

# Escolha de rotas a pé – método e estudo exploratório

*Pedestrian route choice: GPS tracking, discrete models and the influence of the built environment in a central district in Brazil*

Júlio Celso Borello Vargas<sup>1</sup>, Ana Margarita Larranaga Uriarte<sup>2</sup>, Helena Beatriz Bettella Cybis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, julio.celso@ufrgs.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, analarra@producao.ufrgs.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, helenabc@producao.ufrgs.br

**Recebido:**

15 de junho de 2021

**Aceito para publicação:**

27 de janeiro de 2022

**Publicado:**

30 de abril de 2022

**Editor de área:**

Cira Souza Pitombo

**Palavras-chave:**

Escolha de rota.  
Escolha discreta.  
Ambiente construído.  
Viagens a pé.  
Caminhabilidade.  
Mobilidade ativa.

**Keywords:**

Route choice.  
Discrete choice.  
Built environment.  
Travel on foot.  
Walkability.  
Active transportation.

DOI:10.14295/transportes.v30i1.2636

**RESUMO**

O estímulo aos modos ativos de viagem através de modificações na forma urbana é objeto de pesquisas desde que o domínio do transporte motorizado se revelou nocivo à qualidade de vida urbana. Os deslocamentos a pé passaram a fazer parte da agenda da mobilidade urbana sustentável, enfatizando inicialmente a influência do ambiente construído sobre a escolha modal, visando aumentar a participação do modo. Recentemente, os estudos de caminhabilidade evoluíram e incorporaram aspectos da microescala do ambiente, procurando compreender o que influencia os pedestres em sua escolha de rota. Este trabalho investiga os fatores que influenciam a escolha de rota através de um método baseado no rastreamento de indivíduos com GPS e na modelagem de escolha com variáveis do ambiente. Um estudo na cidade de Porto Alegre estimou modelos de escolha discreta binários para compreender por que os pedestres escolhem outros caminhos que não o mais curto entre a origem e o destino. Os resultados mostram que atributos da rede viária como a classe funcional e o comprimento dos trechos e variáveis urbanísticas como a presença de usos comerciais, em associação com o motivo da viagem e características do indivíduo, influenciam a utilidade percebida e, conseqüentemente, a escolha de rota.

**ABSTRACT**

Encouraging active modes of travel through changes in urban form has been the object of research since motorized transport proved to be harmful to cities' quality life. Traveling on foot became part of the sustainable urban mobility agenda, initially emphasizing the influence of the built environment on modal choice, aiming to increase its share. Recently, walkability studies have evolved to incorporate microscale aspects of the environment, seeking to understand what influences pedestrians' route choice. This work investigates the factors that influence route choice by proposing a method based on GPS tracking of individuals and discrete choice modelling considering environmental variables. A study in the city of Porto Alegre estimated binary discrete models to understand why pedestrians choose routes other than the shortest path between origin and destination. Results show that road network attributes such as functional class and the length of the stretches as well as urban such as the presence of commercial uses, in association with trip purpose and individual factors, influence the perceived utility and the route choice.



## 1. INTRODUÇÃO

Estudos revelam que o uso indiscriminado de veículos automotores no interior das cidades não gera apenas desconforto, mas traz também graves danos à saúde das populações e prejuízos à economia. A busca pela superação dos problemas de mobilidade passa, portanto, não apenas pela promoção de novas tecnologias veiculares e políticas de gerenciamento de demanda

inovadoras, mas também pela reorganização do espaço das cidades e a alteração paradigmas de urbanização em favor dos modos ativos de transporte. Isso significa aumentar a possibilidade de realizar deslocamentos a pé por meio da adoção de um modelo de cidade compacta, densa, bem conectada e miscigenada, e prover conforto e segurança às caminhadas, aprimorando a qualidade da experiência do pedestre durante a viagem (Boarnet e Crane, 2001; Frank *et al.* 2006; Ewing e Cervero, 2010; Arellana *et al.* 2020).

No final do século XX o modo a pé passou a receber maior atenção da academia, dos governos e do mercado em função dos benefícios associados ao transporte ativo, especialmente os econômicos e os relativos à saúde. Contrastadas com os impactos negativos do transporte motorizado, qualidades como a menor pegada energética, a atividade física e a vitalidade econômica e social de bairros e comunidades proporcionados pelo transporte a pé têm levado a uma busca por um melhor entendimento do fenômeno “caminhar na cidade” (Campoli, 2012).

A literatura recente traz inúmeros estudos (estudos empíricos, revisões de literatura e estudos de meta análise) que mostram a influência do ambiente construído sobre o comportamento de viagens, e que alterações no modo de construir cidades podem modificar os padrões de deslocamento das pessoas em favor dos modos ativos, tanto no Norte (por exemplo os desenvolvidos por Ewing e Cervero, 2001, 2010; Handy *et al.*, 2005; Moudon *et al.* 2006; Cao *et al.*, 2009; Tribby *et al.* 2016; Tian e Ewing, 2018) assim como no Sul Global (Cervero *et al.*, 2009; Larranaga *et al.*, 2014; 2018; Ruiz-Padillo *et al.*, 2018; Arellana *et al.*, 2020; Lucchesi *et al.* 2020 e 2021).

Os estudos geralmente utilizam medidas da mesoescala urbana, computando características médias ou típicas de densidade construída, conectividade viária e oferta de destinos por unidade de área, e contrastando-as com os volumes de pedestres ou a participação do modo a pé na divisão modal de uma determinada cidade ou bairro (por exemplo, Cao *et al.* 2006, Lee e Moudon 2006; Baran *et al.* 2008; Larranaga *et al.* 2014). A abordagem dominante, desde a obra de Cervero e Kockelman (1997), organiza os atributos dessa escala em categorias chamadas “3D” - *densidade, diversidade, desenho* – levando à elaboração, por exemplo, do muitas vezes citado e adaptado “Índice de Caminhabilidade” de Frank (Frank *et al.*, 2010; Manaugh e El-Geineidy, 2011; Wasfi *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2020; Frank *et al.* 2021).

No entanto, a decisão de realizar uma viagem a pé, típica da escolha modal, é diferente da decisão sobre o caminho a percorrer (escolha de rota), exigindo uma abordagem distinta para o entendimento mais efetivo e abrangente dos atributos urbanos da caminhabilidade e, assim, melhor subsidiar políticas e projetos urbanísticos e de transporte sustentável.

