

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
FERNANDA BOBATO NEIVERTH

**ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE
BICICLETAS COMPARTILHADAS NO MUNICÍPIO DE
FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis
2017

FERNANDA BOBATO NEIVERTH

**ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE
BICICLETAS COMPARTILHADAS NO MUNICÍPIO DE
FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de
Curso submetido ao Departamento
de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do grau de
Engenheiro Civil. Orientador: Prof.
Dr. Alexandre Hering Coelho

Florianópolis

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Neiverth, Fernanda Bobato

Estudo de localização de estações de bicicletas
compartilhadas no município de Florianópolis / Fernanda
Bobato Neiverth ; orientador, Alexandre Hering Coelho,
2017.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. bicicletas compartilhadas. 3.
localização-alocação. 4. SIG. I. Coelho, Alexandre Hering.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Fernanda Bobato Neiverth

**ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE
BICICLETAS COMPARTILHADAS NO MUNICÍPIO DE
FLORIANÓPOLIS**

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do diploma de graduação em Bacharel em Engenharia Civil junto à Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de junho de 2017.

Banca Examinadora:



Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Liseane Padilha Thives, Dr.^a

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Jorge Destri Jr, Dr.

LabTrans – Laboratório de Transportes e Logística

Dedico este trabalho àqueles que lutam por um amanhã melhor; dentre os quais, em especial, meu pai.

Espero que, da forma mais singela, este trabalho contribua para com o mesmo objetivo.

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento é Àquele a quem eu devo todo o mérito deste trabalho. Por ter sido minha força e meu amparo quando a situação pareceu difícil e por ter me segurado nos braços quando pareceu impossível. Obrigada, Deus.

Em segundo lugar, agradeço ao meu tão estimado orientador, professor Alexandre Hering Coelho. Por me servir por inspiração e exemplo. Pela paciência e solicitude, por ser tão admirável, como profissional e como ser humano, meu muito-obrigado.

Agradeço aos engenheiros Guilherme Carvalho e Diego Benites Paradedda, e aos arquitetos e urbanistas Célio Sztoltz e Ingrid Etges Zandomeneco por toda a prestatividade e disposição em auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

À minha mãe, que com humildade e sabedoria, ensinou-me os princípios para que eu trilhasse minha caminhada; por ter estado ao meu lado, incondicionalmente. Ao meu irmão, portador do coração maior que ele próprio, por tantas vezes ter sido minha motivação para continuar, mesmo sem que soubesse.

Aos meus amigos, pelo apoio e torcida.

RESUMO

Os sistemas de bicicletas públicas estão cada vez mais difundidos, sempre buscando disseminar o uso da bicicleta no transporte diário. Partindo da estreita relação que a localização das estações possui com a eficiência do sistema, o presente trabalho propõe analisar o comportamento da distribuição espacial das estações no município de Florianópolis por meio de critérios de otimização implementados em ambiente SIG, através dos quais obtêm-se conclusões a fim de subsidiar um planejamento mais consistente e otimizado.

Palavras-chave: bicicletas compartilhadas, estudo de localização, localização-alocação, Sistema de Informações Geográficas, SIG.

ABSTRACT

A growing number of cities have been implementing bike-sharing programs, in order to increase bicycle use. Given the tied relationship between system efficiency and the location of bike stations, the purpose of this work is to use a GIS-based method to evaluate the behavior of spatial distribution of station in Florianópolis, Brazil, by using location-allocation models. This analysis aims to provide helpful information for the system's planning process.

