

# Procedimentos para estimativa de distâncias de viagens intrazonais por bicicleta

Conrado Vidotte Plaza<sup>1</sup>, e Antônio Nelson Rodrigues da Silva<sup>2</sup>

**Resumo:** Este estudo teve como objetivo o desenvolvimento de procedimentos para estimar distâncias de viagens intrazonais por bicicleta com base em dados de pesquisas origem-destino (O/D). A análise partiu da identificação de características geométricas das zonas de análise de tráfego (TAZ) que podem influenciar as distâncias das viagens intrazonais. Em seguida, indicadores numéricos dos padrões geométricos selecionados foram comparados com os valores médios das distâncias intrazonais, a fim de procurar por evidências de correlações entre estas variáveis. Os casos com maiores correlações serviram de base para a construção de modelos destinados a estimar distâncias intrazonais. Os valores obtidos com estes modelos foram então comparados com as estimativas de um modelo encontrado na literatura. O melhor modelo aqui obtido superou claramente o modelo tradicional. Isto sugere que ele pode ser uma alternativa para substituir o modelo tradicional para estimar distâncias médias de viagens intrazonais, pelo menos no caso de viagens de bicicleta. DOI:10.4237/transportes.v21i3.706.

*Palavras-chave:* distâncias de viagens intrazonais, viagens intrazonais por bicicleta, viagens de bicicleta.

**Abstract:** This study aimed at the development of procedures for estimating intrazonal travel distances by bicycle based on data of origin-destination (O/D) surveys. The analysis began with the identification of geometrical characteristics of traffic analysis zones (TAZ) that can influence the distances of intrazonal trips. Next, numerical indicators of the selected geometrical patterns were compared with the average values of intrazonal trip distances in order to look for evidences of correlations between these variables. The data sets with higher correlation were used to build models for estimating intrazonal travel distances. The values obtained with these models were then compared with the estimations of a model found in the literature. The best model found in this study clearly outperformed the traditional model. This may be an indication that it can be an alternative to replace the traditional model for estimating average intrazonal travel distances, at least in the case of bicycle trips.

*Keywords:* intrazonal travel distance, intrazonal bicycle trips, bicycle trips.

## 1. INTRODUÇÃO

Informações que caracterizam os deslocamentos em uma cidade, como a estimativa da distância média de viagens, são importantes para o planejamento do sistema de transporte urbano e, conseqüentemente, para o desenvolvimento urbano e de uma sociedade sustentável. O processo de planejamento urbano e dos transportes em geral tem início com a análise da situação atual, tornando possível reconhecer e diagnosticar possíveis deficiências. A busca por informações que auxiliam neste processo muitas vezes envolve dados de difícil acesso, imprecisos ou até mesmo inexistentes. A distância média de deslocamentos, por exemplo, depende, além de outros fatores, do tipo de rede viária e da distribuição das viagens. Assim, é possível considerá-la como sendo uma variável que sofre influências de características do entorno, do usuário e da própria viagem. Dentre estas características é possível citar a renda do usuário, a disponibilidade do modo de transporte a ser utilizado, o motivo da viagem, uso e ocupação do solo, tipo de relevo presente na rota e condições meteorológicas.

Na literatura de planejamento de transportes, diversos procedimentos permitem estimar as distâncias entre zonas de análise. No caso das viagens intrazonais, no entanto, isto não acontece da mesma forma. Os poucos métodos existen-

tes são antigos ou envolvem estudos empíricos que não se referem à realidade das cidades brasileiras. Além disso, raramente se dedicam a um modo de transporte específico. Assim, este trabalho tem por objetivo desenvolver procedimentos para estimativa das distâncias de viagens intrazonais por bicicleta, com base em informações obtidas em uma pesquisa origem-destino.

Por meio do procedimento proposto, espera-se que as possíveis dificuldades encontradas para a estimativa das distâncias médias intrazonais sejam reduzidas. A facilidade de uso do método está associada ao fato dele considerar variáveis que envolvem dados de fácil aquisição. Além de propor um método potencialmente aplicável a diferentes modos de transporte, outra justificativa para o estudo está no fato de que o mesmo produz resultados imediatos para o caso das viagens intrazonais por bicicleta.

O artigo está estruturado da seguinte forma. A seção 2 apresenta uma breve discussão teórica sobre deslocamentos intrazonais e, ainda, sobre modelos de estimativa da distância média de viagens presentes na literatura, especialmente os que se aplicam a viagens intrazonais. A seção 3 descreve o desenvolvimento e aplicação da metodologia utilizada para a obtenção dos dados para análise. A análise e discussão dos resultados, apresentados na seção 4, conduzem às conclusões destacadas na seção que precede as referências bibliográficas.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Informações que caracterizam os deslocamentos em uma cidade, como Pesquisas Origem e Destino (O/D), demanda por transportes e as estimativas de distâncias médias de viagens, são essenciais para o planejamento do sistema de

<sup>1</sup> Conrado Vidotte Plaza, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. (e-mail: conrado.plaza@usp.br)

