



Metodologia para Avaliação da Caminhabilidade em Centros Urbanos: Proposta para Rotas Acessíveis

Marcus Fabius Henriques de Carvalho

Professor Doutor, PUCC, Brasil
marcius@puc-campinas.edu.br

Guilherme Kato Rodrigues

Mestre, PUCC, Brasil
guilhermekatoo@gmail.com

Lia Toledo Moreira Mota

Professora Doutora, PUCC, Brasil
lia.mota@puc-campinas.edu.br

Cláudia Cotrim Pezzuto

Professora Doutora, PUCC, Brasil
claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

RESUMO

A rápida urbanização transformou a mobilidade urbana em um dos maiores desafios para as cidades modernas. À busca por uma contribuição para a sustentabilidade econômica, social e ambiental este trabalho considera a caminhada como forma essencial de mobilidade em centros urbanos e propõe uma metodologia para a determinação de rotas mais acessíveis aos pedestres, que chegam por terminais rodoviários urbanos, a atingirem pontos de atratividade especialmente relacionados a serviços públicos. A determinação destas rotas pode auxiliar ao gestor público desenvolver ações para melhoria da infraestrutura nos percursos mais concorridos que incentivem a caminhada contribuindo para uma vida saudável e mitigando os efeitos negativos das externalidades causados pelo uso do transporte motorizado. Como estratégia metodológica utilizou-se o estudo de caso na cidade de Campinas avaliada por três macro indicadores para a determinação do melhor percurso a pé: O índice Ambiente resultante de seis subindicadores, representando características físicas do espaço de caminhada; o índice Conforto representado por dois indicadores, representando a atratividade visual e conforto local; e o índice Segurança que congrega sensações públicas e pessoais de segurança. É utilizada a programação multiobjetivo e programação minimax para o estabelecimento de rotas mais acessíveis para transitabilidade do cidadão. A pesquisa contribui para que parâmetros que influenciam a caminhabilidade possam ser identificados, servindo como indicadores de estratégias de intervenções urbanas que venham incentivar a comportamentos ativos por parte do cidadão a serem implementadas pela gestão pública.

PALAVRAS-CHAVE: Caminhabilidade. Rotas. Mobilidade Urbana. Matriz Origem-Destino.

1 INTRODUÇÃO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU considera a mobilidade urbana como um tema transversal, diretamente relacionada ao ODS 11 que trata de cidades e comunidades sustentáveis (Gaspardo, Paiva, Oliviera, sd). Este tema torna-se em um dos maiores desafios quando relacionado aos centros urbanos uma vez que o modelo atual de mobilidade em regiões centrais incentiva intensas disputas entre moradores, transporte individual motorizado e transporte público pelo uso dos diversos espaços, gerando conflitos, acidentes e contribuindo para a degradação ambiental.

Por outro lado, os centros urbanos, hoje disputados pelas atividades comerciais e de serviços, eleva o custo da moradia que associado a outras variáveis, como a violência urbana, obriga os moradores a se estabelecerem cada vez mais longe (Aguiar, Simões e Golgher, 2014). Ao mesmo tempo, o centro ao tornar-se um espaço atrativo em dimensão e escala para a população suburbana por dispor de locais como centros comerciais, hipermercados, hospitais, universidades, estações de transportes públicos, arenas polivalentes com multipropósitos, estádios, terminais de carga, entre outros, que prestam serviços específicos à população, atrai um elevado número de acessos diários (Saadi *et al.*, 2021).

Pontos de grande atratividade incentivam a geração de tráfego, causam congestionamentos, aumentam o tempo de viagem, os custos operacionais dos veículos, causam impactos ambientais, poluição, diminuem o conforto do cidadão ao acessar às áreas internas da cidade. Estes pontos, localizados num espaço restrito, requerem soluções de mobilidade específicas. Com isto, a caminhada em um centro urbano surge como uma alternativa sustentável na construção de uma cidade mais inteligente e humana apresentando-se como uma forma adequada de mobilidade em curtas distâncias. Este artigo propõe uma metodologia para indicar ao cidadão que chega aos terminais públicos de um centro urbano,

vindo da área suburbana, a melhor rota para atingir seu ponto de interesse. Tem um caráter social ao propor que o centro urbano seja planejado com rotas direcionadas de pontos de origem, como terminais de transporte público, aos pontos essenciais de prestação de serviços públicos. A identificação de tais rotas apoia o gestor municipal no estabelecimento de melhorias no trajeto pela proposição de ações de segurança e instalação de indicadores de rua para orientar os cidadãos a caminhar pelo centro da cidade. A pesquisa é inovadora quando propõe ações ao poder público para tornar o centro urbano mais caminhável.

O artigo é estruturado em cinco seções, como segue. A próxima seção discute o trabalho de pesquisa anterior. A Seção 3 apresenta o material e os métodos. A Seção 4, a partir da especificação das características da área de estudo, apresenta o estudo de caso determinando a melhor rota do Terminal Central para lugares específicos do centro da cidade de Campinas. As considerações finais são apresentadas na Seção 5.

2 MOBILIDADE A PÉ

Caminhar é uma das melhores formas de atividade física e adequada para pessoas de todas as idades. É a única atividade de mobilidade que não produz emissões, está sempre disponível, não requer nenhum equipamento, é segura e gratuita (Ernawati, 2016). Caracteriza-se como os deslocamentos do cidadão sem utilização de meios motorizados entre pontos de origem e destino. A adesão a ela depende da distância a ser percorrida, da infraestrutura adequada, da estética do bairro, da atividade comercial e da segurança. A proximidade entre os pontos origem-destino incentiva a atividade.

Reconhecendo as questões acima, Krizek, Forsyth e Baum (2009) afirmam que a decisão por caminhar está relacionada a remoção de barreiras e implantação de políticas e infraestruturas que a torne mais atraente. Segundo Manzolli, Oliveira e Neto (2021) a tarefa de determinação da melhor rota torna-se difícil pela quantidade de fatores a serem considerados em áreas urbanas. Com isto, a caminhada tem recebido grande atenção na literatura recente.

