. Uma pergunta era lida por vez e o técnico dava sua resposta, que era transcrita imediatamente pelo entrevistador. Todo esse processo se repetia para os demais princípios.

Para cada princípio da calçada foram feitas três perguntas. A primeira questão solicitava ao técnico os aspectos positivos da visualização que ajudavam na avaliação do princípio. Por sua vez, a pergunta posterior pedia pontos negativos ou os aspectos com dificuldade de se visualizar em realidade virtual e que, por isso, prejudicavam na avaliação daquele princípio. Por fim, utilizando uma escala numérica, o técnico dava uma nota entre -5 (cinco negativo) a +5 (cinco positivo) sobre a diferença na percepção do princípio em realidade virtual comparado aos métodos convencionais de avaliação. Uma nota negativa significava piora em relação ao novo método, uma nota positiva representava melhora e uma nota nula significava indiferença ou que não havia mudança no nível de percepção para aquele princípio.

Após o oitavo princípio, o técnico interrompia a imersão. Em seguida, eram feitas as perguntas sobre a ferramenta de forma geral solicitando pontos positivos e negativos da ferramenta sentidos pelo usuário. Por fim, o técnico ainda respondia as questões relacionadas ao *Simulator Sickness* sobre os efeitos pós imersão.



Figura 4: Técnico durante a imersão no ambiente virtual.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão mostrados os resultados obtidos a partir das respostas dos técnicos voluntários aos questionários a que foram submetidos. A seção está estruturada em duas subseções: a primeira sintetiza o que foi extraído dos SSQ pré e pós experimento e a segunda apresenta os resultados relativos a percepção dos princípios das calçadas em realidade virtual e sobre o uso da ferramenta.

4.1. Simulator Sickness

Para a análise dos efeitos do *Simulator Sickness* foram mensuradas através de uma média ponderada das frequências de respostas considerando as notas 1, 2, 3 e 4 para “nada”, “leve”, “moderado” e “severo” respectivamente, conforme Nodari et al. (2017). Na Figura 5, o círculo interno, de raio 1, indica a menor intensidade possível dos sintomas, enquanto o círculo externo, de raio 4, indica a maior possível. A linha azul tracejada corresponde ao SSQ pré experimento e a linha vermelha ao SSQ pós experimento.