O senso comum diz que o pedestre sempre escolhe o caminho mais curto entre a origem e o destino, buscando minimizar o esforço de caminhada e o tempo de viagem, especialmente por motivos compulsórios como trabalhar ou estudar. Porém, ao contrário dos modos motorizados, as viagens a pé são muito mais dependentes das características do indivíduo (demográficas, socioeconômicas, psicológicas e físicas) e muito mais sensíveis às características do espaço urbano *entre* a origem e o destino (Guo, Z. e Loo, B., 2013, Guo, Z., 2009; Schlossberg *et al.*, 2008; Hoogendoorn, S. e Bovy, P., 2004; Goledge, R., 1995). Isso faz com que aspectos da percepção individual como conforto, conveniência e segurança interfiram na decisão de utilizar ou não o trajeto de menor distância (Lima *et al.* 2016).

Trabalhos recentes trouxeram inovações a essa abordagem, incluindo aspectos como os níveis de poluição ao longo das rotas (Boniardi *et al.*, 2019), o ruído (Salazar Miranda, A. *et al.* 2021) e, em alguns casos, incorporando conceitos ainda mais subjetivos como o grau de

“felicidade” ao caminhar (Quercia *et al.*, 2014). Outros estudos vêm promovendo avanços metodológicos importantes como o uso do *big data* e das mídias sociais para avaliação coletiva (*crowdsourcing*) da qualidade das rotas (Mor *et al.*, 2020; Sevtsuk *et al.*, 2021).

De modo geral, todos eles assumem que o pedestre percebe, pondera e avalia as restrições e vantagens de cada alternativa de rota disponível, levando em consideração tanto os elementos da microescala das calçadas - pavimentação, iluminação, limpeza e tratamento paisagístico (Kim *et al.*, 2014; Larranaga *et al.*, 2018; Keyvanfar *et al.*, 2018; Taleai e Yameqani, 2018; Arelana *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020) – quanto às características do sistema viário (declividade, tamanho dos trechos, travessias, hierarquia viária) e da forma construída - altura e continuidade das edificações, permeabilidade das fachadas, usos do solo, presença de parques e atrativos urbanos e etc. (Adkins *et al.* 2012).

O objetivo deste trabalho é investigar as relações de influência entre o ambiente construído e as viagens a pé, explorando aspectos pouco estudados da forma urbana e buscando dimensionar o seu impacto sobre a escolha de rota pedestres, especificamente sobre a decisão de utilizar ou não o caminho mais curto entre origem e destino.

## 2. MÉTODO E DADOS

Para acessar o comportamento relativo à escolha de rota e suas relações com a forma urbana foram coletados dados de diferentes fontes e estimados modelos econométricos. Os dados utilizados são provenientes de três fontes diferentes: (i) dispositivo GPS; (ii) entrevista complementar com usuários do dispositivo GPS e (iii) camadas de dados do ambiente construído em Sistema de Informações Geográficas (SIG). Dados de viagens foram obtidos de um experimento natural de acompanhamento de viagens a pé realizado com residentes da cidade de Porto Alegre utilizando dispositivos GPS durante 2 dias. Assim, foi utilizada uma abordagem baseada na preferência revelada, ou seja, dependente do comportamento real.

Dados do ambiente construído foram processados com o software *ArcGIS 10* e quantificados para cada uma das rotas possíveis de serem realizadas pelo respondente.

O método foi estruturado nas seguintes etapas:

1. Coleta de dados:
  - Registro das trajetórias brutas das viagens a pé – GPS;
  - Obtenção de dados dos indivíduos e viagens - entrevista;
  - Captura e cálculo dos atributos do ambiente construído ao longo das rotas – SIG.
2. Limpeza das trajetórias brutas e mapeamento das rotas percorridas sobre a rede viária;
3. Simulação da rota alternativa à percorrida, considerando a distância como custo a minimizar – “caminho mais curto”;
4. Estimação da importância dos atributos para a escolha da rota, utilizando modelos de escolha discreta.

### 2.1. Viagens a pé

Para a coleta de dados de viagem, os participantes foram selecionados e solicitados a carregar o dispositivo GPS *Transystem i- Blue 747A+* durante dois dias, registrando todas as viagens realizadas. Este período de coleta foi determinado com base na bateria útil do aparelho e em estudos anteriores realizados pelo mesmo grupo de pesquisa (Motter *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2013; 2014).

Após extrair as viagens realizadas a pé e filtradas as trilhas com erros, a amostra total ficou com 116 trilhas de viagens a pé realizadas por 34 indivíduos. A utilização de dados de múltiplos dias permite uma redução no tamanho da amostra em relação a coletas de dados de 1 dia (Stopher *et al.*, 2008). A teoria de amostragem assume que as observações são independentes entre si. Esta suposição não se verifica estritamente nos dados utilizados usualmente em estudos de transporte, através de pesquisas de viagens, pois as decisões de viagens em um mesmo domicílio geralmente estão correlacionadas. A violação da suposição de independência fica mais evidente em coletas de múltiplos dias do mesmo indivíduo, como acontece em pesquisas com dispositivos GPS. Considerar independências nas observações implica subestimar a variação real da população, pois o comportamento de uma pessoa ao longo de vários dias é provavelmente mais similar do que o comportamento de várias pessoas diferentes em um mesmo dia (Stopher *et al.*, 2008). Os autores, Stopher *et al.* (2008), discutem essa correlação existente e estimam uma relação entre a variação real do comportamento de viagem dos indivíduos em pesquisas de 1 dia e de múltiplos dias (no caso, realizam o estudo para analisar pessoa-quilômetro por dia).

Assim, determinam que o desvio-padrão correspondente a períodos de coleta de  $D$  dias é reduzido pelo fator  $\sqrt{(D + 3,36)/(4,36D)}$  e que os tamanhos de amostras em períodos de  $D$  dias podem cair para  $(D + 3,36)/(4,36D)$  do tamanho da amostra de 1 dia (redução de  $1 - (D + 3,36)/(4,36D)$ ), sem aumentar a variância da estimativa do parâmetro estimado. Em nosso estudo, a coleta de dados de viagens pelo período de 2 dias pode reduzir o tamanho da amostra em 39% em relação ao correspondente para 1 dia de duração. Assim, a amostra de 116 trilhas coletada no período de 2 dias poderia ser equivalente a uma amostra de 190 trilhas num período de 1 dia, mantendo a eficiência na estimação dos parâmetros.

## 2.2. Indivíduos e viagens

A escolha dos participantes foi realizada procurando obter diversidade entre as características pessoais dos indivíduos. Entre os aspectos levados em conta para a seleção, podem ser citados: gênero, idade, facilidade na utilização de tecnologia. Entretanto, por insegurança em relação à devolução do dispositivo GPS, considerando que é um estudo exploratório e que o perfil de renda e ocupação dos indivíduos não seria determinante na escolha de rota, os participantes do estudo foram pessoas próximas aos autores.