Key-words: bike-sharing, location analysis, location-allocation, Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tempo de deslocamento casa-trabalho nas regiões metropolitanas brasileiras entre 1992 e 2013.....	6
Figura 2 - Tempo de deslocamento casa-trabalho ¹ e população de regiões metropolitanas ² no mundo.....	7
Figura 3 - Tempo de deslocamento porta-a-porta por modo em áreas urbanas.....	10
Figura 4 - Eficiência energética dos modos de transporte.....	11
Figura 5 - Número de cidades no mundo que aderiram ao programa de bike-share..	13
Figura 6 - 2ª Geração de bike-sharing.....	17
Figura 7 - 3ª Geração de bike-sharing.....	18
Figura 8 - 4ª Geração de bike-sharing.....	18
Figura 9 - Correlação entre Penetração e Densidade de estações.....	21
Figura 10 - Correlação entre Uso do sistema e Densidade de estações.....	21
Figura 11 - Correlação entre atividade na estação e número de estações próximas ..	22
Figura 12 - Distribuição de estações conforme ITDP.....	23
Figura 13 - Distribuição de estações conforme NACTO.....	23
Figura 14 – Subsistemas e exemplos da estrutura de um SIG.....	29
Figura 15 - Fluxograma do método.....	32
Figura 16 - Área de estudo.....	38
Figura 17 - Utilização do transporte público em função da distância caminhada.....	40
Figura 18 - Resultado do Modelo I - Caso 2.....	44
Figura 19 – Exemplo de descontinuidade da malha – Caso 2.....	47
Figura 20 - Distância média entre estações.....	50
Figura 21 - Variação do custo médio por viagem.....	51
Figura 22 - Resultado do Modelo II para 100 estações.....	52
Figura 23 - Resultado do Modelo II para 150 estações.....	53
Figura 24 - Resultado do Modelo II para 200 estações.....	54
Figura 25 - Resultado do Modelo II para 250 estações.....	55
Figura 26 - Resultado do Modelo II para 300 estações.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frota nacional de veículos	9
Tabela 2 - Sistemas com melhores indicadores de eficiência.....	19
Tabela 3 – Resumo dos critérios ¹ nas regiões selecionadas	38
Tabela 4 - Resumo dos resultados de distribuição espacial - Modelo I	44
Tabela 5 - Resultados corrigidos após reconsideração da área.....	45
Tabela 6 - Distâncias entre estações	46
Tabela 7 – Resumo dos resultados de demanda e custo – Modelo I	47
Tabela 8 - Resultados da distribuição espacial para o Modelo II	50
Tabela 9 - Custos associados ao deslocamento (impedância)	51
Tabela 10 - Tabela-resumo análises do Modelo I.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GIS	<i>Geographic Information Systems</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITDP	<i>Institute for Transportation & Development Policy</i>
LRT	<i>Light Rail Transit</i>
MRT	<i>Mass Rapid Transit</i>
OD	Origem-Destino
ONU	Organização das Nações Unidas
NACTO	<i>National Association of City Transportation Officials</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PLAMUS	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIG-T	Sistemas de Informações Geográficas para planejamento de Transportes
SMAP	Secretaria de Administração e Previdência
TICEN	Terminal de Integração do Centro
TITRI	Terminal de Integração da Trindade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	PANORAMA DA MOBILIDADE NO BRASIL	4
1.2	OS SISTEMAS DE BIKE-SHARE COMO UMA SOLUÇÃO PARA A MOBILIDADE	10
1.3	MOTIVAÇÃO	13
1.4	OBJETIVOS	14
1.4.1	OBJETIVO GERAL	14
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	SISTEMAS DE BICICLETAS COMPARTILHADAS	16
2.1.1	TERMINOLOGIA	16
2.1.2	HISTÓRICO E CLASSIFICAÇÃO	16
2.1.3	INDICADORES DE EFICIÊNCIA	19
2.1.4	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	20
2.2	LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE INSTALAÇÕES	25
2.2.1	PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	25
2.2.2	TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO	26
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	28
2.3.1	SIG PARA APLICAÇÕES EM TRANSPORTES	30
3	MÉTODO	32
3.1	DEFINIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	32
3.2	LIMITAÇÕES DO MÉTODO	34
3.3	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DEMANDA POTENCIAL	35
3.3.1	OBTENÇÃO DA DEMANDA POTENCIAL	35
3.3.2	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	36
3.4	ÁREA DE ESTUDO	36
3.5	MODELAGEM DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO	39
3.5.1	PONTOS DE DEMANDA	39