<sup>2</sup> Antônio Nelson Rodrigues da Silva, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. (e-mail: anelson@sc.usp.br)

transporte urbano. Porém, estas informações são aproximadas ou nem sempre estão disponíveis. Kordi *et al.* (2012), por exemplo, ressaltam o risco de uma aproximação grosseira de informações sobre viagens interzonais quando utilizado o método centroide-a-centroide. Ao considerar apenas os centroides das zonas de origem e destino, o método pode resultar em uma má estimativa, especialmente quando a população não está concentrada em torno do centroide da zona e quando desconsiderados os deslocamentos internos à zona. As viagens intrazonais causam, ainda, consideráveis efeitos na região de atuação ou até mesmo na cidade como um todo, o que reforça a ideia de que não devem ser ignoradas. Alguns exemplos são os impactos no meio ambiente (poluição sonora e atmosférica), consequências na mobilidade urbana e, inclusive, no deslocamento de bens e informações para o desenvolvimento da região. Além disto, fluxos intrazonais são muitas vezes ignorados na calibração de modelos, o que pode introduzir um viés na estimativa de parâmetros.

Duas considerações importantes com relação à modelagem de escolha modal para viagens intrazonais são apresentadas por Bhatta e Larsen (2011). A primeira consiste no fato de que geralmente este tipo de deslocamento possui menor extensão, o que faz com que sejam realizados por modos de transporte não-motorizados (a pé e bicicleta). A segunda é que nem sempre são consideradas na estimação de modelos de escolha modal, uma vez que não podem ser calculadas como ligações entre centroides de zonas. Porém, estas não devem ser excluídas por apresentarem impacto no resultado final dos modelos. Os autores destacam, ainda, que no caso destes tipos de deslocamentos, os viajantes não estão preocupados com o fato de estarem mudando de zona, mas sim com o tempo, distância, custo e conforto da viagem.

A fim de investigar o efeito relativo da influência de diferentes fatores sobre os deslocamentos intrazonais, foram consultados alguns trabalhos que apresentavam, em seu conteúdo, assuntos relacionados à forma urbana e comportamento de viagens (Amancio, 2005; Costa, 2001; Costa, 2003; Daganzo, 1984; Khan e Kockelman, 2012). Embora sejam encontradas inúmeras referências sobre este tema, ainda são necessárias outras evidências capazes de provar a relação entre as paisagens urbanas e as viagens por modos não-motorizados (a pé e bicicleta). Cervero e Duncan (2003) e Cervero *et al.* (2009) apresentam análises detalhadas sobre possíveis ligações entre elementos presentes no ambiente urbano e as viagens realizadas por modos não-motorizados com base em informações coletadas nas cidades de San Francisco (Estados Unidos) e Bogotá (Colômbia), respectivamente. Estes trabalhos sugerem, por exemplo, que escolhas por modos não-motorizados sofrem maior influência de fatores voltados a configuração, conectividade e densidade do sistema viário do que de outros, como densidade e uso misto do solo.

Até onde foi possível constatar, a literatura ainda não apresenta um modelo definitivo para estimativa da distância média em deslocamentos intrazonais. Geralmente, seu desenvolvimento ocorre com base empírica, a partir de resultados obtidos com a aplicação de um conjunto de problemas de algoritmos heurísticos. Em outras palavras, estes modelos não apresentam limite formal de qualidade, utilizando informação e intuição na solução, o que resulta em aproximações grosseiras direcionadas mais para questões analíti-

cas do que práticas. Além disto, estes modelos não abordam diretamente as possíveis interferências geradas pela geometria das regiões, pela distribuição da população e por presença de obstáculos, como barreiras físicas. Foram, então, levantados na literatura alguns modelos e métodos elaborados para viagens intrazonais.

No modelo desenvolvido por Smeed (1967), o cálculo que possibilita a estimativa da distância média de deslocamentos na região central da cidade estudada assume que as viagens são feitas através do menor caminho possível. O desenvolvimento deste método baseou-se em sistemas viários imaginários e reais (neste caso, presentes na Inglaterra). Batty (1976) sugere alguns modelos para este tipo de cálculo, sendo seu modelo mais simples baseado na suposição de que a zona de tráfego é aproximadamente circular e a população é espalhada uniformemente a uma densidade constante. Já Fotheringham (1988) estima a distância média de deslocamentos intrazonais assimilando a área da zona de estudo a uma área circular. Kordi *et al.* (2012) propõem duas metodologias: estimativa de distâncias intrazonais espalhadas de forma homogênea e modelo de dispersão com base na densidade ativa. Nestas duas metodologias as distâncias entre os pares origem-destino são estimadas com auxílio de uma grade de referência (distância Euclidiana). Tendo em vista as características dos estudos relatados na literatura e a ausência de modelos específicos para a realidade das cidades brasileiras, este estudo se propõe a investigar o caso particular das viagens intrazonais por bicicleta em uma cidade média brasileira.

### 3. METODOLOGIA

Com o objetivo de elaborar procedimentos para estimativa da distância média de deslocamentos intrazonais realizados por bicicleta em áreas urbanas, este estudo aborda fatores que podem influenciar estes deslocamentos. A análise da influência destes fatores envolve as seguintes etapas: *i*) identificação das variáveis a serem consideradas e coleta de dados para o seu cálculo; *ii*) criação de cenários e cálculo dos valores dos fatores; *iii*) definição de estratégias de análise dos dados; e *iv*) calibração e validação dos modelos propostos.