Finalizados os dois dias de coleta de dados com o dispositivo GPS, os participantes foram entrevistados face-a-face. Os participantes declararam sua idade, gênero, grau de instrução, ocupação e disponibilidade de automóvel privado e preencheram um diário descrevendo seus deslocamentos durante os dois dias da pesquisa. No diário de viagem, os participantes foram perguntados em relação ao motivo, o modo, a data e os horários de saída e chegada.

Na Tabela 1 estão descritas as características dos indivíduos, transformadas em variáveis categóricas, bem como a quantidade total, média e desvio-padrão de etapas de viagem de cada categoria.

As viagens a pé foram caracterizadas por variáveis categóricas: tipo (compulsória, recreacional, acesso a transporte), horário (noite/dia, pico/não pico) e comprimento da linha de desejo (longa/curta) baseado na distribuição das distâncias observadas, conforme a Tabela 2. A viagem foi considerada longa quando maior que 800m. As características encontradas estão em linha com as reportadas em outros estudos na mesma cidade (Ribeiro *et al.* 2013, 2014, Larranaga *et al.*, 2014).

**Tabela 1** – Características dos indivíduos

	Indivíduos		Trilhas		
	N	%	N	Média	DP
TOTAL	34	100	116	3,41	1,8
<b>SEXO</b>					
Mulher	20	59	75	3,75	1,8
Homem	14	41	41	2,93	1,8
<b>IDADE</b>					
< 27 anos	14	41	47	3,36	1,6
27 - 44 anos	11	32	34	3,09	2,1
> 45 anos	9	26	35	3,89	1,8
<b>EDUCAÇÃO</b>					
Médio	5	15	12	2,40	1,5
Superior	20	59	78	3,90	1,8
Pós	9	26	26	2,89	1,8
<b>ESTUDA?</b>					
Não	18	53	64	3,56	2,0
Sim	16	47	52	3,25	1,6
<b>TRABALHO</b>					
Empregado	23	68	78	4,36	1,7
Estudante bolsista	8	23	29	4,45	1,7
Aposentado / desempregado	3	9%	9	3,67	1,0
<b>HABITUAL?</b>					
Não	19	56	65	3,42	1,9
Sim	15	44	51	3,40	1,7
<b>AUTOMÓVEL?</b>					
Não	30	88	108	3,60	1,8
Sim	4	12	8	2,00	1,4
<b>MOBILIDADE</b>					
< 6,5 etapas de viagens/dia	9	26	23	2,56	1,3
6,5 a 10	10	29	24	2,40	1,4
> 10	15	44	69	4,60	1,6

N=número de observações; DP: desvio-padrão

**Tabela 2** – Características das etapas de viagem a pé

	N	%	Distância	
			Média	DP
TOTAL	116	100	775	590
<b>MOTIVO</b>				
Acesso a transporte	37	32	522	288
Família/pessoal	18	16	722	404
Volta à casa	17	15	785	907
Trabalho	12	10	1.068	657
Compras	11	9	654	531
Lazer	9	8	717	282
Estudo	7	6	1.146	506
Saúde	3	3	1.232	553
Outro	2	2	2.297	1.541
<b>TIPO</b>				
Compulsória	19	16	918	787
Livre	60	52	885	616
Acesso	37	32	523	288
<b>LONGA?</b>				
Não	91	78	528	222
Sim	25	22	1.673	641
<b>NOITE?</b>				
Não	83	72	807	622
Sim	33	28	693	500
<b>PICO?</b>				
Não	83	72	748	577
Sim	33	28	842	624
<b>CENTRO?</b>				
Sim	73	38	850	339
Não	43	37	646	583

N=número de observações; DP: desvio-padrão

### 2.3. Ambiente construído

Os atributos do ambiente construído ao longo das rotas - as ruas percorridas e espaços adjacentes - foram capturados em SIG e deram origem às variáveis para a modelagem de escolha. Para facilitar a interpretação, explicitando a que escala do ambiente construído pertence cada variável, os atributos foram organizados em três blocos:

#### 2.3.1. Rede

Atributos geométricos e topológicos do grafo simplificado da rede de vias, calculados individualmente - comprimento dos *links* e conectividade dos nós - e totalizados como médias e contagens das medidas de todos os *links* e nós - distância total, número de nós, número de *links*, número de mudanças de direção/conversões. Para uniformizar as medidas, indicadores de *densidade* de nós e *links* foram calculados, dividindo a contagem total por uma unidade-padrão de 100 metros lineares. Finalmente, uma medida de *straightness* - razão entre a distância real e a distância em linha reta (*airline*) - foi calculada.

#### 2.3.2. Vias

Atributos funcionais do sistema viário - *classe* ou *hierarquia* das ruas, conforme o anexo 9.3 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999). Agrupando as diversas categorias dessa classificação em função de sua atratividade para o pedestre, três tipos de vias foram criados para a modelagem:

- i. Classe “arterial” = valor numérico da hierarquia = 1;
- ii. Classe “local” = valor 2;
- iii. Classe “pedestre” = valor 3.

A classe 3 considerou todas as vias “amigáveis ao pedestre”, agregando ruas com classificação funcional “local” (com tráfego de veículos, porém com baixos volumes e a baixa velocidade) e vias totalmente pedestres como passagens, caminhos, calçadão e escadarias.

#### 2.3.3. Ambiente construído

Uso do solo dos principais edifícios localizados ao longo dos trechos percorridos até uma distância de 50 metros do eixo:

- i. Edifícios Uso Comercial - *Shopping center*/centro comercial, supermercados.
- ii. Edifícios Uso Especial - Universidades, hospitais, igrejas, escolas, prédios públicos, administrativos, cívicos e etc.

O processamento em SIG produziu três tipos de variáveis para cada item: o número absoluto ao longo da rota - contagem - a densidade a cada 100 metros e uma variável *dummy* de “exposição” - existência ou não do elemento ao longo da rota, conforme a Tabela 3.

### 2.4. Rotas percorridas

Os dados das viagens realizadas coletados com o GPS foram exportados, tratados e filtrados utilizando regras específicas e diferentes programas computacionais. A exportação dos dados do GPS foi realizada utilizando o programa *BT747*, fornecido pelo fabricante junto com o dispositivo. Posteriormente, os dados extraídos foram processados, permitindo sua edição e melhor visualização, com o auxílio do aplicativo *GPS Trackmaker*. Os dados descarregados correspondem a todas as viagens realizadas pelos respondentes, por diversos modos de transporte.