3.5.2	PONTOS CANDIDATOS	39
3.5.3	MODELO DE IMPEDÂNCIA	39
4	ANÁLISES E RESULTADOS	42
4.1	MODELO I	42
4.1.1	RESULTADOS	43
4.2	MODELO II	48
4.2.1	RESULTADOS	49
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
5.1	MODELO I	57
5.2	MODELO II	58
5.3	TRABALHOS FUTUROS	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 PANORAMA DA MOBILIDADE NO BRASIL

A atual problemática do deslocamento dentro do sistema urbano de transportes trouxe uma definição relativamente nova dentro do contexto de transportes. A mobilidade, que antes representava um dos principais elementos de um sistema de transportes (juntamente à acessibilidade), e consequência inerente a um planejamento de transportes eficiente, passou a ser tratada sob uma perspectiva de problema urbano, e que segundo a Macroplan (2013), representa um dos maiores desafios da gestão pública nas cidades brasileiras.

Essa situação se faz presente no cotidiano da população brasileira, que convive diariamente com as externalidades do problema: índices elevados de poluição atmosférica e sonora, perda de tempo e produtividade, maiores custos de deslocamento, e maior risco à segurança, evidenciado pelo aumento da mortalidade no trânsito.

O custo reflete também na sociedade: para manter a frequência dos serviços de transporte público torna-se necessário mais veículos em circulação, aumentando a necessidade de subsídio por parte do governo; a degradação dos pavimentos é mais rápida conforme a velocidade dos veículos diminui. Apesar de muitas vezes incalculáveis, custos com acidentes e mortes também podem ser elencados.

Os fatores mencionados compreendem apenas alguns dos inúmeros impactos causados pela falta de mobilidade urbana juntamente ao modelo de transporte motorizado individualista. Ao analisar isoladamente algumas das externalidades citadas, como o tempo de viagem e custos associados, e custos de manutenção da infraestrutura, é possível perceber a profundidade com que esses impactos afetam a sociedade.

A Figura 1 apresenta a evolução do tempo médio de deslocamento casa-trabalho em algumas regiões metropolitanas no Brasil entre os anos de 1992 e 2013. Nota-se que apesar das oscilações, todas as regiões presentes no levantamento (regiões metropolitanas compreendidas pela PNAD) apresentam tendência para tempos de viagem crescentes. Percebe-se também que as regiões mais populosas (São Paulo e Rio de Janeiro) apresentam os maiores tempos, demonstrando certa relação entre essas