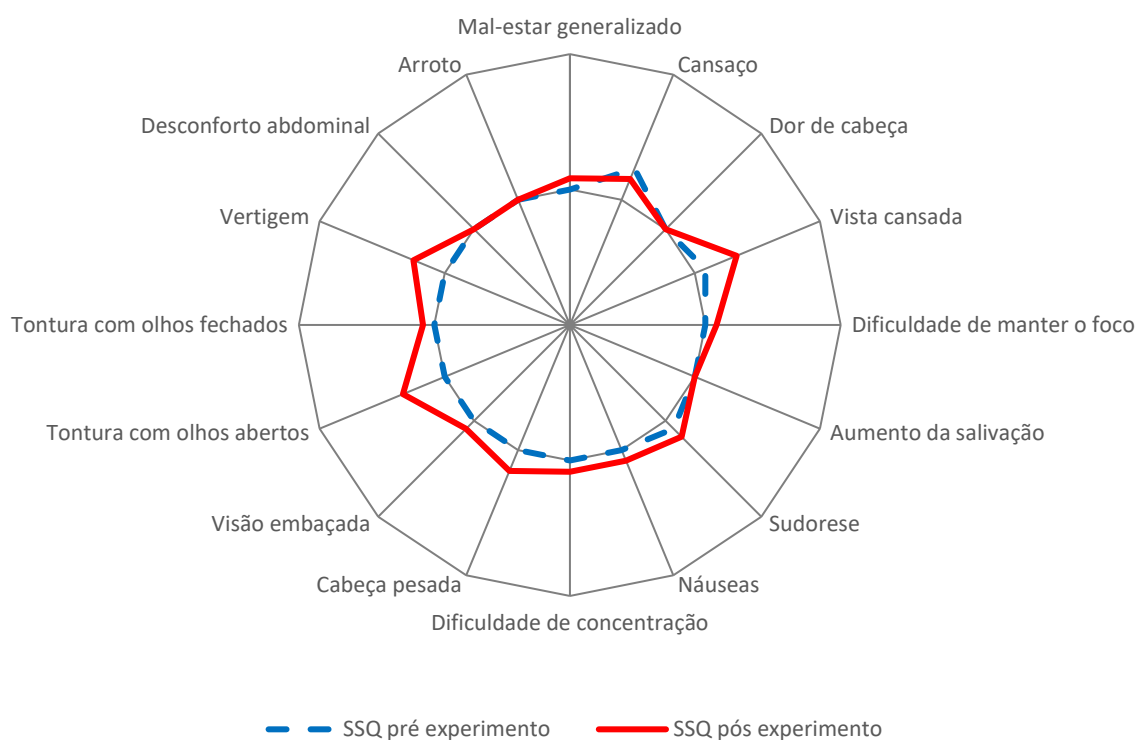


Figura 5: Sintomas de *Simulator Sickness* antes e depois do experimento.

Os principais sintomas que tiveram aumento da intensidade após o uso dos óculos de realidade virtual foram vista cansada, cabeça cansada, tontura com olhos abertos e vertigem. Dos quatro técnicos voluntários, apenas um relatou sintomas com nível severo ou moderado, sendo esses tontura com olhos abertos e vertigem. Conforme relato do técnico, tais efeitos foram sentidos apenas ao término do experimento depois da remoção do equipamento, não influenciando na experiência no ambiente virtual e, portanto, sem impacto negativo no estudo.

Segundo Nodari et al. (2017), um tempo de exposição no ambiente virtual é considerado grande quando maior que oito minutos. Contudo, o experimento realizado levou em média trinta minutos de imersão para cada técnico, portanto seria coerente esperar algum agravamento dos sintomas relativos ao *Simulator Sickness*, porém não houve grandes problemas gerados durante a avaliação de calçadas em realidade virtual.

4.2. Visualização dos princípios

Conforme respondido pelos técnicos, os métodos comumente utilizados para análise de calçadas em projetos de requalificação urbana são a visualização de plantas, cortes e perfis dos projetos em duas dimensões via arquivos PDF ou por arquivos tipo CAD. Alguns técnicos também citaram o uso do Google Earth, Google Street View e de vistorias ao local de execução do projeto para aferir o atendimento às adequações propostas para as calçadas.

Para a análise da percepção dos princípios, conforme a Figura 6, foi calculada a média da pontuação para cada princípio dada para a visualização em realidade virtual comparada aos métodos tradicionais, para análise quantitativa. Também foram discutidos os aspectos qualitativos descritos pelos técnicos que ajudam ou prejudicam na análise de projetos com o uso da ferramenta de realidade virtual.

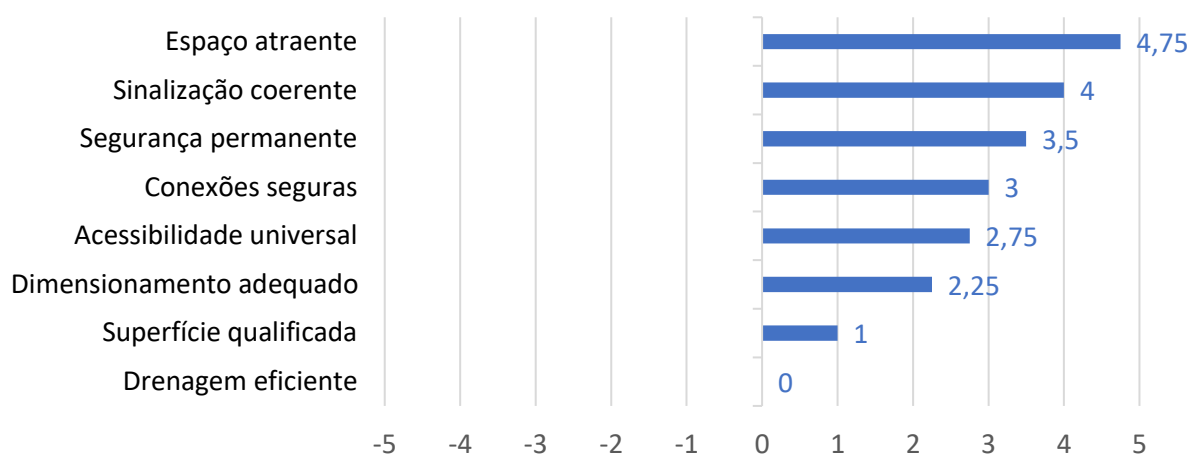


Figura 6: Pontuação média dos princípios.