**Tabela 3** – Características do ambiente das rotas

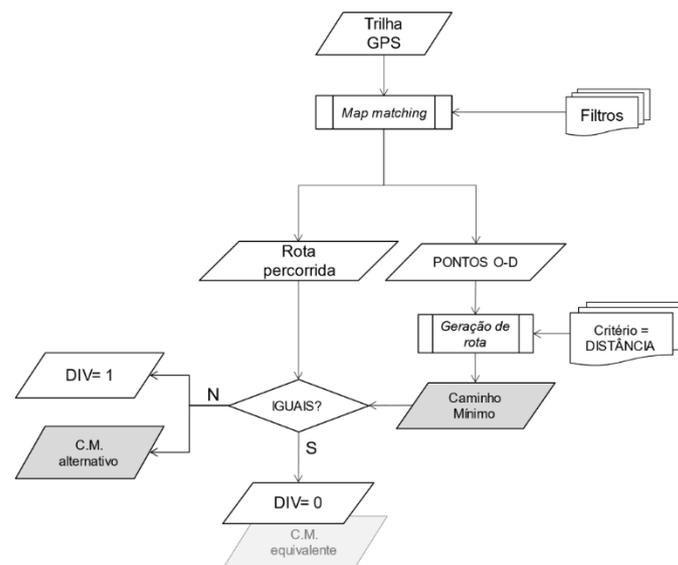
		N	Média	DP	Mediana
	Distância em Linha Reta	116	570,20	465,00	387,90
Rede	Distância Trilha	116	774,50	589,60	551,60
	Straightness (DLR/DT)	116	0,73	0,12	0,74
	# Nós (intersecções)	116	10,16	8,86	8,00
	Densidade de nós	116	11,90	9,67	9,00
	Comprimento médio do link	116	77,16	34,97	71,24
	Densidade de links	116	1,56	0,72	1,40
Vias	# Vias Arteriais	116	5,63	6,92	3,00
	# Vias Locais	116	3,85	3,84	3,00
	# Vias Pedestre	116	2,31	3,99	0,00
	% em vias Arteriais	116	43%	27%	40%
	% em vias Locais	116	42%	28%	37%
	% em vias Pedestres	116	14%	20%	0%
Ambiente	# Supermercados	116	0,24	0,45	0,00
	# Shoppings/centros comerciais	116	0,37	0,67	0,00
	Total compras	116	0,61	0,79	0,00
	Densidade compras	116	0,09	0,14	0,00
	Exposição compras?	116	0,45	0,50	0,00
	# Prédios Especiais - Saúde	116	0,13	0,39	0,00
	# Prédios Especiais - Religião	116	0,18	0,39	0,00
	# Prédios Especiais - Educação	116	1,44	2,55	0,00
	# Prédios Especiais - Públicos	116	0,04	0,31	0,00
	# Prédios Especiais - outros	116	0,70	1,31	0,00
	Total especiais	116	2,49	2,94	1,00
	Densidade especiais	116	0,34	0,43	0,22
	Exposição especiais?	116	0,59	0,49	1,00

Por último, as trilhas a pé foram ajustadas à rede (“*mapmatching*”), representando o sistema viário da cidade de Porto Alegre a partir de dados geográficos da plataforma livre *OSM – Open Street Map* ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)). A rede é construída como um grafo planar simplificado onde cada intersecção corresponde a um nó e cada trecho viário corresponde a um arco (*link*), sem duplicidade para representar as calçadas de ambos os lados (Open Street Map, 2013).

## 2.5. Conjuntos de Escolha/*Choice set*

Conforme a literatura, o caminho de menor distância costuma ser o mais utilizado para viagens a pé entre origens e destinos pré-estabelecidos e em condições de razoável conhecimento do ambiente, porém, os desvios desse caminho mínimo são comuns. Dado o interesse deste modelo de escolha em identificar e dimensionar a importância dos atributos do ambiente sobre a probabilidade de escolher uma rota divergente (qualquer) do caminho mais curto, os conjuntos de escolha – *choice set* – são compostos, portanto, por apenas duas opções.

As origens e destinos das viagens a pé registradas foram fixadas para a simulação da rota alternativa à realizada, utilizando a *distância* como critério de custo a ser minimizado. Isso gerou o potencial caminho mais curto de cada viagem, chamado de “caminho mínimo”. Ele foi comparado com a rota realizada através da checagem da sobreposição dos *links* e nós utilizados, recebendo então o atributo “DIV” (divergente?) representado por uma variável *dummy* com valor 0 quando as rotas eram absolutamente iguais e 1 nos casos em que rota percorrida era diferente do caminho mais curto, mesmo que diferença fosse mínima (um *link*, por exemplo).



**Figura 1.** Fluxograma para a geração dos caminhos mínimos e comparação com as rotas percorridas



**Figura 2.** Exemplo de rota percorrida (azul) com sua respectiva linha de desejo (vermelho pontilhado) e caminho mínimo alternativo (verde)

As origens e destinos das viagens a pé registradas foram fixadas para a simulação da rota alternativa à realizada, utilizando a *distância* como critério de custo a ser minimizado. Isso gerou o potencial caminho mais curto de cada viagem, chamado de “caminho mínimo”. Ele foi comparado com a rota realizada através da checagem da sobreposição dos *links* e nós utilizados, recebendo então o atributo “DIV” (divergente?) representado por uma variável *dummy* com valor 0 quando as rotas eram absolutamente iguais e 1 nos casos em que rota percorrida era diferente do caminho mais curto, mesmo que diferença fosse mínima (um *link*, por exemplo).

## 2.6. Modelagem

Modelos de escolha discreta foram estimados para responder à pergunta “*Por que não o caminho mais curto?*”. Desta forma, modelos *logit* binomiais (McFadden, 1974) foram estimados modelando a escolha entre duas alternativas exaustivas e mutuamente exclusivas: utilizar o caminho mínimo ou uma rota divergente (Foltete e Piombini, 2010).

A modelagem utiliza como unidade de análise a etapa de viagem, considerando cada etapa de viagem realizada por cada indivíduo. Essa é a abordagem mais tradicional em transportes para o processo de estimação em situações de escolha que analisam a decisão individual de adotar uma alternativa dentre um conjunto disponível. No caso presente, a decisão de escolher uma única rota dentre as alternativas que a rede oferece. Essa distinção é relevante, pois existem repetidas viagens realizadas pelos mesmos indivíduos.

Cada rota realizada foi comparada com a rota simulada. A variável-resposta binária adotou o valor "0" se a trilha realizada coincidiu com a rota mínima (Trilha = Rota mínima) e valor "1" se a trilha realizada divergiu da rota mínima (Trilha ≠ Rota mínima).

As características do ambiente construído foram especificadas na função de utilidade representativa para cada alternativa. Entretanto, as características do indivíduo e da viagem foram especificadas unicamente para a função de utilidade representativa de uma das alternativas, pois não variam entre as rotas alternativas de uma mesma viagem (Train, 2009).