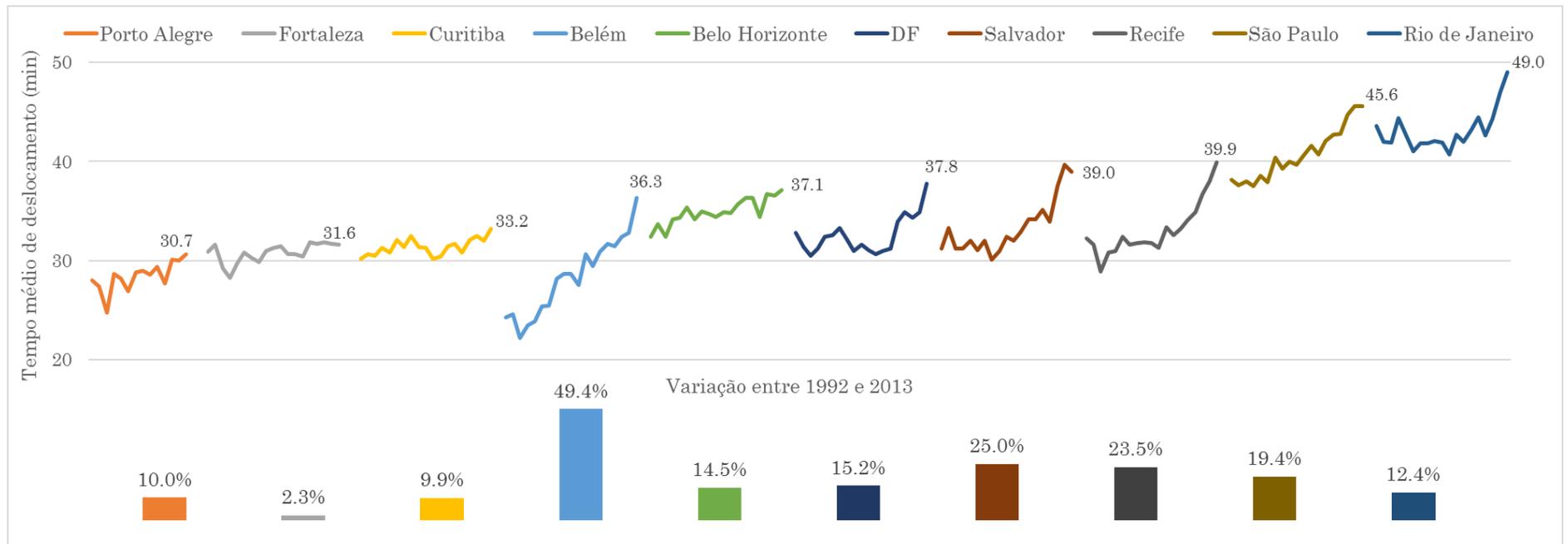
duas variáveis. Ao inserir os dados das metrópoles brasileiras num contexto internacional (Figura 2), nota-se que a mobilidade das cidades brasileiras está geralmente aquém do observado em outros países, quando comparadas com cidades de mesmo ou maior porte.

O custo da externalidade em questão pode ser medido em termos de produção sacrificada, ou seja, o valor do que deixa de ser produzido na economia devido ao tempo perdido nos deslocamentos. Segundo levantamento da FIRJAN (2015) que abrangeu 37 áreas metropolitanas brasileiras, o custo da produção sacrificada relativo aos deslocamentos acima de 30 minutos ultrapassou R\$ 111 bilhões em 2012, o correspondente a 4,4% do PIB dessas regiões.

Para fins de comparação com a região metropolitana de Florianópolis, se considerados apenas os tempos de deslocamento acima de 30 minutos, o tempo médio em 2012 é de 55 minutos, enquanto que para a região metropolitana do Rio de Janeiro esse tempo é de 70,5 minutos. Neste caso, a Grande Florianópolis sofreu uma perda de R\$ 631,4 milhões em 2012, o equivalente a 2,4% de seu PIB (FIRJAN, 2015).