No estudo de Portland, no Oregon, foi proposto um modelo de geração de passeios a pé, baseado no ambiente construído ao redor das residências (Tian e Ewing, 2017). Os autores identificaram que as características sociodemográficas associadas ao ambiente construído influenciam a geração de caminhada. Para Krizek, Forsyth e Baum (2009) e Wei *et al.* (2016) os principais fatores a serem considerados na avaliação de um ambiente para caminhada são o uso do espaço como residencial e/ou comercial, a qualidade da rua, a acessibilidade, a atratividade e a segurança. Para Tian e Ewing (2017) são fatores que incentivam o desenvolvimento desta prática áreas com maior densidade de atividades, áreas com maior diferenciação de uso do solo composto por serviços públicos e privados, residências e comércio e áreas com desenho urbano de qualidade.

Kielar e Borrmann (2016) examinam a mobilidade das pessoas entre Origem e o Destino por meio de análise de rotas avaliadas por um modelo de função de interesse baseado no conceito de acessibilidade relacionado ao objetivo dos pedestres. Kumar *et al.* (2017) definem como questão de pesquisa a escolha dos fatores que influenciam o comportamento de caminhada das pessoas para acessar os pontos de serviço público dos países em desenvolvimento. Xiao e Wei (2021) ressaltam que uma decisão individual de viagem considera

informações detalhadas sobre segmentos de rotas em torno de Origem-Destino e que ferramentas e pesquisas para modelar esse problema são escassas.

Saadi *et al.* (2021) em sua revisão da literatura sobre caminhabilidade em ambientes urbanos, apontam para a existência de trabalhos sobre medições objetivas e subjetivas de ambientes caminháveis. Alguns estudos enfocam o fluxo de pedestres, o volume e a capacidade das calçadas, outros são dedicados a indicadores de segurança, como velocidade e volume dos veículos e áreas de proteção do tráfego, ou para avaliar a escala de iluminação, árvores de sombra e bancos, ou explorar estruturas urbanas e fatores socioeconômicos.

Visvizi *et al.* (2021) conceituam caminhada e caminhabilidade a partir de uma perspectiva em nível micro e defendem que a experiência de caminhar no espaço da cidade pode ser potencializada a aplicações voltadas para a otimização de rotas. Ressaltam que os critérios de otimização podem ser diversos incluindo passeios turísticos, áreas verdes, lojas, cafeterias, assistência na identificação de rotas, destino/localização e benefícios à saúde. Ou seja, envolvendo serviços públicos e privados. Costa *et al.* (2022) ressaltam que a caminhada é um modo de transporte socialmente equitativo e economicamente viável, com sua prática influenciada por diversos fatores e domínios como características do ambiente construído e a diversidade de usos do solo. Portanto, é necessário o motivo pelo qual as pessoas escolhem o deslocamento a pé. Rahul e Manoj (2020) afirmam que a orientação do percurso no centro da cidade visa melhorar a acessibilidade do cidadão ao espaço público.

A escolha da mobilidade pode diferir significativamente dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento e do objetivo do cidadão.

Considerando a oportunidade identificada por Xiao e Wei (2021) e Visvizi *et al.* (2021) o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que auxilie o cidadão que reside nos subúrbios e acessa o centro da cidade por meio de transporte público, para atingir seu ponto de interesse a partir de um terminal público.

2.1 Conceitos de Caminhada e Caminhabilidade

Caminhar é a ação de deslocamento resultante do próprio esforço, sem a utilização de sistema motorizado, pelas vias disponíveis como calçadas, calçadões ou passarelas, entre outros, de uma origem a um destino, ou como meio de integração com outros modos de mobilidade, como ônibus, veículos e bicicletas, até um ponto de destino. Caminhar é o principal modo de mobilidade do ser humano no mundo e o mais acessível porque é o mais barato e requer menos recursos de infraestrutura (Asadi-Shekari, Moeinaddini e Zaly Shah, 2014). Faz parte de uma vida saudável, mitigando os efeitos negativos das externalidades da vida moderna, como o excesso de peso e a obesidade.

Diversos estudos sobre saúde e planejamento urbano apontam que a existência de uma infraestrutura adequada está diretamente relacionada às taxas de caminhada e, portanto, a uma vida mais saudável (Asadi-Shekari *et al.*, 2019; Pucher, Dill e Handy, 2010). Ao mesmo tempo, caminhar contribui para a diminuição de outras externalidades negativas associadas às viagens motorizadas, como o consumo de combustível, a poluição atmosférica e sonora e questões de segurança.

Entretanto, existem diferentes percepções e expectativas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, que não ocorrem apenas em termos de economia e geografia, mas em relação ao Nível de Serviço de Pedestres (PLOS). Autores como Bloomberg e Burden (2006) apontam que a percepção do pedestre desempenha um papel importante na decisão de caminhar, influenciada por três indicadores principais: Ambiente Construído, Características do Fluxo e Percepção dos Usuários.

Bivina e Parida (2019) observaram que a decisão de caminhar passa pela análise de quatro critérios principais: Segurança Pessoal, Segurança Geral, Conforto e Conveniência e Mobilidade e Infraestrutura, divididos em 17 subcritérios. Os autores submeteram um questionário para pedestres com o objetivo de identificar diferentes escalas em diferentes subcritérios. Os resultados do estudo apontaram para a existência de diferenças significativas na priorização das necessidades relacionadas ao ambiente de caminhada dependendo do sexo e da faixa etária. A pesquisa realizada pelos autores concluiu que os pedestres apontam como indicadores mais críticos a segurança e a proteção quanto a acidentes, provavelmente devido ao país pesquisado ser a Índia. Os autores destacaram que é preciso ter cuidado com os resultados da pesquisa uma vez que a maioria dos entrevistados não apresenta deficiências, portanto, não percebem a importância desse requisito no ambiente, o que leva a um peso insignificante para esse indicador.