#### 3.1. Dados necessários

Os fatores que influenciam nas distâncias de deslocamento podem envolver dados relacionados às características da infraestrutura viária e à forma e ocupação urbana, tais como: forma geométrica da cidade e de suas zonas internas, distribuição dos usos do solo e o desenho do sistema viário. Com base na literatura, os seguintes fatores foram selecionados para o desenvolvimento desta investigação:

- Fator Forma (FF) e Fator Forma Circular (FFu), tal como proposto por Costa (2001) e Costa (2003);
- Relação entre a área de cada fração estudada e a área do menor círculo que a envolve ( $A_{\text{fra}}/A_{\text{circ}}$ );
- Relação entre a área de cada fração estudada e a área do menor retângulo que a envolve ( $A_{\text{fra}}/A_{\text{ret}}$ );
- Relação entre a largura (maior dimensão na direção Leste-Oeste) e altura (maior dimensão na direção Norte-Sul) para cada área estudada ( $L/A$ );
- Densidade de intersecções viárias (número de nós da rede viária por  $\text{km}^2$ ); e

**Tabela 1.** Dados necessários para o desenvolvimento de um estudo que permita avaliar a influência de fatores selecionados nas distâncias de viagens intrazonais

Dados	Sigla	Unidade	Definição
Área da fração	Área_Fra	km <sup>2</sup>	Área total da fração de terra referente à zona de tráfego
Perímetro da fração	Perím_Fra	km	Medida do contorno, ou fronteira, da fração referente à zona de tráfego, obtida através do SIG
Diâmetro do menor círculo envolvente	Diâmetro	km	Diâmetro do menor círculo que circunscreve a fração em análise
Área do menor círculo envolvente	Area_circ	km <sup>2</sup>	Área do menor círculo que circunscreve a fração em análise, dada pela equação $A = \pi * D^2 / 4$
Largura da fração	L	km	Maior dimensão na direção Leste-Oeste (L-O)
Altura da fração	A	km	Maior dimensão na direção Norte-Sul (N-S)
Área do menor retângulo envolvente	Area_ret	km <sup>2</sup>	Área do menor retângulo que envolve a fração em análise, obtida pela multiplicação entre a largura e a altura da porção, como definido acima
Número de viagens	Viagens	Número	Quantidade de viagens realizadas na porção de área em estudo
Distância percorrida em cada viagem	Distância percorrida	km	Quilometragem percorrida em cada deslocamento
Interseções viárias	Nós	Número	Número de <i>endpoints</i> (interseções ou pontos finais dos segmentos) na malha viária da área de estudo
Extensão viária	Extensão	km	Extensão linear viária presente na fração em análise

- Densidade viária (extensão linear da rede viária por km<sup>2</sup>).

Os dados necessários para o cálculo destes fatores estão listados na Tabela 1. A coleta destes dados consiste na identificação e registro das informações a partir da análise de cenários, como será descrito a seguir. As bases de dados utilizadas, georreferenciadas com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), devem conter os seguintes elementos:

- Rede viária da cidade estudada;
- Informações exatas das origens e dos destinos de viagens (coletadas, por exemplo, através de pesquisa Origem-Destino domiciliar) na cidade analisada; e
- Divisão da cidade estudada em zonas homogêneas (tal como as Zonas de Tráfego, ou Setores Censitários, por exemplo).

### 3.2. Cenários de avaliação

Esta etapa prevê a criação de cenários que buscam simular diferentes dimensões das zonas de análise encontradas em espaços urbanos. Os cenários são constituídos por frações de área que servirão de base para coleta dos dados necessários para as próximas etapas. Assim, quanto maior o número de cenários elaborados, melhor tende a ser o ajuste do modelo. Para o desenvolvimento deste estudo, o processo escolhido para obtenção dos cenários tem início com a formação de uma grande área que ocupa todas as zonas da cidade estudada. As etapas seguintes consistem em fracionar progressivamente estas áreas maiores até que, no final do processo de subdivisões, as frações correspondam exatamente às zonas consideradas como referência (Zonas de Tráfego obtidas *a priori*, por exemplo). Este processo resulta na obtenção de diferentes dimensões de zonas para composição de cenários. A divisão pode ser orientada com base na expansão da mancha urbana ao longo do tempo e na presença de barreiras físicas. Cada nova fração de área obtida é considerada no cálculo dos fatores que podem apresentar relação com a distância média de viagem (conforme a Tabela 1). Para cada cenário estudado, é feita ainda uma estimativa da distância média percorrida, através da Equação 1. Sua com-

paração com os fatores anteriormente calculados permite investigar a existência de padrões ou tendências que relacionem os valores obtidos às distâncias médias percorridas nas frações consideradas.

$$\bar{D} = \frac{\sum D}{n} \quad (1)$$

em que  $\bar{D}$  é a distância média percorrida em cada fração,  $D$  a distância percorrida em cada viagem realizada na fração considerada e  $n$  o número de viagens contabilizadas na somatória.