Foram estimados modelos *logit* binomiais considerando diferentes variáveis explicativas. Inicialmente, apenas atributos da rota e da forma urbana, acrescentando posteriormente características do indivíduo e da viagem, para entender o impacto das características do ambiente quando presentes outras variáveis na estrutura dos modelos.

A comparação entre os modelos foi realizada utilizando o teste da razão de verossimilhança (LR) (Ben-Akiva e Lerman 1985) (Equação 1):

$$LR = -2 * [L_U - L_R] \quad (1)$$

onde  $L_U$  é o valor de máxima verossimilhança correspondente ao modelo irrestrito,  $L_R$  é o correspondente ao modelo restrito. Este teste estatístico é assintoticamente distribuído qui-quadrado com  $(K + 1)$  graus de liberdade, sendo  $K$  a diferença do número de parâmetros dos modelos irrestrito e restrito.

A estimação dos modelos *logit* binomiais permitiu identificar e dimensionar a importância dos atributos espaciais sobre a probabilidade de escolher uma rota divergente do caminho mais curto.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os resultados dos modelos estimados. A seleção e inclusão de variáveis do ambiente nos modelos buscou explicitar a contribuição dos diferentes blocos de características da cidade e evitar a redundância existente entre atributos de um mesmo bloco. O Modelo 1 considera apenas atributos da rota e da forma urbana (incluindo o pertencimento ao centro da cidade ou não). No Modelo 2 acrescenta-se a variável relativa à diferença de densidade de locais para compras (*DIF Densidade compras*) ao modelo anterior. O Modelo 3 incorpora uma variável binária que representa o status do indivíduo (caminhante habitual ou não) e o Modelo 4 adiciona uma nova variável *dummy* para representar o motivo da viagem: se a viagem é de acesso ao transporte ou não.

Os parâmetros estimados mostram que o aumento da extensão da linha de desejo da viagem, da proporção de vias amigáveis ao pedestre (*DIF % Vias Pedestres*), da densidade de locais para compras (*DIF Densidade compras*) e o fato de a viagem entrar ou sair do perímetro do distrito central da cidade (*Centro*) aumentam a probabilidade de escolha de uma rota diferente da rota mínima (sinais positivos).

Tabela 3 – Modelos binários

VARIÁVEIS	M1		M2		M3		M4	
	Coef.	valor-p	Coef.	valor-p	Coef.	p	Coef.	valor-p
Intercepto	-3,338	0,000	-3,280	0,000	-3,013	0,000	-2,513	0,000
Distância em Linha Reta	0,003	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000
DIF. links (nº)	-3,683	0,001	-4,264	0,000	-4,425	0,000	-5,234	0,000
DIF. Vias Pedestres (%)	5,295	0,044	5,160	0,058	5,076	0,068	5,241	0,037
DIF. Dens. Compras (nº)			15,387	0,122	16,921	0,101	21,051	0,036
Centro (1=Sim; 0=Não)	0,965	0,093	0,894	0,124	1,471	0,024	1,428	0,037
Habitual (1=Sim; 0=Não)					-1,402	0,017	-1,145	0,073
Acesso (1=Sim; 0=Não)							-2,539	0,008
Ajustes	$\rho^2$ aj.	AIC	$\rho^2$ aj.	AIC	$\rho^2$ aj.	AIC	$\rho^2$ aj.	AIC
	0,314	113,18	0,327	111,71	0,360	107,59	0,418	99,091

Foi adotado nível de confiança 85% para reduzir a probabilidade de erros do tipo II

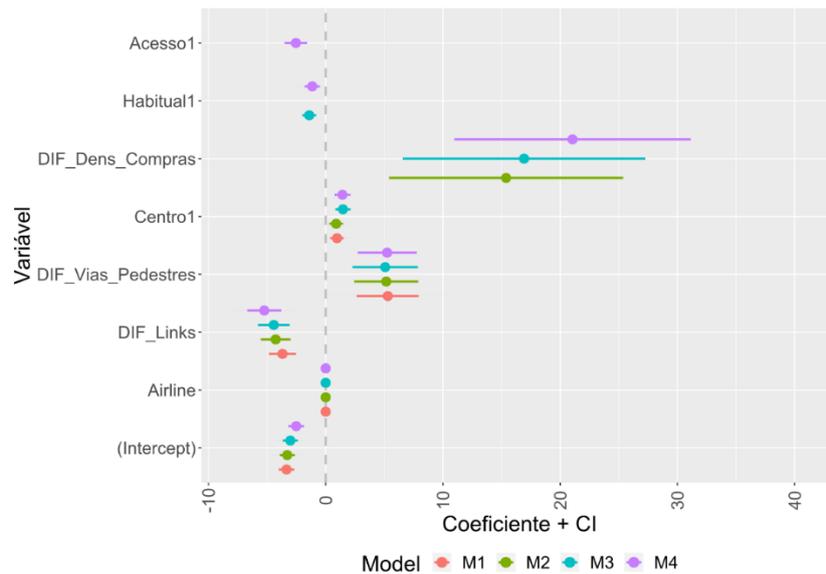


Figura 3. Coeficientes e intervalos de confiança dos modelos

Isso indica que os pedestres têm mais chance de desviarem do caminho mínimo em uma viagem quando existem mais ruas dedicadas preferencialmente ao tráfego de pedestres, com mais lojas e amenidades comerciais. Ainda, essa probabilidade de desvio tende a aumentar quando as viagens (linhas de desejo) são mais extensas, resultados alinhados com dois importantes estudos internacionais, de Guo e Loo (2013) e de Salazar Miranda *et al.* (2021).

A diferença na quantidade de *links* apresentou sinal negativo indicando que quanto mais trechos na rota alternativa, menor a probabilidade de aquele caminho divergente ser utilizado. Este resultado tem relação com a configuração da malha viária e pode estar associado à maior necessidade de mudanças de direção e/ou de realizar travessias (Ewing e Dumbaugh, 2009; Machado *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2017 e 2019).

O atributo do indivíduo “caminhante habitual” (*Habitual*) apresentou sinal negativo, indicando que o caminhante contumaz tem menos chances de utilizar uma rota divergente do caminho mais curto. Pessoas que repetem frequentemente uma mesma viagem são possivelmente mais objetivas e procuram fundamentalmente minimizar seu esforço (Golledge, 1999; Ramming, 2002, Salazar Miranda *et al.*, 2021). Isso é coerente com o sinal negativo e a significância apresentada pela variável *Acesso*, pois, quando a caminhada faz parte de uma jornada que utiliza outro modo (transporte público), é menos provável que procure uma rota alternativa ao caminho mais curto.