Nag *et al.* (2020) em seu estudo de revisão PLOS - Pedestrian Level of Service, encontraram 389 subcritérios com conceitos frequentemente duplicados e/ou terminologia inconsistente e apontaram que 46 dos 47 dos estudos analisados escolheram os atributos sem rigor para avaliar o ambiente de caminhada. Segundo os autores, nenhum dos estudos acima fizeram com que o Nível de Serviço dos utilizadores fosse referido como “rede para caminhada”. Estudo desenvolvido por Carvalho *et al.* (2021), aborda este assunto determinando a melhor rota que liga pontos de origem (Por exemplo: Terminal Urbano) aos pontos de destino localizados no centro de uma cidade. Utilizaram para tanto o método multi atributo PROMETHEE que compara alternativas á funções de preferências discretas (Brans, Vincke e Mareschal, 1986).

A proposta aqui apresentada visa ampliar o trabalho de Carvalho *et al.* (2021) considerando o estabelecimento da melhor rota entre origem e destino como um problema de otimização multiobjetivo analisando três indicadores: de Ambiente, de Segurança e de Conforto.

2.2 Indicadores e medição de desempenho de caminhabilidade

Uma medição é um mapeamento do mundo real em forma numérica (Midgley e Dowling, 1978). Cada dimensão ou aspecto do processo observado pode ser representado por uma medida. Um sistema de medição de desempenho é um conjunto breve e preciso de medidas (sociais, econômicas, ambientais) que apoiam o processo de tomada de decisão de uma organização por meio da coleta, processamento e análise de dados de desempenho (Gimbert, Bisbe e Mendoza, 2010). Para serem eficazes, os sistemas de medição de desempenho devem utilizar análises de indicadores qualitativos e quantitativos, que são variáveis que mostram o estado e as características do sistema.

Dizdaroglu (2015) destaca a importância da utilização de indicadores para medir a eficiência e a eficácia dentro das organizações revelando o desempenho dos processos

avaliados. Os indicadores avaliam todos os processos, sejam eles de funcionários, executivos ou clientes. Os indicadores de desempenho são os componentes-chave que apoiam melhores decisões em diversas áreas de avaliação de sistemas. Entretanto, em aplicações práticas surgem muitas questões, tais como: “Qual é o número ideal de indicadores a utilizar para representar um determinado processo?” “Existe um conjunto ideal de indicadores?” e “Como determinar se os indicadores utilizados representam adequadamente o sistema sob investigação?”.

Para simplificar a análise de um sistema, é necessário reduzir o conjunto de indicadores a índices que agreguem múltiplos indicadores. Cada índice proporciona uma visão coerente e multidimensional do sistema, permitindo fácil comparação dos resultados organizacionais e setoriais com o ambiente envolvido. Neste sentido este trabalho propõe a agregação de doze indicadores em três índices: ambiente, conforto e segurança.

2.3 Otimização Multiobjetivo

A solução para problemas reais muitas vezes envolve situações em que o objetivo é minimizar e/ou maximizar uma função composta simultaneamente por diversos objetivos, geralmente conflitantes. Para reduzir a complexidade, os esquemas tradicionais convertem estas funções em um problema de objetivo único fazendo uso de um vetor de pesos que especifica a importância relativa de cada objetivo. Contudo, o vetor de peso não é simples de especificar pelo gestor público (decisor) e pode levar para resultados inapropriados. Quando usado o enfoque completo, o processo de tomada de decisão passa pela resolução de um problema multicritério no qual múltiplas funções objetivo devem ser otimizadas simultaneamente. Um caso especial é a programação linear multiobjetivo, onde múltiplas funções lineares são otimizadas simultaneamente, sujeitas a um conjunto de restrições lineares. Matematicamente, o problema pode ser expresso como um vetor de objetivos que devem ser negociados de alguma forma como Eq. 1 (Awad e Khanna, 2015).

$$F(x) = \text{Máx. } [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x) \mid x \in X] \quad \text{Eq.1}$$

Onde X é um conjunto de n vetores de decisão que representam parâmetros para satisfazer restrições e otimizar uma função vetorial, Eq. 2.

$$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T \quad \text{Eq.2}$$

$$X_{\text{mini}} < X_i < X_{\text{maxi}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

E, $F(x)$ é um vetor composto de funções objetivo concorrentes. Existem diferentes soluções para cada $f_j(x)$. A solução para uma otimização multiobjetivo normalmente não produz solução única e ideal. Em vez disso, gera uma solução ótima de Pareto, na qual um objetivo não pode ser melhorado sem degradar pelo menos um dos outros objetivos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia estruturada para a proposição de rotas adequadas de caminhada dos terminais de transporte público aos pontos de prestação de serviços relevantes de um centro urbano é composta de nove passos, apresentados a seguir:

Passo 1: Especificação da área urbana

Especifica a área urbana a ser pesquisada e identifica os pontos de origem e destino dentro desta área. A área de estudo deve incluir recortes da região central da cidade contendo atividades comerciais, prestadores de serviços públicos e não públicos, e terminais de transporte urbano. Após a escolha do recorte de estudo, deve-se selecionar os pontos de origem e de destino. Pontos de origem são locais de geração de viagens e integração de diferentes modais. Pontos de destino podem ser pontos de prestação de serviços públicos ou estabelecimentos e locais com maior movimentação de pessoas em um centro urbano, sendo que atraíam número significativos de viagens.

Passo 2: Definição dos Indicadores

Um Indicador é uma medida qualitativa ou quantitativa, que é usada para capturar e representar informações importantes sobre elementos que são objetos sob observação. É uma síntese e simplificação de um conjunto complexo de dados que permite analisar os aspectos do objeto em estudo. A seleção dos indicadores para este estudo baseou-se nos trabalhos de Bivina e Parida (2019) e Nag *et al.* (2020) e estão estruturados em três macroindicadores, subdivididos em 12 subindicadores, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores

Indicadores	Código	Descrição
Ambientes	I1	Largura média da calçada
	I2	Qualidade da superfície da calçada
	I3	Acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida
	I4	Participação nas rotas
	I5	Acesso ao transporte público
	I6	Distância
Segurança	I7	Iluminação da Rua
	I8	Número de cruzamentos
	I9	Largura da Rua
	I10	Número de ocorrência de acidentes
Conforto	I11	Atratividade
	I12	Proteção Ambiental (marquise)

Fonte: Os autores (2023).