### 3.3. Estratégias de análise dos dados

Uma primeira estratégia de análise pode envolver simplesmente uma avaliação visual dos fatores investigados, quando confrontados, um a um, com as distâncias médias, através de gráficos de dispersão. Desta forma, é possível, em alguns casos, observar tendências na distribuição dos pontos nos gráficos. A sua representação através da chamada Linha de Tendência busca retratar o ajuste que melhor descreve o comportamento de todos os pares de pontos, por exemplo, através de funções matemáticas (linear, exponencial, potência, etc.). Em síntese, a análise pode se dar em pelo menos dois níveis: a partir da avaliação de tendências (visual ou numérica, através do coeficiente de correlação  $R$ , por exemplo) ou a partir do ajuste de modelos capazes de auxiliar na estimativa do valor da distância média percorrida em viagens intrazonais. Neste último caso, a qualidade do ajuste do modelo pode ser avaliada através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### 3.4. Calibração e validação de modelos

A comparação dos resultados estimados pelos modelos com as distâncias de viagens calculadas diretamente a partir das informações da pesquisa Origem-Destino possibilita avaliar os eventuais desvios das estimativas na fase de calibração dos modelos. Quanto menores estes desvios, melhor será o modelo para fins de planejamento de transportes. É evidente que os modelos calibrados ainda necessitam passar por um processo de validação, o que não foi aqui realizado através

da sua aplicação a conjuntos de dados diferentes daqueles usados na calibração e nem mesmo por validação cruzada (em virtude do número relativamente pequeno de dados). No entanto, os erros de estimativa podem também ser comparados com os erros de outros modelos, já existentes, que tenham sido elaborados com base em abordagem similar. Este procedimento foi aqui realizado, com o modelo proposto por Smeed (1967), o qual correlaciona a variável distância média percorrida com a área das zonas em que elas ocorrem.

O modelo desenvolvido por Smeed (1967) assume inicialmente que os pontos de origem são igualmente distribuídos ao longo das principais ligações que conectam a fronteira da área à sua parte central. Assume ainda que seus destinos são uniformemente distribuídos ao longo das laterais das ruas da área central ou uniformemente distribuídos dentro da área. O cálculo que possibilita a estimativa da distância média de deslocamentos nas ruas da região central da cidade estudada assume que as viagens são feitas através do menor caminho possível. Este método foi aplicado para sistemas viários imaginários e reais (neste caso, na Inglaterra). A aproximação obtida ao estudar os efeitos do sistema viário e da roteirização na distância média de viagens em regiões onde a malha viária é retangular é representada pela equação (2).

$$\bar{D} = 0,81 \cdot A^{1/2} \quad (2)$$

em que  $\bar{D}$  é a distância média de viagem, assumindo-se viagens com pontos de origem na periferia e pontos de destino aleatoriamente distribuídos na área de estudo, e  $A$  a área que representa a região estudada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A investigação aqui apresentada se baseou no caso da cidade de São Carlos, localizada no estado de São Paulo. Por este motivo, esta seção tem início com uma breve apresentação da mesma. Em seguida, é apresentada uma síntese do processo empregado na criação de cenários nesta cidade para os fins deste estudo. Os cenários constituem a base para a

geração dos dados necessários para as análises propostas, cujos resultados são discutidos na sequência.

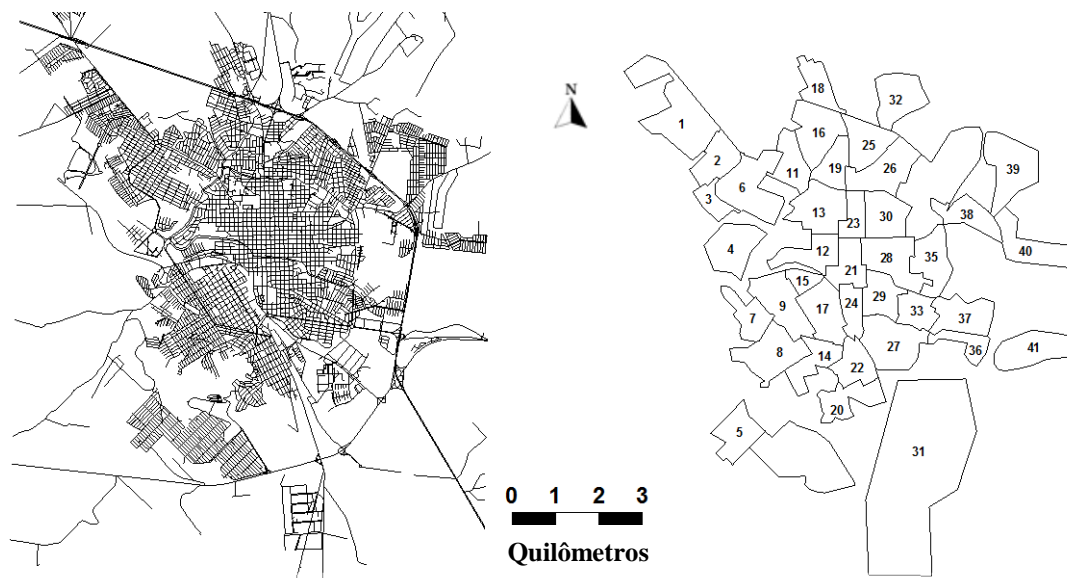
##### 4.1. Características gerais da cidade estudada