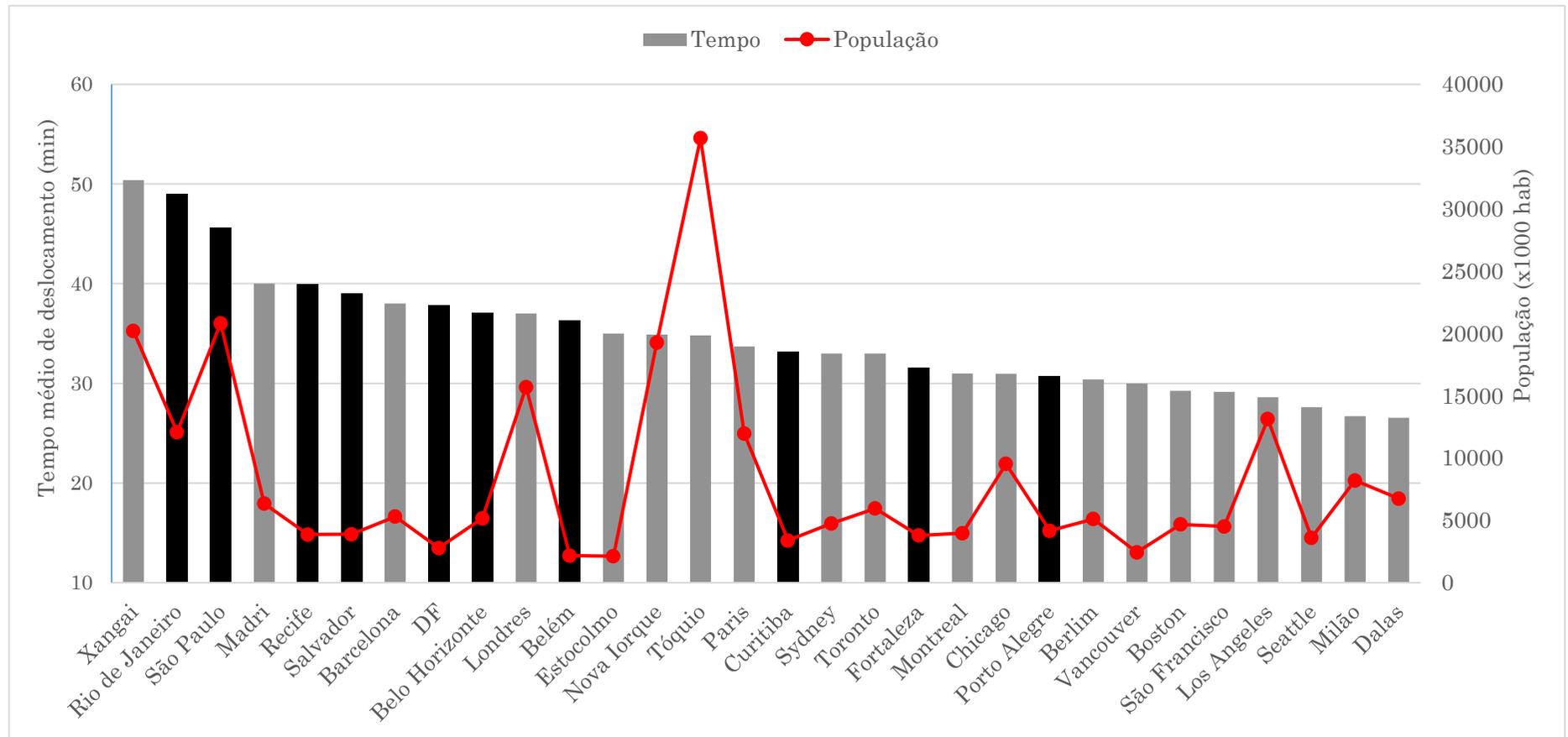
Outro custo inerente ao modelo de transporte urbano vigente, que tem impacto direto nos cofres públicos, é o de manutenção da infraestrutura. Segundo dados da ANTP (2014), embora havendo servido a um número semelhante de viagens em 2012, o transporte coletivo foi responsável por um gasto R\$ 2,5 bilhões para a manutenção das vias, enquanto que o transporte individual teve um custo público de manutenção de R\$ 8,7 bilhões.

Figura 1 - Tempo de deslocamento casa-trabalho nas regiões metropolitanas brasileiras entre 1992 e 2013



Fonte: IBGE ([vários anos] apud O GLOBO, [s.d.])

Figura 2 - Tempo de deslocamento casa-trabalho¹ e população de regiões metropolitanas² no mundo



Fontes: IBGE ([vários anos] apud O GLOBO, [s.d.]), Toronto Region Board of Trade (2015)

Notas: ¹ Brasil e EUA: dados de 2013; Sydney: 2012; Tóquio: 2011; Canadá e Xangai: 2010; Europa: 2009

² A delimitação das regiões metropolitanas pode variar de acordo com o país.