O princípio “dimensionamento adequado” teve uma pontuação média igual a +2,25, o que pode ser considerado como uma melhoria leve em relação aos métodos convencionais. O principal aspecto positivo informado pelos técnicos é a visão em escala real, que dá sensação de presença no ambiente e de verticalização dos entornos e dos obstáculos. Contudo, o que pesou negativamente foi a ausência do valor das dimensões ou de uma ferramenta de medição para verificar o atendimento às normas relativas às larguras da calçada. É interessante salientar, porém, que existem ferramentas de medição do projeto no ambiente virtual, que até mesmo o próprio *Sketch VR* possui, porém que não foram apresentadas aos técnicos nem utilizadas no experimento.

A visualização em escala real também foi um aspecto qualitativo positivo para o princípio “acessibilidade universal”, que, juntamente à sensação de caminhada que o método proporcionou, agregou na avaliação do princípio, segundo os técnicos. A visualização das rampas e das larguras para locomoção em cadeira de rodas também foi elogiada pelos técnicos. Da mesma forma que para o princípio anterior, a ausência de estabelecer medidas foi o ponto negativo mais mencionado para este princípio e sua pontuação média ficou em +2,75.

Com uma pontuação média de +3, para o princípio “conexões seguras”, o fator positivo mais citado foi a percepção visual em 360°, que permitia identificar as dificuldades das travessias. Entretanto, foi citado que a visualização em duas dimensões permite a identificação dos raios de giro dos veículos, aspecto esse que influencia na segurança dos pedestres e não pode ser mensurado por este método.

O item “sinalização coerente” obteve uma pontuação alta, +4, equivalente a uma grande melhoria para fins de avaliação. Segundo os técnicos, a percepção do ponto de vista do pedestre gerada pela imersão em realidade virtual realmente é mais agregadora que a visão do projeto na forma bidimensional. A noção de distância, a análise da poluição visual e a observação de possíveis ocultações da sinalização foram destaques positivos, enquanto a dificuldade de uma análise do conjunto do projeto de sinalização foi colocada como aspecto negativo.

O uso de realidade virtual se mostrou mais eficaz para avaliação do princípio “Espaço atraente”, que registrou a maior pontuação entre todos os outros princípios, sendo +4,75. A sensação de usufruir dos ambientes criados foi o aspecto mais mencionado, além da noção de altura e espaçamento dos objetos e da vegetação. Nenhum elemento negativo foi citado para o princípio.

A identificação das fachadas verticalizadas foi o fator positivo mais comentado no item “segurança permanente”. Em geral, nos métodos convencionais, as fachadas estão apenas descritas, enquanto no ambiente virtual, é possível visualizar o uso das edificações e conferir segurança. O item obteve uma pontuação média igual a +3,5.

Os princípios “Superfície qualificada” e “Drenagem eficiente” tiveram as piores pontuações, +1 (positivo) e 0, respectivamente. Em ambos os casos, não foi possível ter noção das características físicas do pavimento, como material, caimento e inclinações, informações que poderiam ser facilmente vistas em cortes e detalhamentos, segundo os técnicos. Vale listar os pontos positivos citados, como as delimitações dos gramados e a sensação de conforto visual.

Por fim, alguns aspectos gerais que influenciam no método de avaliação foram solicitados aos técnicos. A experiência imersiva no projeto e a visualização em profundidade foram os elementos positivos descritos, enquanto a falta de medidas e o desconforto com os óculos foram os pontos depreciativos do método.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou testar o uso da realidade virtual entre os técnicos responsáveis pela avaliação de calçadas em projetos de reurbanização por meio dos questionários. Com exceção do item “Drenagem eficiente”, que obteve pontuação nula, todos os itens obtiveram pontuação média positiva, o que demonstraria que o uso de realidade virtual seria um melhor método para avaliação de calçadas comparado aos métodos convencionais. Porém, entende-se que a empolgação pela descoberta dessa nova forma de visualização gerou uma tendência favorável a ele, conforme o estudo de Bangay e Preston (1998), que concluiu que este é um fator de forte influência na imersão. Esse efeito pôde ser notado nos itens com menor nota, “Drenagem eficiente” e “Superfície qualificada”, que, mesmo com mais pontos negativos nas respostas qualitativas, não pontuaram negativos na escala quantitativa.