Localizada no interior do estado de São Paulo, a cidade de São Carlos possui aproximadamente 222 mil habitantes (IBGE, 2010) e é conhecida como importante polo científico e tecnológico do Brasil por abrigar importantes centros de ensino e pesquisa, além de inúmeras empresas de alta tecnologia. Devido à falta de planejamento e incentivos durante seu rápido crescimento, a cidade apresenta hoje uma grande pressão por falta de infraestrutura, principalmente quando diz respeito aos transportes e aos modos não-motorizados. No final de 2007 e início de 2008, foi realizada Pesquisa Origem e Destino com o objetivo de avaliar as condições de mobilidade na cidade. Esta pesquisa foi uma iniciativa do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com apoio do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos e da Prefeitura Municipal de São Carlos (ver Rodrigues da Silva, 2008). Apesar de a pesquisa ter sido realizada em quase quatro mil domicílios, somente foi possível utilizar 340 viagens por bicicleta neste estudo. Para estas viagens, foram caracterizadas, em um Sistema de Informações Geográficas, a origem, o destino e a rota percorrida entre os dois.

São Carlos apresenta malha viária predominantemente retangular na área urbana, que foi subdividida em 41 zonas de tráfego, como ilustrado na Figura 1. Além disso, a cidade está inserida em uma região com topografia acidentada, com alguns trechos de vias íngremes, o que influencia o comportamento dos deslocamentos e na tomada de decisões, principalmente quando realizadas por modos não-motorizados (a pé e bicicleta).

##### 4.2. Criação de cenários

A divisão em zonas que serviu de base para esta etapa foi um conjunto de Zonas de Tráfego já empregado pela Prefeitura Municipal de São Carlos há pelo menos uma década (Figura 1). No processo de criação de cenários, todas as zonas de tráfego da cidade foram agrupadas em uma única



**Figura 1.** Sistema viário da cidade de São Carlos - SP e divisão em zonas de tráfego empregada pela prefeitura municipal na última década, que corresponde à divisão 41 da Tabela 2

**Tabela 2.** Orientação para o processo de divisão das áreas para análise

<i>Divisão</i>	<i>Condição</i>
1	Cidade toda como uma área
2	Loteamentos: até 1940
3, 4	Av. São Carlos (Primeiro eixo viário - 1856)
5, 6	Barreira física: Ferrovia (1890)
7, 8, 9	Barreira física: Córrego do Gregório
10	Barreira física: Av. Miguel Petroni
11	Barreira física: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
12, 13	Barreira física: Rodovia Washington Luís
14, 15	Loteamentos: 1941 à 1950
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23	Loteamentos: 1951 à 1955
24, 25	Loteamentos: 1956 à 1960
26	Barreira física: Rua da Imprensa / Capitão Luiz Brandão
27	Barreira física: Av. Bruno Ruggiero Filho
28, 29, 30	Loteamentos: 1961 à 1965
31	Loteamentos: 1966 à 1970
32, 33, 34	Loteamentos: 1971 à 1975
35, 36, 37	Loteamentos: 1976 à 1980
38	Loteamentos: 1981 à 1985
39	Barreira física: Shopping Iguatemi (1997)
40, 41	Loteamentos: posteriores a 2000

área abrangendo todos os deslocamentos realizados, formando, assim, o primeiro cenário para estudo. A partir de então, foram feitas divisões progressivas até serem obtidas as quarenta e uma zonas de tráfego existentes (já mostradas na Figura 1). O processo de divisão foi orientado pela evolução cronológica da rede viária e da implantação de loteamentos e pela presença de barreiras físicas, tal como indicado na Tabela 2. A análise dos 41 cenários forneceu 81 frações de áreas com diferentes informações e comportamento de deslocamentos para análise.

As 81 frações obtidas na análise dos cenários foram organizadas em dois grupos. O primeiro grupo, denominado ZSV (ou Zonas Sem Viagens), é composto por 45 frações que possuem uma ou nenhuma viagem intrazonal por bicicleta, segundo os dados da pesquisa Origem-Destino. Já o segundo grupo, denominado ZCV (ou Zonas Com Viagens), acolhe as 36 frações restantes que possuíam duas ou mais viagens intrazonais realizadas pelo meio de transporte bicicleta. A exclusão de zonas com uma ou nenhuma viagem por bicicleta para aplicação do modelo se justifica porque o foco é a análise das zonas com viagens. Neste caso, o objetivo não é investigar as razões pelas quais as pessoas fazem ou não uso do transporte não-motorizado.

### 4.3. Análise dos dados

A análise dos dados se restringiu ao Grupo ZCV, em duas etapas: análise geral e análise complementar. No primeiro caso, todos os dados presentes no ZCV (ou seja, as frações que possuíam viagens), foram considerados em um único conjunto para análise e posterior ajuste de modelos. Já no segundo processo, foi elaborado um critério de filtragem dos dados para posterior análise e obtenção de um modelo.