Os fatores geralmente apontados como causas primárias do problema da mobilidade são tendências populacionais, como o processo de urbanização, e econômicas, como o aumento da taxa de motorização (conforme Carvalho, 2016). No entanto, é importante compreender que suas causas são mais profundas e estão enraizadas em diferentes âmbitos da sociedade, como no modelo de desenvolvimento urbano das cidades brasileiras (SEMOB, 2007), na gestão pública deficitária (TCU, 2014), na perda de atratividade do transporte público frente ao individual (IPEA, 2010) e até na própria cultura da população, que supervaloriza o automóvel particular em detrimento de outros modos de transporte.

Segundo dados do IBGE, 84,2% da população brasileira vivia em áreas urbanas em 2010. A ONU estima que em 2030 a população urbana brasileira passará para 91%. Para fins de comparação com outros países em desenvolvimento, a Rússia possui 73% de sua população em áreas urbanas, a África do Sul, 61%, a China, 47%, e a Índia, 30% (CARVALHO, 2016; SEMOB, 2015).

O crescimento do transporte individual (retratado através da Tabela 1) propiciado por políticas de atração dos investimentos da indústria automobilística que tiveram início na década de 1990 e estendem-se até os dias atuais (como redução de tributações sobre o setor, facilitação ao crédito consumidor, dentre outras), ocasionou em diminuição da demanda pelo transporte coletivo. Como consequências, houve diminuição das receitas do sistema, que resulta no aumento das tarifas e/ou diminuição do serviço, que contribuem para que o sistema se torne cada vez menos atrativo, ao passo que os congestionamentos aumentam em função do maior número de veículos particulares em circulação, configurando o ciclo vicioso da perda de competitividade do transporte coletivo (CARVALHO, 2016; IPEA, 2010).

Tabela 1 – Frota nacional de veículos

Ano	Automóvel	Motocicleta	População (mi)
1998	17,819,843	3,042,050	158.2
2000	19,972,690	3,961,922	-
2002	23,036,041	5,700,701	-
2004	24,936,451	7,039,675	-
2006	27,868,564	9,360,696	-
2008	32,054,684	12,995,939	-
2010	37,188,341	16,394,919	-
2012	42,682,111	19,934,332	-
2014	47,946,665	22,842,497	-
2016	51,296,982	24,933,191	206.1
Variação	188%	720%	30%

Fonte: DENATRAN

Some-se a isso a expansão horizontal dos centros urbanos, intensificada, inclusive, por programas de habitação social, que resulta, em última instância, no aumento da demanda por deslocamentos.

A simples análise dos indicadores mencionados, bem como a avaliação do panorama atual da mobilidade, evidenciam a tendência de agravamento da situação caso não haja a implementação de um sistema efetivo de planejamento do transporte urbano, amparado pelos processos de tomadas de decisão no âmbito governamental.

É válido ressaltar que medidas pontuais, além de não serem suficientes para solucionar problemas de mobilidade a longo prazo, podem acarretar em piora quando seus efeitos são transmitidos ao restante do sistema. As medidas devem ser o resultado de um sistema holístico e consistente de planejamento, que envolve não apenas o sistema de transportes, mas todas as esferas da estrutura urbana que a ele se relacionam, dentre as quais a principal é a de uso e ocupação do solo (incluindo políticas habitacionais, políticas de incentivo e regulação de investimentos privados, etc.), além de abranger todos os setores governamentais, com a finalidade de alinhar políticas e intervenções em outros campos da sociedade a fim de atingir a mobilidade sustentável.

Felizmente, grandes avanços têm ocorrido. A consolidação de uma base institucional que trata da mobilidade urbana culminou na sanção da Lei n. 12.587/2012, que passou a exigir a elaboração de planos de mobilidade para todos os municípios com mais de 20 mil habitantes, sob a pena de suspensão de recursos federais destinados à mobilidade. Isso ocasionou um cenário propício a mudanças,

onde as discussões e o processo de planejamento foram de fato trazidos ao nível municipal. A Lei também estabeleceu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), consistindo em um instrumento para auxiliar os órgãos públicos no objetivo de alcançar a sustentabilidade no transporte urbano.