Como os próprios técnicos expressaram nos questionários, a utilização dessa ferramenta deve ser complementar às ferramentas utilizadas atualmente, porque agrega detalhes não vistos nestas outras formas e sensações que só podem ser geradas por meio da imersão, mas não as desqualifica, de forma alguma, uma vez que estas também trazem elementos únicos e informações essenciais para avaliação dos projetos. O uso de realidade virtual pareceu trazer mais ganhos a avaliação dos princípios das calçadas em que suas adequações dependem mais da experiência da caminhada e da visualização em perspectiva, o que pode ser notado nas pontuações mais altas para os princípios “Espaço atraente” e “Sinalização coerente”. Os princípios mais técnicos, por sua vez, ficaram com pontuações menores.

Diversas mudanças podem ser feitas para estudos futuros. Por exemplo, explorar softwares de criação de jogos (Thabet et al., 2002) com o intuito de criar cenários dinâmicos com carros, pedestres e demais usuários em movimento. Além disso, levando em conta as limitações deste trabalho, produzido com a participação apenas de técnicos de mobilidade urbana do município de Porto Alegre, estudos como este podem ser aplicados em mais profissionais da área e em outras localidades

A partir desse trabalho, pode-se concluir que é válido o uso de realidade virtual como ferramenta complementar para a avaliação de calçadas em projetos de requalificação urbana. Fica também aberta uma gama de possibilidades de pesquisa na área, visto o potencial da aplicação.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2015). *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro.
- 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
- Babb, A., e Watkins, K. E. (2016) Complete Streets Policies and Public Transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2543(1), 14–24. doi:10.3141/2543-02
- Bangay, S., e Preston, L. (1998) An investigation into factors influencing immersion in interactive virtual reality environments. *Studies in Health Technology and Informatics*, 58, 43–51.
- Bella, F. (2009) Can Driving Simulators Contribute to Solving Critical Issues in Geometric Design? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2138(1), 120–126. doi:10.3141/2138-16
- Bille, R., Smith, S. P., Maund, K., & Brewer, G. (2014). Extending building information models into game engines. *ACM International Conference Proceeding Series*, 02-03-December-2014. <https://doi.org/10.1145/2677758.2677764>
- Brasil (2012). Lei Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. *Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Brasília.
- Caccia, L. S. (2011) *Mobilidade urbana: políticas públicas e apropriação do espaço em cidades brasileiras* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 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
- 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. doi:10.5014/ajot.2011.000802
- Da Silva, C. O. (2014) A rua na dimensão da história. *São Paulo*, (III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo).
- Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Demian, P., e Beach, T. (2020) A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101122. doi:10.1016/j.aei.2020.101122
- Deb, S., Carruth, D. W., Sween, R., Strawderman, L., e Garrison, T. M. (2017) Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research. *Applied Ergonomics*, 65, 449–460. doi:10.1016/j.apergo.2017.03.007
- Dixon, L. B. (1996). *Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and 2265 Standards for Congestion Management Systems*. Transportation Research Record n. 1538, p. 1-9.