#### 4.3.1. Análise geral

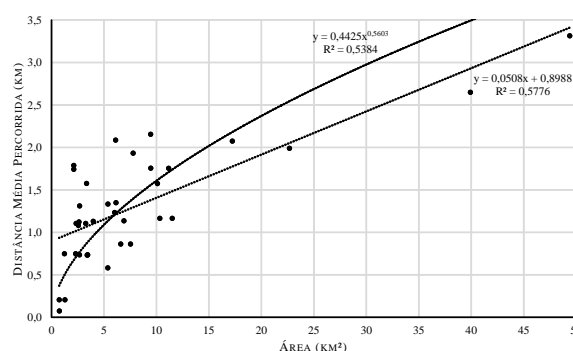
A primeira associação efetuada para análise buscou padrões de tendência da distância média de viagens com a área da fração. Em uma análise preliminar, com auxílio de uma planilha eletrônica, as informações foram projetadas em gráficos de dispersão (Figura 2). Posteriormente, foi ajustado

aos pontos um modelo linear (representado pela equação 3), que resultou em um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,5776. Outro modelo obtido foi o da Equação (4), com valor de 0,5384 para o  $R^2$ , ligeiramente inferior ao valor obtido para a aproximação linear.

$$\bar{D} = 0,0508 \cdot A + 0,8988 \quad (3)$$

$$\bar{D} = 0,4425 \cdot A^{0,5603} \quad (4)$$

em que  $\bar{D}$  é a distância média percorrida (km) e  $A$  a área da fração ( $\text{km}^2$ ).



**Figura 2.** Ajuste de funções aos dados de "ÁREA x DISTÂNCIA MÉDIA"

Quase todas as demais variáveis estudadas (fator forma, fator forma circular, relação  $A_{\text{fra}}/A_{\text{circ}}$ , relação  $A_{\text{fra}}/A_{\text{ret}}$ , relação  $L/A$ , densidade de conexões, densidade de viária) não apresentaram correlação direta com a variável distância média, resultando em gráficos com pontos dispersos e sem orientações de tendências. A exceção (além da variável área, já discutida) foi a variável perímetro, que apresentou, no entanto, baixo coeficiente de correlação (0,4521) em relação à distância média.

### 4.3.2. Análise complementar

Sabendo que a dimensão da área exerce influência no comportamento das viagens de bicicleta em seu interior, esta etapa buscou avaliar diferentes modelos de comportamento para intervalos de área. Para isto, o Grupo ZCV foi submetido a novas análises com o objetivo de encontrar patamares que marcam a transição de comportamento com base nos valores de área das frações. Foi considerado um patamar de transição, que define um comportamento para áreas limitadas a 10 km<sup>2</sup> e outro para áreas superiores a este limite, como ilustrado na Figura 3. O resultado desta análise é apresentado na Tabela 3. A análise dos resultados até aqui obtidos parece indicar uma possível relação entre as variáveis distância média e área da fração, tal como sugerido na literatura. Resta avaliar, no entanto, se os modelos agora propostos apresentam desempenho aceitável em comparação com os existentes.

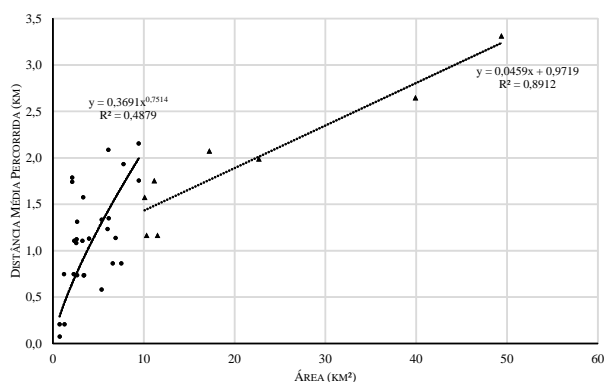


Figura 3. Ajuste de funções aos dados de "ÁREA x DISTÂNCIA MÉDIA"

Tabela 3. Resultados da análise complementar do grupo ZCV, onde  $\bar{D}$  é a distância média percorrida (km) e A é a área da fração (km<sup>2</sup>)

Área	Ajuste	R <sup>2</sup>
Inferior a 10 km <sup>2</sup>	$\bar{D} = 0,3691 \cdot A^{0,7514}$	0,4879
Superior a 10 km <sup>2</sup>	$\bar{D} = 0,0459 \cdot A + 0,9719$	0,8912

### 4.4. Calibração e validação de modelos

Nesta última etapa, foram verificados os erros de estimativa dos modelos desenvolvidos neste trabalho obtidos através da análise geral e da análise seletiva do grupo ZCV. Posteriormente, os erros foram comparados com os erros gerados através do modelo proposto por Smeed (1967). Neste caso, embora o modelo anterior se utilize de outra abordagem para o cálculo, as propostas e estruturas dos dois modelos são similares, ou seja, é examinada a correlação entre a variável distância média percorrida e a área em que ela ocorre. Inicialmente, foram calculados os resíduos da distância média de viagem para cada área através da diferença entre o valor calculado pelo modelo e o valor levantado na pesquisa origem-destino. O resultado deste cálculo possibilitou duas análises: uma através do cálculo do desvio padrão e do erro médio absoluto (Tabela 4), e outra através da avaliação visual dos erros de estimação (Figura 4). Estes erros se caracterizam pela distância dos pontos dos gráficos às retas de 45° neles representadas.