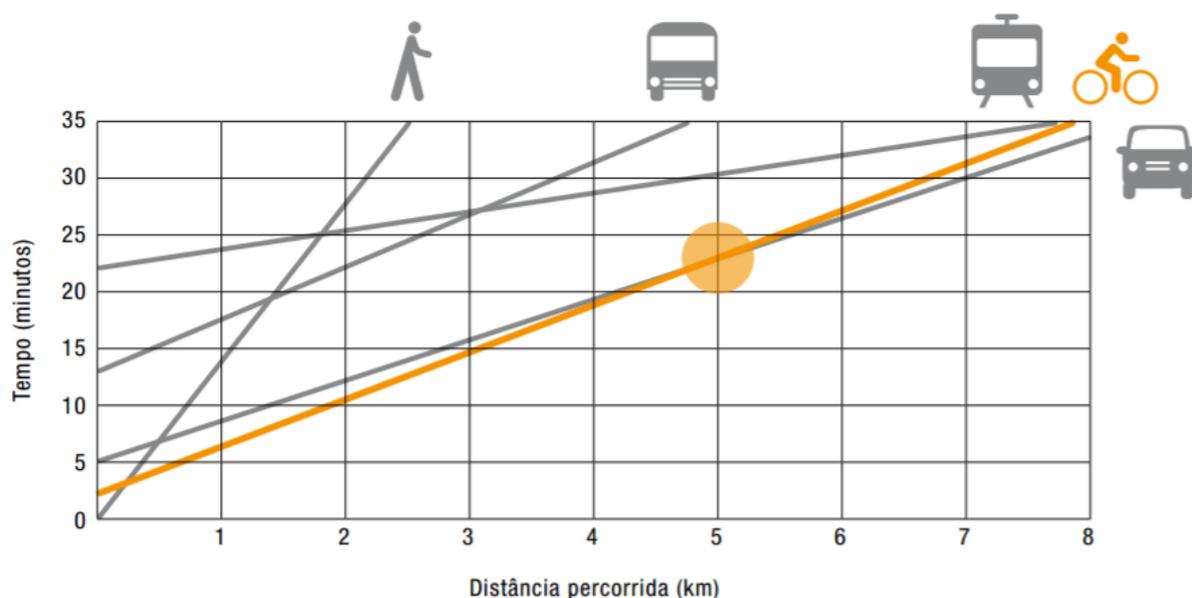
Além disso, a ciência dos transportes, junto à tecnologia avançam, e como consequência, fornecem cada vez mais parâmetros para que o quadro da imobilidade urbana seja revertido.

1.2 OS SISTEMAS DE *BIKE-SHARE* COMO UMA SOLUÇÃO PARA A MOBILIDADE

A promoção da mobilidade por bicicleta é um importante instrumento para alcançar os objetivos previstos pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (SEMOB, 2007).

A bicicleta é um modo de transporte extremamente apropriado para deslocamentos de curta distância. Segundo o exposto pela Comissão Europeia (2000) através da Figura 3, para viagens de até 5 km que ocorram em centros urbanos, a bicicleta exerce vantagem sobre outros modos, dado que o tempo total de deslocamento porta-a-porta é menor para viagens utilizando bicicleta.