Passo 3: Coleta e processamento de dados

O levantamento de dados para o estudo pode ser obtido em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou como dados secundários obtidos em sites de órgãos públicos como Prefeitura, Secretaria de Trânsito, etc.

Passo 4: Matriz Segmento- Indicador (MSI)

A Matriz Segmento-Indicador (MSI) é formada pelo valor assumido pelos indicadores conforme Tabela 2. As linhas especificam os segmentos, enquanto as colunas o valor do indicador associado ao segmento correspondente. Por exemplo, A(2,1) é o valor do indicador I1, segmento 2. O item A(3,3) é o valor atribuído ao indicador 3 associado ao segmento 3. Este procedimento é repetido para todos os segmentos.

Tabela 2 - Matriz Segmento-Indicador

Número do segmento	Indicadores				
	I1	I2	I3	I4	I12
S1	A(1,1)	A(1,2)	A(1,3)	A(1,4)	A(1,12)
S2	A(2,1)	A(2,2)	A(2,3)	A(2,4)	
S3	A(3,1)	A(3,2)	A(3,3)	A(3,4)	
Sm	A(m,1)	A(m,2)	A(m,3)	A(m,4)	

Fonte: Os autores (2023).

Passo 5: Matriz Origem-Destino (MOD)

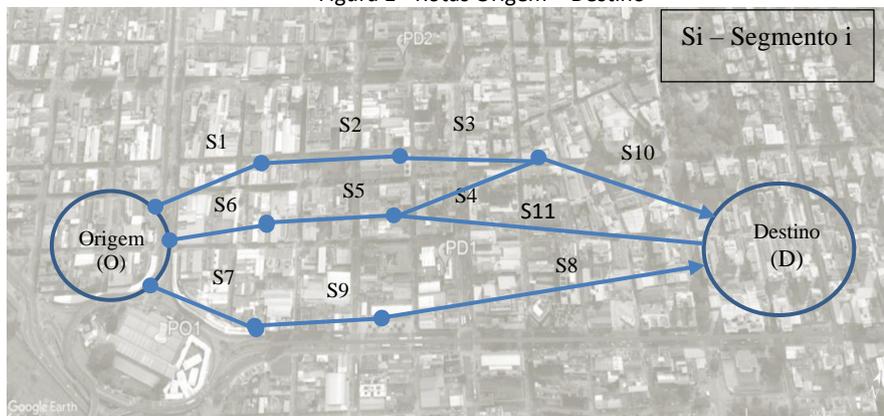
Cada rota Origem-Destino, Tabela 3, é composta por um conjunto de segmentos ligando dois pontos de um trajeto, Figura 1. A linha da Matriz Origem-Destino identifica a rota (rota 1; rota 2; rota n) e as colunas identificam os segmentos que pertencem a essa rota.

Tabela 3 – Matriz Origem – Destino da Figura 1

Número da Rota	Segmento				
Rota 1	S1	S2	S3	S10	
Rota 2	S4	S5	S6	S10	
Rota 3	S7	S8	S9		
Rota 4	S5	S5	S11		

Fonte: Os autores (2023).

Figura 1 - Rotas Origem – Destino



Fonte: Adaptada GOOGLE-EARTH (2024).

Passo 6: Matriz Desempenho de Rotas (MDR)

O desempenho médio da Rota A(1,1), rota 1 e indicador 1, é determinado a partir da composição da primeira linha da Matriz Origem-Destino e da primeira coluna da Matriz Segmento-Indicador, Eq.3.

$$RA_{11} = \frac{A_{1,1} + A_{2,1} + A_{3,1} + A_{10,1}}{4} \tag{Eq. 3}$$

E indicador médio 2 para a rota 1, Eq.4.

$$AIR_{1,2} = \frac{A_{1,2} + A_{2,2} + A_{3,2} + A_{10,2}}{4} \tag{Eq. 4}$$

A Matriz de Desempenho de Rotas, Tabela 4, apresenta um exemplo de indicador consolidado, onde A(i,j) representa o valor da rota i associada ao segmento j.

Tabela 4 - Matriz de Desempenho de Rota

Rotas	Indicadores			
	I1	I2	Ii	I10
Rota 1	AIR_{11}	AIR_{12}	0	AIR_{110}
Rota 2				
.....				
Rota m		AIR_{m1}	AIR_{mi}	AIR_{m10}

Fonte: Os autores (2023).

Passo 7: Determinação das Melhores Rotas

Resolva o problema do caminho mais curto para cada um dos objetivos (Ambiência, Segurança e Conforto).

Passo 8: Solução do problema Multiobjetivo

Redefina os objetivos como metas usando os valores objetivos ideais identificados na Etapa 7 como o valor alvo e crie uma função de desvio que mede a quantidade pela qual qualquer solução dada falha em atingir a meta.

Passo 9: Formule e resolva o problema MINIMAX

Formule e resolva o problema minimax pelas Eq. 1 e Eq.2 gerando a rota ótima de Pareto. Cada uma das funções de desvio cria uma restrição que exige que o valor da função de desvio seja menor que a variável minimax Q.