Através da análise visual de dispersão dos erros de estimação, bem como dos resultados apresentados na Tabela 4, foi possível observar que o modelo Geral Linear apresentou melhor ajuste para a estimativa da distância média de deslocamentos. Este modelo foi o que apresentou menor desvio padrão dos resíduos e menor erro absoluto médio, além de possuir um valor intermediário para o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). No caso do modelo Combinado, foi encontrado um alto valor para o coeficiente de determinação no caso de áreas superiores a 10 km<sup>2</sup>. Porém, para áreas inferiores a 10 km<sup>2</sup>, o ajuste deste modelo apresentou valores inferiores quando comparados ao modelo Geral Linear. Vale ainda destacar que os três modelos aqui analisados (Geral Linear, Geral Potência e Combinado) apresentaram ajustes melhores quando comparados ao modelo proposto por Smeed (1967), conforme a Tabela 4.

### 5. CONCLUSÕES

Neste estudo foram desenvolvidos procedimentos para estimativa das distâncias de viagens intrazonais por bicicleta

Tabela 4. Comparação entre os modelos

Modelo		Equação da Distância Média Percorrida	R <sup>2</sup>	Desvio Padrão dos Resíduos	Erro Absoluto Médio
Existente	Smeed (1967)	$0,81 \cdot A^{1/2}$	-	0,687	0,7931
	Linear	$0,0508 \cdot A + 0,8988$	0,5776	0,437	0,3515
Geral	Potência	$0,4425 \cdot A^{0,5603}$	0,5384	0,474	0,3822
	Área inferior a 10 km <sup>2</sup>	$0,3691 \cdot A^{0,7514}$	0,4879	0,430	0,3326
Área superior a 10 km <sup>2</sup>	$0,0459 \cdot A + 0,9719$	0,8912			

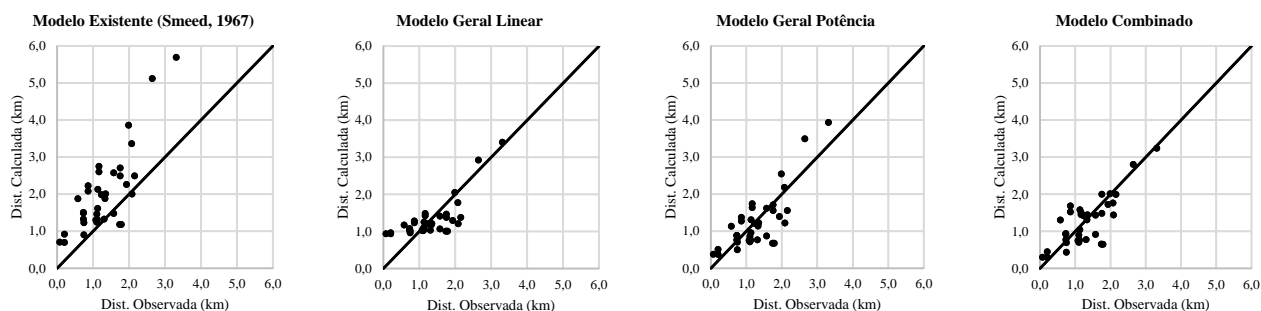


Figura 4. Análise dos erros de estimação

a partir de informações usualmente obtidas em pesquisas origem-destino (O/D). As análises conduzidas se basearam nos dados de pesquisa O/D realizada na cidade de São Carlos, em 2007/2008 (Rodrigues da Silva, 2008). A metodologia de análise consistiu na busca por padrões geométricos das zonas de tráfego que podem exercer influência no comportamento das viagens intrazonais. Uma vez caracterizados os padrões geométricos, procurou-se identificar aqueles que apresentam correlação de moderada a forte com as distâncias de viagem por bicicleta. Em seguida, os padrões geométricos com maior correlação foram considerados como variáveis na construção de modelos e comparados com um modelo existente, como discutido a seguir.

Do ponto de vista da divisão das zonas para análise, o processo adotado permitiu identificar alguns possíveis problemas. Já nas primeiras divisões, foram obtidas áreas superiores a 10 km<sup>2</sup>, o que dificilmente acontece na realidade do planejamento de transporte para zonas de análise de tráfego. Estas áreas podem exercer, durante as análises de regressão, o chamado “efeito alavanca”. Este efeito pode gerar erros durante a estimativa de pontos inferiores a esta dimensão. Além disso, foram observadas áreas com geometria irregular e que, em alguns casos, englobavam consideráveis áreas de vazios urbanos, o que não foi descartado para a elaboração do modelo.

Não foi observada correlação entre a distância média percorrida e os seguintes parâmetros geométricos: fator forma, fator forma circular, relação entre a área da fração e a área do menor círculo envolvente, relação entre a área da fração e a área do menor retângulo envolvente, relação entre largura e altura da cidade, densidade de interseções viárias e densidade viária. Por outro lado, a análise dos resultados sugeriu uma correlação razoável apenas entre a distância média e a área das frações estudadas (que seriam o equivalente a zonas de tráfego). Uma análise mais atenta dos valores obtidos neste caso indicou, no entanto, padrões de comportamento diferenciados em intervalos de área que podem estar associados ao comportamento dos usuários de bicicleta. A partir desta constatação, os resultados passaram a ser analisados separadamente e, em seguida, ajustado um modelo, por meio de regressão, para diferentes subconjuntos dos dados.