O ajuste dos modelos estimados foi adequado ( $\rho^2$  entre 31,41 e 41,8%). A comparação dos modelos foi baseada no teste de Razão de Verossimilhança (descrito na Equação 1). Este teste é utilizado na comparação entre dois modelos, um dos quais deve ser uma versão restringida do outro. Os valores do teste e da distribuição qui-quadrado são apresentados a continuação:

- i. Modelo 4 e Modelo 3: LR= 9.784

$$\chi^2_{1,95\%} = 3.84$$

Modelo 3 e Modelo 2: LR= 6.018

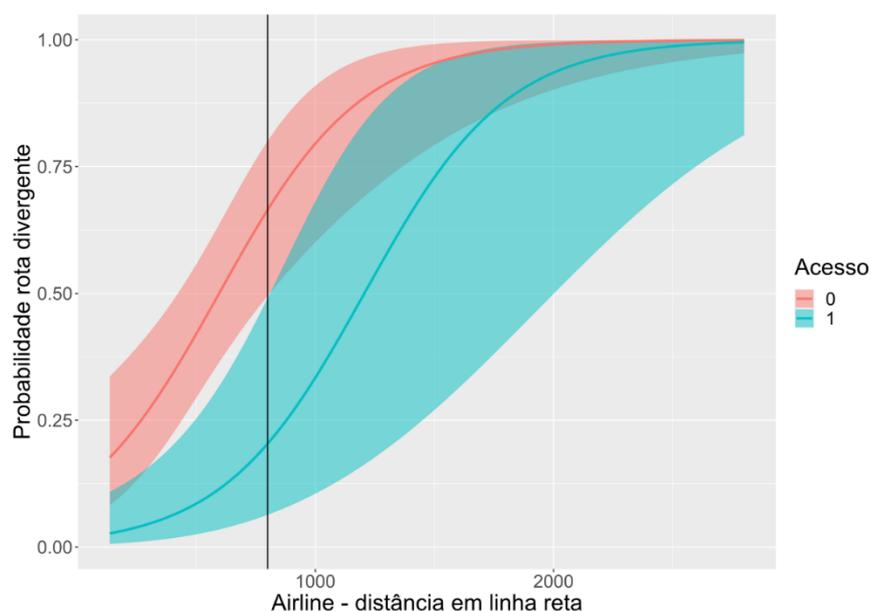
$$\chi^2_{1,95\%} = 3.84$$

- ii. Modelo 2 e Modelo 1: LR= 3.094

$$\chi^2_{1,90\%} = 2.71$$

O valor do teste Razão de Verossimilhança mostra que os modelos 4, 3 e 2 apresentam diferença significativa para 95% de confiança ( $LR < \chi^2$ ) e Modelo 2 e 1 para 90% de confiança. Assim, o Modelo 4, o qual incorpora características do ambiente construído, do indivíduo e da viagem, representa de forma mais adequada o comportamento de escolha frente ao modelo que considera unicamente características do ambiente. Se o entrevistado é caminhante frequente e se a viagem é de acesso a outro modo de transporte, a escolha tende a ser diferente dos demais indivíduos e motivos de viagem.

Adicionalmente, foi proposta uma análise de sensibilidade para avaliar a probabilidade de escolha da rota divergente a partir de variações no comprimento da linha de desejo da viagem. A análise de sensibilidade permitiu avaliar o modelo e prever probabilidades de escolha conforme a variação de um atributo considerado chave: o motivo da viagem a pé, dividido em "acesso ao transporte" ( $Acesso = 1$ ) e todos os demais motivos ( $Acesso = 0$ ). Os valores desta variável foram alterados e os outros atributos mantidos constantes na média, computando as probabilidades de escolha da rota divergente por meio de uma abordagem "inocente" ("naive approach"). A probabilidade de escolher uma rota divergente do caminho mais curto foi de 10,6% quando a caminhada tem como motivo o acesso a transporte e 47,8% quando a caminhada tem outro motivo.



**Figura 4.** Curvas de probabilidades previstas para escolha da rota divergente em função da distância em linha reta entre Origem e Destino

A análise de sensibilidade é apresentada no gráfico da Figura 4, que mostra as curvas de probabilidade de escolha da rota divergente em cada uma das duas categorias de motivo de viagem com seus respectivos intervalos de confiança.

O gráfico mostra que a probabilidade de as viagens de acesso utilizarem rotas divergentes do caminho mínimo só se torna alta a partir de grandes distâncias separando origem e destino, ao contrário das viagens por outros motivos. A linha vertical preta mostra, como exemplo, que uma caminhada com distância em linha reta de 800 metros tem probabilidade abaixo de 25% de ocorrer pela rota alternativa ao caminho mínimo quando viagem de acesso, contra cerca de 60% para os demais motivos.

Os resultados obtidos em todos os modelos foram consistentes com a teoria microeconômica e os pressupostos metodológicos. Distância é um atributo importante, mas não o único, corroborando o conceito de que o esforço de viagem não é o responsável isolado pela utilidade de uma rota em ambientes urbanos complexos.

As variáveis socioeconômicas específicas dos indivíduos não se revelaram importantes, o que mostra certa indistinção de preferências entre os diferentes estratos de idade, gênero, ocupação e educação. No entanto, a variável relativa ao status do caminhante (*Habitual*) foi significativa, refletindo que pessoas que utilizam a caminhada como principal modo de deslocamento tendem a se comportar de maneira diferente das demais, escolhendo suas rotas com maior sensibilidade aos atributos do ambiente e desenvolvendo heurísticas para simplificar as escolhas que se repetem cotidianamente.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Monitorar indivíduos com dispositivos de posicionamento e modelar suas escolhas espaciais com um conjunto simples de variáveis que representa de forma consistente o ambiente da cidade é o que foi desenvolvido neste trabalho, produzindo resultados satisfatórios apesar das limitações técnicas e operacionais como, por exemplo, o pequeno tamanho de amostra. Comparando os atributos das rotas e as escolhas dos pedestres, foi possível estimar a utilidade dos elementos do sistema de circulação e da forma urbana. Os resultados indicam que os pedestres consideram diversos fatores, não se fixando apenas a custos como a distância ou as declividades, como poderia ser inferido a partir de uma analogia com o tráfego motorizado. A configuração do sistema viário, representada pelo tamanho dos trechos e a quantidade de intersecções, juntamente com a hierarquia das vias (seu grau de “pedestrialidade”) parecem ser capazes de influenciar o comportamento dos pedestres.

Trabalhos que pretendem modelar comportamento de viagem incorporando aspectos mais elaborados das características do ambiente devem ser aprimorados e continuados, articulando a área dos transportes com o planejamento urbano. Introduzir mais variáveis objetivas da escala micro – calçadas, arborização, fachadas - bem como aspectos subjetivos e perceptivos como a segurança, conforto, atratividade visual é imperioso, bem como refinar os métodos de medição e representação dos atributos da cidade. A declividade é um fator considerado importante na literatura que também deve ser incorporado.