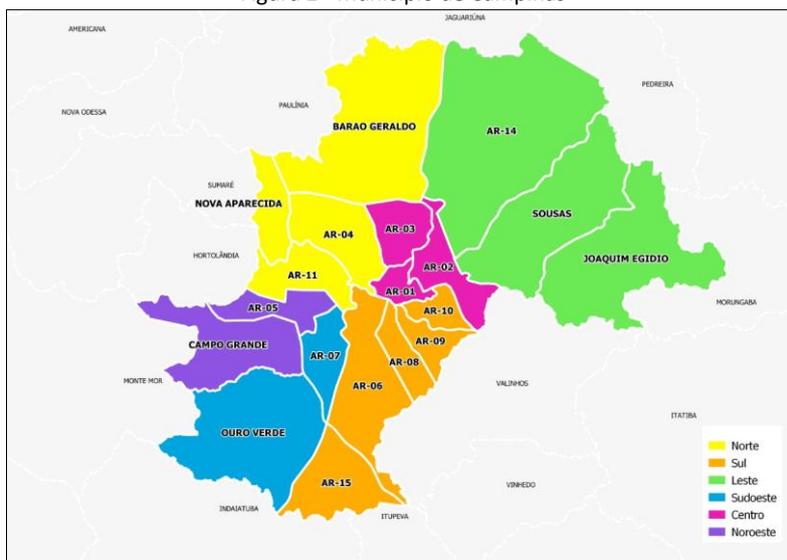
As etapas de sete a nove foram baseadas na referência Ragsdale (2004).

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Delimitação da Área de Estudo

Campinas é a terceira maior cidade do estado de São Paulo, depois de Guarulhos (2ª) e da capital São Paulo (1ª), e a 14ª maior cidade do Brasil. O município de Campinas é dividido em seis regiões, com o centro identificado pela cor vermelha, localizado aproximadamente no meio da Figura 2 e atende cidadãos de cinco regiões diferentes que buscam acessar várias agências de serviços públicos, incluindo o Instituto Nacional do Seguro Social, a prefeitura, o Mercado Municipal, a Agência dos Correios, a Agência Central dos Correios, o Palácio da Justiça, igrejas tradicionais, templos e instituições religiosas.

Figura 2 - Município de Campinas



Fonte: Campinas (2024).

Este artigo se concentra no estudo da região central, que é de alta importância comercial e abriga repartições públicas, incluindo o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Para conduzir o estudo, dois grandes terminais públicos urbanos, a saber, o Terminal Central (OP1) e o Terminal Mercado (OP2), são tomados como pontos de partida. Além disso, quatro pontos de destino (DP1, DP2, DP3 e DP4) relacionados a repartições públicas que exigem atenção em relação a questões de mobilidade na região são considerados, na Figura 3. A cidade de Campinas-SP foi escolhida por conveniência. Esta área recebe cidadãos de cinco outras regiões (Norte, Sul, Leste, Sudoeste, Noroeste) em busca de acesso a diversos órgãos de serviço público, incluindo o Serviço Nacional de Saúde, Instituto da Segurança Social, Câmara Municipal, Mercado Municipal, Correios, Estação Central dos Correios, Palácio da Justiça, igrejas tradicionais, templos e instituições religiosas, Figura 3.

Figura 3 – Área de Estudo



Fonte: Adaptada GOOGLE-EARTH (2024).

4.2 Especificação dos pontos de Estudo

O estudo considera dois pontos para origem das viagens (PO) e quatro pontos para destino das viagens (PD), conforme identificados na Figura 3. O botão amarelo representa o terminal central do ônibus, ponto de origem 1 (PO1). O botão verde representa o Terminal Mercado, Ponto de Origem (PO2). Os botões vermelhos representam os pontos de destino, conforme especificado na Tabela 5.

Adicionalmente, são considerados quatro pontos de destino (PD1, PD2, PD3 e PD4) relacionados a serviços públicos que requerem atenção em relação às questões de mobilidade na região. A Figura 2 e Tabela 5 descrevem as características dos pontos.

Tabela 5 - Especificação dos pontos de estudo

Pontos	Tipo	Identificação	Caracterização
PO1	Origem	Terminal Central	Maior e principal terminal da cidade de Campinas. Atende 32 linhas de ônibus.
PO2	Origem	Terminal Mercado	Próximo ao Mercado Municipal de Campinas, conhecido como Terminal Mercado. Recebe 28 linhas de ônibus.
PD1	Destino	Correio central	Está localizado a cerca de 700 metros do Terminal Central e a 750 metros do Terminal Mercado.
PD2	Destino	Palácio da Justiça	Está localizado a cerca de 850 metros do Terminal Central e a 400 metros do Terminal Mercado.
PD3	Destino	INSS	Está localizado a cerca de 1.400 metros do Terminal Central e a 700 metros do Terminal do Mercado.
PD4	Destino	Prefeitura Municipal	Está localizado a cerca de 1.400 metros do Terminal Central e a 700 metros do Terminal do Mercado.

Fonte: Os autores (2023).

4.3 Identificação das melhores rotas

As tabelas Origem-Destino foram montadas como resultado da seleção de trajetos evitando passar em grandes avenidas, com conflitos frequentes com veículos, e com ao menos duas rotas para cada Origem-Destino, considerando características do ambiente, do conforto e segurança do pedestre. O número de rotas para cada Origem-Destino variou de três a sete, de acordo com a distância entre pontos e características dos trajetos.

Como exemplo, o estudo examina o trajeto mais curto do Terminal Central (PO1) até os Correios (PD1). Seleciona para tanto cinco rotas a serem analisadas, conforme ilustrado na Figura 4. A Matriz Origem-Destino é mostrada na Tabela 6, com cada linha representando uma rota específica. A Rota 1 utiliza os segmentos de 1 a 7, enquanto a Rota 2 inclui os segmentos 8 e 9, juntamente com os segmentos de 3 a 7.