- Du, J., Zou, Z., Shi, Y., e Zhao, D. (2018) Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *Automation in Construction*, 85, 51–64. doi:10.1016/j.autcon.2017.10.009
- Ferreira, M.A.G; Sanches, S.P. (2001). *Índice de Qualidade das Calçadas-IQC*. *Revista dos Transportes Públicos*, v.91, n.23, São Paulo, p.47-60.
- Freina, L., e Ott, M. (2015) A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. (p. 133–141). Apresentado em eLSE 2015, Bucharest, RO. doi:10.12753/2066-026X-15-020
- Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A., e Isaac, S. (2020) BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. *Automation in Construction*, 114, 103160. doi:10.1016/j.autcon.2020.103160
- Jacobs, J. (2011) *Morte e vida de grandes cidades*. (3. ed.). WMF Martins Fontes, São Paulo.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., e Lienthal, M. G. (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203–220. doi:10.1207/s15327108ijap0303_3
- Mōri, M., e Tsukaguchi, H. (1987) A new method for evaluation of level of service in pedestrian facilities. *Transportation Research Part A: General*, 21(3), 223–234. doi:10.1016/0191-2607(87)90016-1
- National Research Council (Ed). (1993) *Pedestrian, bicycle, and older driver research*. National Academy Press, Washington, DC.
- 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*. 31o Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET (p. 3103–3115)
- Owen, N., Humpel, N., Leslie, E., Bauman, A., e Sallis, J. F. (2004) Understanding environmental influences on walking. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(1), 67–76. doi:10.1016/j.amepre.2004.03.006
- Santos, P., Samios, A., e Batista, B. (2021) Ruas Completas no Brasil: Promovendo uma mudança de paradigma. World Resources Institute. doi:10.46830/wriipt.19.00106
- Sarkar, S. (1993) Determination of Service Levels for Pedestrians, with European Examples. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, 35–42.
- Slater, M., Usoh, M., e Steed, A. (1995) Taking steps: the influence of a walking technique on presence in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2(3), 201–219. doi:10.1145/210079.210084
- Thabet, W., Shiratuddin, M. F., e Bowman, D. (2002) Virtual Reality in Construction: A Review. B. H. V. Topping & Z. Bittnar (Eds), *Computational Science, Engineering & Technology Series* (Vol. 8, p. 25–52). Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, UK. doi:10.4203/csets.8.2
- Usoh, M., Arthur, K., Whitton, M. C., Bastos, R., Steed, A., Slater, M., e Brooks, F. P. (1999) Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '99* (p. 359–364). Apresentado em the 26th annual conference, ACM Press, Not Known. doi:10.1145/311535.311589
- Woksepp, S., e Olofsson, T. (2008) Credibility and applicability of virtual reality models in design and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), 520–528. doi:10.1016/j.aei.2008.06.007
- WRI (2017). *8 Princípios da Calçada - Construindo cidades mais ativas*. Porto Alegre. Disponível em: <http://wricidades.org/research/publication/8-principios-da-calcada>
- Ye, Y., Wong, S. C., Li, Y. C., e Lau, Y. K. (2020) Risks to pedestrians in traffic systems with unfamiliar driving rules: a virtual reality approach. *Accident Analysis & Prevention*, 142, 105565. doi:10.1016/j.aap.2020.105565

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS

QUESTIONÁRIO DEMOGRÁFICO

Nome

Gênero

Marcar apenas uma oval.

Masculino

Feminino

Prefiro não dizer

Outro: _____

Idade

Formação

Cargo/Função

Tempo no Cargo/Função

Que métodos ou ferramentas você costuma utilizar para analisar as calçadas em projetos de requalificação das vias urbanas?

QUESTIONÁRIO *SIMULATOR SICKNESS* (PRÉ EXPERIMENTO)

Você tem/teve um histórico de enxaqueca?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Você tem/teve um histórico de claustrofobia?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Você tem/teve um histórico de enjoo frequente ou severo?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Você está grávida ou existe a possibilidade de você estar?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Você está sentindo algum destes sintomas?

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nada	Leve	Moderado	Severo
Mal-estar generalizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista cansada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de manter o foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento de salivação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sudorese	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Náuseas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de concentração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"Cabeça pesada"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com olhos abertos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com olhos fechados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desconforto abdominal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arroto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

QUESTIONÁRIO SOBRE A PERCEPÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CALÇADA
(padrão repetido para os 8 princípios)

Quais aspectos da visualização você pode destacar que **AJUDAM** na avaliação deste princípio?

Quais aspectos você teve dificuldade em visualizar e que **PREJUDICAM** na avaliação deste princípio?

Comparado com os métodos convencionais de avaliação, *

Qual é a diferença na percepção deste princípio?

Em uma escala de -5 a +5, em que:

Negativo: piora nesse tipo de visualização

Nulo: não muda, indifere

Positivo: melhora nesse tipo de visualização

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

QUESTIONÁRIO GERAL SOBRE O USO DE REALIDADE VIRTUAL

Que dificuldades ou pontos negativos deste método de análise de calçada *
você destaca que **PREJUDICAM** na avaliação deste princípio?

Que facilidades ou pontos positivos deste método de análise de calçada você *
destaca que **AJUDAM** na avaliação deste princípio?

QUESTIONÁRIO *SIMULATOR SICKNESS* (PÓS EXPERIMENTO)

Você está usando óculos de grau ou lente de contato?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Qual sua experiência com óculos de realidade virtual?

Marcar apenas uma oval.

Primeira vez

Segunda vez

Mais de duas vezes

Você está sentindo algum destes sintomas?

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nada	Leve	Moderado	Severo
Mal-estar generalizado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansaço	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dor de cabeça	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista cansada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de manter o foco	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aumento de salivação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sudorese	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Náuseas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dificuldade de concentração	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"Cabeça pesada"	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visão embaçada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com olhos abertos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tontura com olhos fechados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desconforto abdominal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arroto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>