Também a continuidade da coleta com GPS buscando uma amostragem mais representativa de indivíduos e da distribuição espacial das viagens deve ser uma meta dos estudos futuros, qualificada com questionários que contemplem outras características socioeconômicas e variáveis atitudinais como a familiaridade com o ambiente e percepção de segurança.

Finalmente, devem-se explorar os modelos de escolha discreta em todo o seu potencial, empregando formulações *logit* multinomiais com termos de correção da correlação entre as alternativas, avaliando modelos separados por motivo de viagem ou estratos de indivíduos, bem como outras especificações dos modelos mistos. Este aprofundamento é fundamental para validar a abordagem, aqui apenas enunciada como um exercício de construção metodológica e exploração preliminar de resultados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pelo apoio, ao LASTRAN UFRGS e à Universidade de Washington, nas pessoas do Eng. Mark Hallenbeck e da Arq. Anne Vernez-Moudon, pela acolhida.

## REFERENCES

- Adkins, A.; Dill, J.; Luhr, G.; Neal, M. (2012) Unpacking Walkability: Testing the Influence of Urban Design Features on Perceptions of Walking Environment Attractiveness. *Journal of Urban Design*, v. 17, n. 4, p. 499–510. DOI: 10.1080/13574809.2012.706365.
- Arellana, J.; Saltarín, M.; Larrañaga, A. M.; Alvarez, V.; 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*, v. 40, p. 183-203. DOI: 10.1080/01441647.2019.1703842
- Ben-Akiva M. E.; Ramming M. S.; Bekhor, S. (2004) Route Choice Models. In: Schreckenberg M.; Selten R. (eds.) *Human Behaviour and Traffic Networks*. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Boarnet, M. G. e Crane, R. (2001) *Travel by design: the influence of urban form on travel: the influence of urban form on travel*. Oxford: Oxford University Press.
- Boniardi, L., Dons, E., Campo, L., Van Poppel, M., Int Panis, L., e Fustinoni, S. (2019). Is a Land Use Regression Model Capable of Predicting the Cleanest Route to School? *Environments*, 6(8), 90. DOI: 10.3390/environments6080090
- Campoli, J. (2012). *Made for walking: density and neighbourhood form*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy.
- Cao, X., Mokhtarian, P.L., Handy, S.L.: Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: a focus on empirical findings. *Transport Reviews* 29(3), 359–395 (2009). DOI: 10.1080/014416441640802539195
- Cervero, R. e Kockelman, K. (1997) Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v.2, n.3, p.199-219. DOI: 10.1016/S1361-9209(97)00009-6
- Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L.F., e Neiman, A. (2009) Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá. *Int. J. Sustain. Transp.* 3(4), 203–226 (2009). DOI: 10.1080/15568310802178314.
- Ewing, R.; Cervero, R. (2001) Travel and the built environment: a synthesis. *Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board* 1780 (1), 87–114. DOI: 10.3141/1780-10.
- Ewing, R., Cervero, R. (2010) Travel and the built environment: a meta-analysis. *J. Am. Plan. Assoc.* 76, 265– 294. DOI: 10.1080/01944361003766766.
- Ewing, R.; Dumbaugh, E. (2009) The Built Environment and Traffic Safety A Review of Empirical Evidence. *Journal of Planning Literature*, v. 23, n. 4, p. 347–367. DOI: 10.1177/0885412209335553
- Foltete, J.C. e Piombini, A. (2010). Deviations in pedestrian itineraries in urban areas: a method to assess the role of environmental factors. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v.37, n.4, p.723–739. DOI: 10.1068/b35015
- Frank, L. D.; Sallis, J. F.; Conway, T. L.; Chapman, J. E.; Saelens, B. E.; Bachman, W. (2006) Many pathways from land use to health: associations between neighbourhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *Journal of the American Planning Association*, v.72, n.1, p.75–87. DOI: 10.1080/01944360608976725
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., e Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: Application to the Neighbourhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 924–933. DOI: 10.1136/bjism.2009.058701
- Frank, L. D., Appleyard, B. S., Ulmer, J. M., Chapman, J. E., & Fox, E. H. (2021). Comparing walkability methods: Creation of street smart walk score and efficacy of a code-based 3D walkability index. *Journal of Transport & Health*, 21, 101005. DOI: 10.1016/j.jth.2020.101005
- Golledge, R. G. (1999). *Wayfinding Behavior, Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. Reginald G. Golledge, ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore & London, 1999. 428 p. DOI: 10.1046/j.1468-1331.2000.t01-1-00082.x
- Guo, Z. (2009) Does the pedestrian environment affect the utility of walking? A case of path choice in downtown Boston. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 14, n. 5, p. 343–352. DOI: 10.1016/j.trd.2009.03.007.
- Guo, Z.; Loo, B. P. Y. (2013) Pedestrian environment and route choice: evidence from New York City and Hong Kong. *Journal of Transport Geography*, v. 28, p. 124–136. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2012.11.013.
- Handy, S. L., Cao, X., e Mokhtarian, P. L. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behaviour? Evidence from Northern California. *Transportation Research D*, 10(6), 427–444. DOI: 10.1016/j.trd.2005.05.002
- Hoogendoorn, S. P.; Bovy, P. H. L. (2004) Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 38, n. 2, p. 169–190. DOI: 10.1016/S0191-2615(03)00007-9