Tabela 6 – Matriz de Identificação de Rotas

Terminal central (PO1) Correios (PD1)	SEGMENTOS								
ROTA 1	0	1	2	3	4	5	6	7	
ROTA 2	0	8	9	3	4	5	6	7	
ROTA 3	0	8	10	11	4	5	6	7	
ROTA 4	0	8	10	12	13	5	6	7	
ROTA 5	0	8	10	12	14	15	6	7	

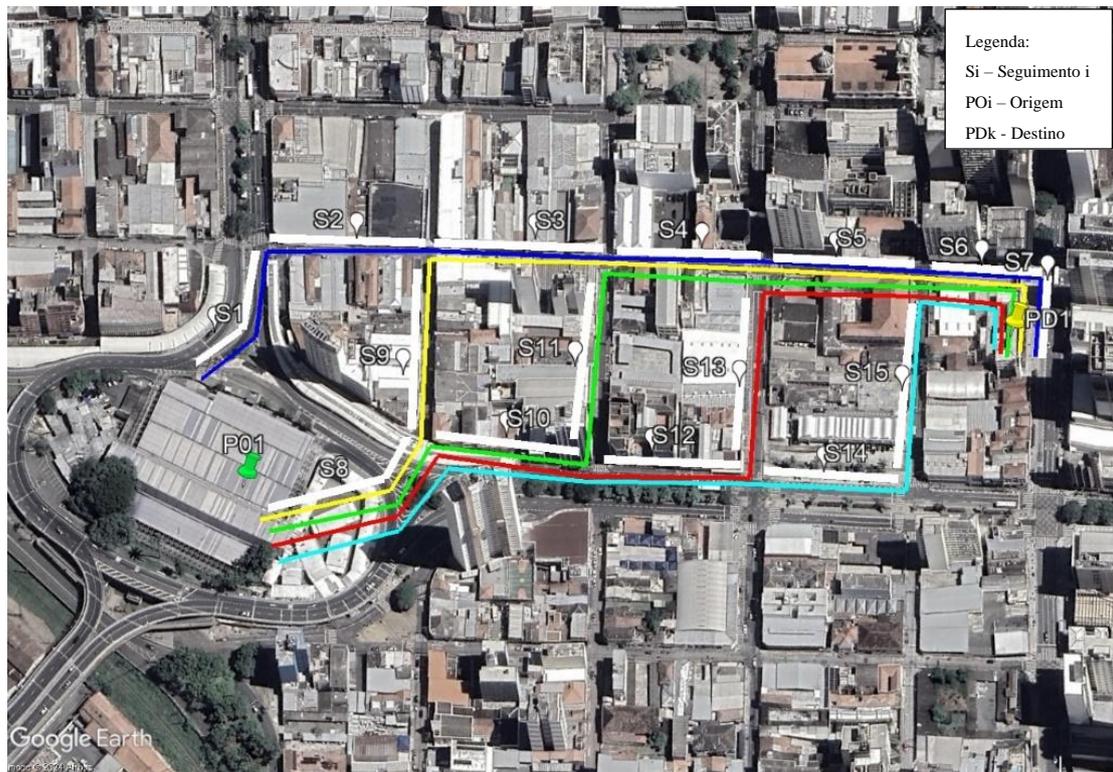
Fonte: Os autores (2023).

4.4 Seleção dos indicadores

Doze indicadores foram associados a cada segmento. O indicador I1, largura da calçada, é medido em metros. Indicador I2, a qualidade da superfície da calçada é classificada de 1 a 5, sendo cinco boa. Ao indicador I3 é atribuído o valor 1 se houver rampas de acesso para pessoas com mobilidade reduzida em uma travessia, caso contrário, seu valor é zero. O indicador I4 indica número total de vezes que ele é utilizado em diferentes rotas, quanto maior

mais rotas. O indicador I5 reflete a presença de transporte público, sendo que 1 indicando a existência e 0 ausência. O indicador I6 é classificado de um a cinco com base na distância, sendo 5 associado à maior distância. O Indicador I7, iluminação pública, definido de um a cinco, sendo cinco boa; Indicador I8, número de travessias, quanto maior número de travessias pior; O indicador I9, largura da rua, é medido em metros; Indicador I10, número de acidentes tomado segundo a Unidade de Gravidade Padrão; Indicador I11, atratividade, de um a cinco, sendo cinco o melhor; Indicador I12, proteção contra intempéries, 1 quando existe e zero caso contrário.

Figura 4 Rotas entre o Terminal Central e o Correio Central



Fonte: Adaptada GOOGLE-EARTH (2024).

4.5 Definição do Peso dos Indicadores

A Tabela 7 apresenta os indicadores especificados na Tabela 1. Quanto menores forem os indicadores I9 e I10 melhor. Todos os outros quanto maior melhor. O peso de cada indicador foi determinado pela avaliação de três especialistas por meio da escala Likert.

Tabela 7 - Vetor de pesos

	Indicador											
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
Min/Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Min	Max	Max
Pesos	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,09	0,07	0,11	0,05	0,1	0,1	0,06

Fonte: Os autores (2023).

4.6 Matriz de Pesos Segmento-Indicador

Os indicadores de segmento foram provenientes de várias fontes, Google Earth Pro, Google Street View e sites oficiais do município. Foram selecionados quinze segmentos para avaliação das rotas PO1 - PD1. A Matriz Segmento-Indicadores atribui valores a cada indicador, que podem ser medidas quantitativas ou qualitativas. Os dados da Tabela 8 são apresentados de forma normalizada com base em critérios de maximização ou minimização. Quinze segmentos foram selecionados para definição de rotas PO1 - DP1, Tabela 8. Cada segmento foi associado a um conjunto de indicadores, que representam distância ou atratividade. A Tabela 8 apresenta dados normalizados com base em critérios de maximização ou minimização.

Tabela 8 - Matriz Normalizada Segmento-Indicador

Segmento	Indicadores											
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12
	Ambiente						Segurança			Conforto		
1	0,08	0,07	0,00	0,03	0,00	0,06	0,06	0,07	0,07	0,03	0,00	
2	0,03	0,07	0,00	0,03	0,00	0,07	0,06	0,02	0,09	0,03	0,00	
3	0,03	0,07	0,00	0,06	0,00	0,07	0,04	0,04	0,09	0,05	0,14	
4	0,03	0,07	0,00	0,09	0,00	0,06	0,04	0,04	0,09	0,05	0,00	
5	0,03	0,07	0,00	0,11	0,00	0,06	0,06	0,04	0,09	0,05	0,00	
6	0,03	0,07	0,00	0,14	0,00	0,05	0,06	0,09	0,09	0,05	0,00	
7	0,08	0,07	0,00	0,14	0,50	0,03	0,06	0,11	0,04	0,05	0,00	
8	0,17	0,07	0,50	0,11	0,00	0,08	0,09	0,11	0,00	0,14	0,14	
9	0,17	0,07	0,50	0,03	0,00	0,08	0,09	0,11	0,00	0,14	0,14	
10	0,08	0,07	0,00	0,09	0,00	0,07	0,09	0,07	0,07	0,14	0,14	
11	0,03	0,07	0,00	0,03	0,00	0,09	0,06	0,04	0,09	0,05	0,00	
12	0,08	0,07	0,00	0,06	0,00	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,14	
13	0,06	0,07	0,00	0,03	0,00	0,09	0,06	0,04	0,06	0,05	0,14	
14	0,08	0,07	0,00	0,03	0,50	0,06	0,09	0,09	0,07	0,08	0,14	
15	0,03	0,07	0,00	0,03	0,00	0,09	0,06	0,04	0,09	0,03	0,00	