O modelo desenvolvido por regressão linear com base na análise geral do grupo ZCV apresentou melhor ajuste aos dados considerados, melhor inclusive do que o modelo proposto por Smeed (1967), tal como evidenciado na Tabela 4. Desta forma, foi então possível sugerir um modelo para estimar distâncias médias intrazonais por bicicleta, conforme definido pela Equação (5).

$$\bar{D} = 0,0508 \cdot A + 0,8988 \quad (5)$$

em que  $A$  é a área da fração (km<sup>2</sup>) e  $\bar{D}$  a distância média percorrida (km).

O modelo representado pela Equação 5, no entanto, apresenta uma desvantagem, que é o fato de que nunca resultará em distâncias menores do que cerca de 900 metros, mesmo para um valor de área igual a zero. Neste aspecto, o Modelo Combinado não apresenta o mesmo problema. Vale ressaltar que os modelos calibrados ainda necessitam passar por um processo de validação, o que não foi aqui realizado, através da sua aplicação a conjuntos de dados diferentes daqueles usados na calibração. Deve também ser destacado

neste caso que a cidade de São Carlos, onde foi realizada a pesquisa O/D aqui analisada, está localizada em uma região com relevo acidentado. Por esta razão, ciclistas tendem a buscar rotas alternativas com trechos planos, frequentemente mais longas, o que pode afetar os valores estimados pelo modelo proposto. A cidade em estudo não possui extensão significativa de vias exclusivas para bicicletas. Os trechos existentes são curtos, desconectados e, nos cenários com mais zonas de tráfego, localizados na fronteira entre estas zonas. Desta forma, não chegam a interferir nas análises aqui desenvolvidas, uma vez que o objetivo é avaliar apenas os deslocamentos intrazonais.

Cabe ressaltar ainda que a forma de definição das zonas de tráfego é importante para estudos como este. Torna-se mais difícil interpretar o modelo proposto se nenhuma característica das zonas analisadas e dos tipos de viagens é considerada, além de características geométricas. O estudo ganharia ainda novos contornos com uma discussão sobre o tipo de rede viária da área em estudo, a população e a infraestrutura disponível para viagens não-motorizadas. Todos estes aperfeiçoamentos do presente estudo ficam, no entanto, como sugestão para trabalhos futuros.

Estas considerações, no entanto, não impedem o uso do modelo como ferramenta auxiliar no processo de planejamento de transportes. Por seu intermédio espera-se reduzir as dificuldades encontradas para a estimativa das distâncias médias de deslocamentos intrazonais, pelo menos no caso das viagens por bicicleta. Além disso, o procedimento aqui definido pode ser replicado para a estimativa das distâncias de viagens intrazonais para outros modos de transporte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amancio, M. A. (2005) *Relacionamento entre a forma urbana e as viagens a pé*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Batty, M. (1976) *Urban Modeling: algorithms, calibrations, predictions*. *Cambridge Urban and Architectural Studies*, v. 3. Cambridge University Press, London.
- Bhatta, B.P. e O.I. Larsen (2011) Are intrazonal trips ignorable? *Transport policy*, v. 18, n. 1, p. 13–22. DOI: 10.1016/j.tranpol.2010.04.004.
- Cervero, R. e M. Duncan (2003) Walking, bicycling and urban landscapes: Evidence from the San Francisco Bay area. *American Journal of Public Health*. v. 93, p. 1478–1483. DOI: 10.2105/AJPH.93.9.1478.
- Cervero, R., O. L. Sarmiento, E. Jacoby, L. F. Gomez e A. Neiman (2009) Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*. v. 3, n. 4, p. 265–284. DOI: 10.1080/15568310802178314.
- Costa, P. T. (2003) *Uma análise do consumo de energia em transportes nas cidades portuguesas utilizando Redes Neurais Artificiais*. Dissertação (Mestrado), Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Costa, G. (2001) *Uma avaliação do consumo de energia com transportes em cidades do estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Daganzo, C. F. (1984) The length of tours in zones of different shapes. *Transportation Research Board*, v. 18B, n. 25, p. 135–145. DOI: 10.1016/0191-2615(84)90027-4.
- Fotheringham, A. S. (1988) Market share analysis techniques: a review and illustration of current U.S. practice. In: N. Wrigley (eds.) *Store Choice, Store Location and Market Analysis*, p. 120–159. Routledge, London.
- IBGE (2010). *Cidades*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. (Acesso em: 30/04/2013).
- Khan, M. e L. M. Kockelman (2012) *Models for anticipating non-motorized travel choices and the role of the built environment*. In: Annual Meeting of the International Association for Travel Behavior Research, Toronto, Canada.

- Kordi, M., C. Kaiser e A. S. Fotheringham (2012) *A possible solution for the centroid-to-centroid and intra-zonal trip length problems*. In: International Conference on Geographic Information Science, Avignon.
- Rodrigues da Silva, A. N. (2008) *Pesquisa Origem-Destino da Cidade de São Carlos*. Relatório do projeto de pesquisa FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) número 04/15843-4. São Carlos.
- Smeed, R. J. (1967) The road capacity of city centers. *Highway Research Record*, v. 169, p. 22–29.