- Keyvanfar, A., Ferwati, M. S., Shafaghat, A., e Lamit, H. (2018). A path walkability assessment index model for evaluating and facilitating retail walking using decision-tree-making (DTM) method. *Sustainability* (Switzerland), 10(4), 1–33. DOI: 10.3390/su10041035
- 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
- Larranaga, A.M., Arellana, J., Rizzi, L.I. Strambi, O.; Cybis, H. B. B. (2019) Using best–worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil. *Transportation* 46, 2347–2379. DOI: 10.1007/s11116-018-9944-x
- Larranaga, A. M.; Arellana, J.; Rizzi, L. I.; Strambi, O.; 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*, v. 10, p. 332–342. DOI: 10.1080/15568318.2014.933986
- Lee, C., Moudon, A.V. (2006) Correlates of walking for transportation or recreation purposes. *J. Phys. Act. Health* 3(1), 77–98. DOI: 10.1123/jpah.3.s1.s77
- Lee, S., Lee, C., Nam, J. W., Abbey-Lambertz, M., & Mendoza, J. A. (2020). School walkability index: Application of environmental audit tool and GIS. *Journal of Transport & Health*, 18, 100880. DOI: 10.1016/j.jth.2020.100880
- Lima, A.; Stanojevic, B.; Papagiannaki, D.; Rodriguez, P.; González, M. C. (2016) Understanding individual routing behaviour. *Journal of the Royal Society Interface* v.13, nº 116. DOI: 10.1098/rsif.2016.0021.
- Liu, Y., Yang, D., Timmermans, H. J. P., & de Vries, B. (2020). The impact of the street-scale built environment on pedestrian metro station access/egress route choice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102491. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102491
- Lucchesi, S.; Larranaga, A. M.; Bettella Cybis, H. B.; Abreu e Silva, J. A. de; 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*, v. 86, p. 100976. DOI: 10.1016/j.re-trec.2020.100976
- Lucchesi, S.; Larranaga, A. M.; Ochoa, J. A. A.; Samios, A. A.B.; Cybis, H. B. B. (2020) The role of security and walkability in subjective wellbeing: a multigroup analysis among different age cohorts. *Research in Transportation Business & Management*, 2020. DOI: 10.1016/j.rtbm.2020.100559
- Machado, R.; Nodari, C. T.; Larranaga, A.M. (2017) Fatores associados à ocorrência de acidentes no entorno de pontos de paradas de ônibus. In: *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2017*. XXXI ANPET Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2017. Disponível em: [http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2017/Trafego%20Urbano%20e%20Rodoviario/Seguranca%20Viaria%20II/6\\_240\\_AC.pdf](http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2017/Trafego%20Urbano%20e%20Rodoviario/Seguranca%20Viaria%20II/6_240_AC.pdf)
- Managh, K., & El-Geneidy, A. (2011). Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighbourhood? *Transportation research Part D: Transport and Environment*, 16(4), 309–315. DOI: 10.1016/j.trd.2011.01.009
- McFadden, D. 1974. Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. In *Frontiers in Econometrics*, ed. P. Zarembka, New York: Academic Press, 105 n.42.
- Mor, M., Oehrlein, J., Haunert, J.-H., & Dalyot, S. (2020). Whom to Follow? A Comparison of Walking Routes Computed Based on Social Media Photos from Different Types of Contributors. *AGILE: GIScience Series*, 1, 1–19. DOI: 10.5194/agile-giss-1-16-2020
- Motter, V. ; Larranaga, A.M. ; Cybis, H.B. . Utilização de GPS no desenvolvimento de pesquisas de origem e destino. In: *Anais do XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Belo Horizonte. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2011.
- Moudon, A. V.; Lee, C.; Cheadle, A. D.; Garvin, C., Johnson, D.; Schmidt, T. L.; Lin, L. (2006) Operational definitions of walkable neighbourhood: theoretical and empirical insights. *Journal of Physical Activity e Health*, v.3, s.1, p.S99-S117. DOI: 10.1123/jpah.3.s1.s99
- Open Street Map. Open Street Map. Acessado em 12 de dezembro de 2013 de <https://www.openstreetmap.org>.
- Quercia, D., Schifanella, R., & Aiello, L. M. (2014). The shortest path to happiness: Recommending beautiful, quiet, and happy routes in the city. 116–125. DOI: 10.1145/2631775.2631799
- Ramming, M.S., 2002. Network Knowledge and Route Choice. Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT, Cambridge, MA. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/49797>
- Ribeiro, M. D. ; Larranaga, A.M. ; Arellana, J. ; Cybis, H.B. . Influence of GPS and self-reported data in travel demand models. In: *XVIII Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte e Logística (PANAM)*, 2014, Santander: XVIII Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte e Logística (PANAM), 2014.
- Ribeiro, M. D. ; Larranaga, A.M. ; Cybis, H.B. Erros e incertezas em pesquisas de origem e destino: Explorando o potencial da tecnologia GPS. In: XIII SEPROSUL - Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana, 2013, Gramado-RS. XIII SEPROSUL - Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana, Porto Alegre: FEEng, 2013.
- Ruiz-Padillo, A.; Pasqual, F. M.; Larranaga Uriarte, A. M.; 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*, v. 63, p. 855–871. DOI: 10.1016/j.trd.2018.07.016
- Salazar Miranda, A., Fan, Z., Duarte, F. e Ratti, C. (2021). Desirable streets: Using deviations in pedestrian trajectories to measure the value of the built environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 86, 101563. DOI: 10.1016/j.compen-urbysys.2020.101563.

- Sevtsuk, A., Basu, R., Li, X., e Kalvo, R. (2021). A big data approach to understanding pedestrian route choice preferences: Evidence from San Francisco. *Travel Behaviour and Society*, 25, 41–51. DOI: 10.1016/j.tbs.2021.05.010
- Schlossberg, M.; Weinstein Agrawal, A.; Irvin, K. (2008). How far, by which route and why? A spatial analysis of pedestrian preference. *Journal of urban design*, v. 13, n. 1, p. 81–98. DOI: 10.1080/13574800701804074
- Stopher, P., Kockelman, K., Greaves, S., Clifford, E. (2008), Reducing Burden and Sample Size in Multi-day Household travel survey. Transportation Research Board Annual Meeting 2008, Washington DC. DOI: 10.3141/2064-03
- Taleai, M., & Yameqani, A. S. (2018). Integration of GIS, remote sensing and multi-criteria evaluation tools in the search for healthy walking paths. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 279–291. DOI: 10.1007/s12205-017-2538-x
- Tian, G., Ewing, E. (2017) A walk trip generation model for Portland, OR. *Transportation Research Part D - Transport and Environment*, 1361–9209. DOI: 10.1016/j.trd.2017.03.017
- Tribby, C.P., Miller, H.J., Brown, B.B., Werner, C.M., Smith, K.R. (2016) Assessing built environment walkability using activity-space summary measures. *J. Transp. Land Use* 9(1), 187–207. DOI: 10.5198/jtlu.2015.625
- Torres, T. B.; Machado, R.; Larranaga, A.M. e Nodari, C. T. (2019) Contributing factors of built environment on severity of crashes involving motorcycles. In: Transportation Research Board Annual Meeting 2019, 2019, Washington D.C.. TRB 2019 Annual Meeting Proceedings, 2019.
- Torres, T. B.; Larranaga, A.M.; Demore, C. P. e Nodari, C. T. (2017) Prevalência de fatores associados à severidade dos acidentes em entorno de escolas. *TRANSPORTES (RIO DE JANEIRO)*, v. 25, p. 102, 2017. DOI: 10.14295/transportes.v25i3.1331.
- Train, K. (2009) *Discrete choice methods with simulation*. 2ed. New York: Cambridge University Press.
- Wasfi, R. A., Dasgupta, K., Orpana, H., e Ross, N. A. (2016). Neighbourhood Walkability and Body Mass Index Trajectories: Longitudinal Study of Canadians. *American Journal of Public Health*, 106(5), 934–940. DOI: 10.2105/AJPH.2016.303096