Fonte: Os autores (2023).

4.7 Valor Médio dos Índices

O valor médio dos índices de Ambiente (Am), Segurança (Sa) e Conforto (Co) de cada segmento pode ser determinado a partir da Tabela 8. Por exemplo, o valor médio do índice Ambiente do segmento quatro é igual para $(0,027+0,067+0,086+0,06)/6 = 0,040$, enquanto o valor médio do Índice Conforto é $0,054/2 = 0,027$. A Tabela 9 apresenta a Matriz Média do Segmento-Índice.

Tabela 9 - Matriz Média do Segmento - Índice

	Segmentos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Am	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,14	0,15	0,14	0,05	0,04	0,04	0,04	0,12	0,04
Se	0,06	0,04	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,20	0,09	0,05	0,04	0,07	0,05
Co	0,01	0,01	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,14	0,14	0,14	0,03	0,10	0,10	0,11	0,01

Fonte: Os autores (2023).

4.8 Identificação das Rotas do Terminal Central (PO1) aos Correios (PD1)

4.8.1 Matrix das Rotas

O caminho mais curto para cada índice (Am, Se, Co) foi determinado a partir da Tabela 6 e Tabela 9. Para o índice ambiente, o caminho mais curto consiste nos segmentos 6, 7, 8, 10, 12, 14 e 15 com um “custo ambiente” de 0,59 unidades. O caminho mais curto para indicadores de segurança inclui os segmentos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, com “custo de segurança” de 0,40 unidades. Da mesma forma, o caminho mais curto para os indicadores de conforto é o mesmo dos indicadores de segurança, com 0,23 unidades de “custo de conforto”.

4.8.1 Modelo de Otimização Multiobjetivo

O modelo de otimização multiobjetivo (Ambiência-Segurança-Conforto) para determinação do caminho mais curto do Ponto de Origem 1 (PO1) ao Ponto de Destino 1 (PD1) é apresentado na Tabela 11. De acordo com o modelo, o caminho mais curto do Ponto de Origem 1 (PO1) ao Ponto de Destino 1 (PD1) é apresentado na Tabela 11.

Tabela 10 - Caminho mais curto para cada indicador

	Segmentos															OPS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Am	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0,6
Se	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Co	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2

Fonte: Os autores (2023).

O caminho mais curto de PO1 a PD1 é através dos segmentos 4, 5, 6, 7, 8, 10 e 11. O custo desse caminho é 0,7656, que é maior que o caminho de custo de ambiente.

Tabela 11 – Modelo multiobjetivo para o caminho PO1-PD1

	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Q		
SEGM	0	1																	1	1
1			1																0,00	0
2			-1	1															0,00	0
3				-1	1						-1								0,00	0
4					-1	1							-1						0,00	0
5						-1	1								-1				0,00	0
6							-1	1									-1		0,00	0
7								-1	1										0,00	0
8									-1	1									-1,00	-1
9		-1									1								0,00	0
10										-1	1	1							0	0
11												-1	1	1					0	0
12														-1	1	1			0	0
13																-1	1		0	0
C_Amb	0	0	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,23	0,26	0,24	0,09	0,06	0,07	0,07	0,21	0,06	-1,00	0,09	1,0
C_Seg	0	0	0,21	0,16	0,14	0,11	0,12	0,23	0,13	0,12	0,12	0,14	0,15	0,34	0,12	0,27	0,12	-1,00	0,23	1,0
C_Conf	0	0	0,06	0,06	0,42	0,12	0,12	0,12	0,12	0,6	0,6	0,6	0,12	0,42	0,42	0,48	0,06	-1,00	1,00	1,0
Cam_Oti	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0,77	1	0,7
Fun_Obj																				7

Fonte: Os autores (2023).

A rota gerada pelo objetivo Mimimax é ótima de Pareto. Ou seja, dada qualquer solução gerada por esta abordagem é certo que nenhuma outra solução viável permite um aumento em qualquer objetivo sem diminuir pelo menos um outro objetivo. A linha vermelha na Figura 5 representa o caminho ótimo de Pareto de PO1 a PD1.

5 CONCLUSÃO

A integração do transporte público com a caminhada é uma abordagem benéfica à saúde do cidadão, ao meio ambiente por evitar a poluição do transporte motorizado e um meio de atender questões sociais para população de baixa renda, especialmente em um país em desenvolvimento como o Brasil. Entretanto, pessoas que caminham apresentam diferentes percepções e habilidades que estão associadas ao sexo, idade e limitações físicas. Neste sentido, são necessários esforços para incentivar a caminhabilidade no centro de uma cidade e atender às expectativas dos pedestres. Reconhecendo a importância deste tema, os formuladores de políticas públicas devem desenvolver ações que criem infraestrutura adequada para caminhadas seguras e confortáveis. A contribuição deste trabalho está em propor uma metodologia para conectar terminais públicos urbanos a pontos de grande atratividade como serviços públicos essenciais, shoppings etc. propondo rotas que considerem as características do ambiente, conforto e segurança ao caminhar. Para tanto a escolha da melhor entre todas as rotas possíveis, ligando origem e destino, foi formulada – como um problema de otimização multiobjetivo.

Figura 5 - Rota ótima de Pareto de PO1 a PD1



Fonte: Adaptada GOOGLE-EARTH (2024).

A adoção das soluções aqui sugeridas depende do apoio da administração pública, que deve avaliá-las e implementá-las por ações que contribuam para um trânsito tranquilo, melhorando a condição dos cruzamentos para a circulação de pedestres, evitando o uso inadequado do espaço público, com ocupação por barracas, estacionamento nas calçadas etc. Ainda instalar sinalizações. A metodologia aqui sugerida pode ser aplicada para avaliar o impacto de outras medidas como a implantação de novos calçadões e o conceito de ruas compartilhadas. Assim, como continuação deste trabalho, propõe-se a interferência do gestor municipal no ambiente atual com a implementação de espaços compartilhados entre pedestres, bicicletas e veículos automotores como forma de tornar o centro urbano um ambiente sustentável.

6 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. M.; SIMÕES, R.; GOLGHER, A. B. Housing market analysis using a hierarchical–spatial approach: The case of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Regional Studies, Regional Science**, v. 1, n. 1, p. 116–137, 2014.
- ASADI-SHEKARI, Z. *et al.* Exploring effective micro-level items for evaluating inclusive walking facilities on urban streets (applied in Johor Bahru, Malaysia). **Sustainable Cities and Society**, v. 49, 1 ago. 2019.
- ASADI-SHEKARI, Z.; MOEINADDINI, M.; ZALY SHAH, M. A pedestrian level of service method for evaluating and promoting walking facilities on campus streets. **Land Use Policy**, v. 38, p. 175–193, 2014.
- AWAD, M.; KHANNA, R. **Efficient Learning Machines Theories, Concepts, and Applications for Engineers and System Designers**. 1st ed. ed. [s.l.: s.n.].
- BIVINA, G. R.; PARIDA, M. Modelling perceived pedestrian level of service of sidewalks: A structural equation approach. **Transport**, v. 34, n. 3, p. 339–350, 2019.
- BLOOMBERG, M. R.; BURDEN, A. M. **New York City Pedestrian Level of Service Study Phase I**. [s.l.] NYC Department of City Planning, 2006.
- BRANS, J. P.; VINCKE, PH.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, p. 228–238, 1986.
- CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Conheça sua cidade**. Disponível em: <https://campinas.sp.gov.br/secretaria/servicos-publicos/pagina/conheca-sua-regiao>. Acesso em: 10 out. 2024.

- CARVALHO, M. F. *et al.* Mobilidade em centros urbanos por circuitos de caminhada utilizando o método multicritério PROMETHEE, estudo de caso de Campinas. **Urbe**, v. 13, 2021.
- DIZDAROGLU, D. Developing micro-level urban ecosystem indicators for sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 119–124, 1 set. 2015.
- ERNAWATI, J. Dimensions Underlying Local People’s Preference of Street Characteristics for Walking. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 234, p. 461–469, out. 2016.
- GASPARDO, M; PAIVA, C.C.; OLIVIERA, A.R.S.M. Programa de Cidades Sustentáveis – Guia de Introdução a Participação Cidadã. Disponível em: https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/participacao-cidada/Guia-de-introducao-a-participacao-cidada_final.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.
- GIMBERT, X.; BISBE, J.; MENDOZA, X. The role of performance measurement systems in strategy formulation processes. **Long Range Planning**, v. 43, n. 4, p. 477–497, ago. 2010.
- GOOGLE-EARTH. **Google Earth**. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- KIELAR, P. M.; BORRMANN, A. Modeling pedestrians’ interest in locations: A concept to improve simulations of pedestrian destination choice. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 61, p. 47–62, 1 fev. 2016.
- KRIZEK, K. J.; FORSYTH, A.; BAUM, L. **Walking and Cycling International Literature Review. Final Report**. Melbourne: Department of Transport, 2009.
- KUMAR, A. *et al.* A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 596–609, 1 mar. 2017.
- MANZOLLI, J. A.; OLIVEIRA, A.; NETO, M. D. C. Evaluating walkability through a multi-criteria decision analysis approach: A Lisbon case study. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 3, p. 1–20, 1 fev. 2021.
- MIDGLEY, D. F.; DOWLING, G. R. Innovativeness: The Concept and Its Measurement. **Journal of Consumer Research**, v. 4, n. 4, p. 229, mar. 1978.
- NAG, D. *et al.* Assessing urban sidewalk networks based on three constructs: a synthesis of pedestrian level of service literature. **Transport Reviews**, v. 40, n. 2, p. 204–240, 3 mar. 2020.
- PUCHER, J.; DILL, J.; HANDY, S. **Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review Preventive Medicine**, jan. 2010.
- RAGSDALE, C. T. **Spreadsheet modeling & decision analysis: a practical introduction to management science**. 4 ed. [s.l.] South-Western College, 2004.
- RAHUL, T. M.; MANOJ, M. Categorization of pedestrian level of service perceptions and accounting its response heterogeneity and latent correlation on travel decisions. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 142, p. 40–55, 1 dez. 2020.
- SAADI, I. *et al.* A participatory assessment of perceived neighbourhood walkability in a small urban environment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 1, 1 jan. 2021.
- TIAN, G.; EWING, R. A walk trip generation model for Portland, OR. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 52, p. 340–353, 1 mai. 2017.
- VELOSO, A. L. C. P.; DOS-SANTOS-NETO, N. F. O pedestre no protagonismo da mobilidade urbana: um breve passeio pelos aspectos teóricos acerca da caminhabilidade. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 10, p. 18268–18288, 24 out. 2023.
- VISVIZI, A. *et al.* Conceptualizing walking and walkability in the smart city through a model composite w2 smart city utility index. **Energies**, v. 14, n. 23, 1 dez. 2021.



WEI, Y. D. *et al.* Walkability, land use and physical activity. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 1, 2016.

XIAO, W.; WEI, Y. D. Multiscale Analysis of Urban Walkability and Pedestrian's Destination Choice. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 147, n. 1, mar. 2021.