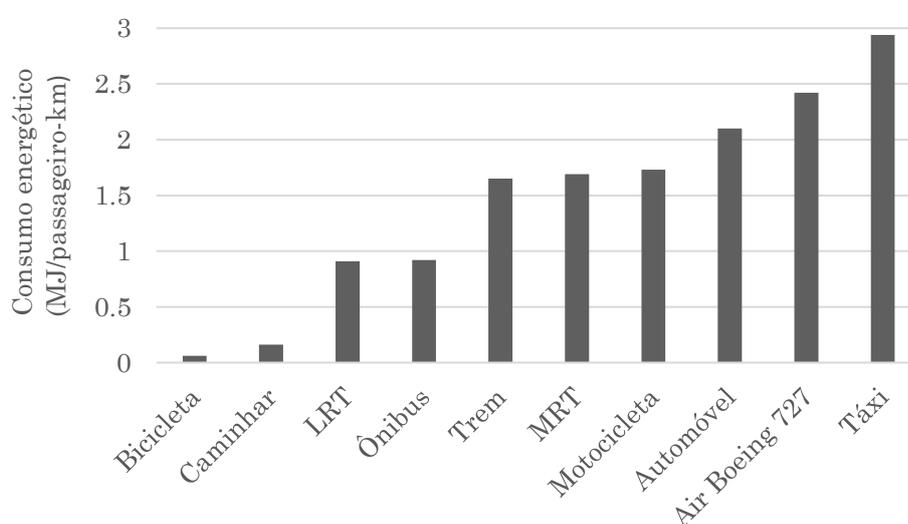
Figura 3 - Tempo de deslocamento porta-a-porta por modo em áreas urbanas



Fonte: Comissão Europeia (2000)

A bicicleta é o meio de transporte mais eficiente em termos de consumo energético, conforme demonstram os dados da Figura 4, além de possuir baixíssimo custo operacional. Para um mesmo tempo, uma pessoa pedalando cobre mais de três vezes a distância percorrida por uma pessoa caminhando, e carrega quatro vezes mais carga (COMISSÃO EUROPEIA, 2000; SEMOB, 2015). A bicicleta não emite poluentes e ao absorver parte da demanda por automóveis particulares, contribui para com a diminuição de congestionamentos no espaço urbano.

Figura 4 - Eficiência energética dos modos de transporte



Fonte: Adaptado de Banister (2009)

Do ponto de vista urbanístico, a Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana (SeMob) faz um apanhado das principais características:

[...] o uso da bicicleta nas cidades reduz o nível de ruído no sistema viário; propicia maior equidade na apropriação do espaço urbano destinado à circulação; libera mais espaço público para o lazer; contribui para a composição de ambientes mais agradáveis, saudáveis e limpos; contribui para a redução dos custos urbanos devido à redução dos sistemas viários destinados aos veículos motorizados; e aumenta a qualidade de vida dos habitantes, na medida em que gera um padrão de tráfego mais calmo e benefícios à saúde de seus usuários. Estimular o uso da bicicleta na cidade é ainda uma forma de melhorar a saúde e a qualidade de vida da população, combatendo o sedentarismo, a obesidade e doenças cardíacas. (SEMOB, 2015, p. 42)

Todavia, o transporte por bicicletas também possui desvantagens, incluindo maior esforço físico e relativa dificuldade em transportar cargas.

Em meio às vantagens do transporte por bicicleta, pesquisadores e gestores públicos tentam compreender os fatores que influenciam a utilização desse modo. Diversos aspectos podem ser elencados, em áreas que vão da psicologia à engenharia de transportes; do planejamento urbano à economia (DILL; VOROS, 2007; FHA, 1992).

Dentre as propostas que visam aumentar a demanda por bicicletas, preferencialmente através da transferência modal, o *bike-sharing* é uma das ferramentas mais promissoras no âmbito do planejamento de transportes (GARCÍA-PALOMARES; GUTIÉRREZ; LATORRE, 2012).

Também chamado de sistema de aluguel de bicicletas, bicicletas compartilhadas, bicicleta pública, ou *bike-share*, é um sistema de transporte público individual, no qual disponibilizam-se bicicletas para uso da população. As bicicletas encontram-se em estações distribuídas na malha urbana, de forma que o usuário possa retirar o veículo em uma estação e devolver em outra, tendo por finalidade proporcionar deslocamentos da origem ao destino final, ou servir como modo complementar ao transporte público já existente.

Os sistemas de *bike-sharing* representam mais uma opção de modo de deslocamento ao usuário do sistema de transportes, tornando o transporte por bicicleta ainda mais democrático, por ser disponibilizado a todo o público, contribuindo desta forma, para com a penetrabilidade do modo.

Em Lyon, na França, houve um aumento de 44% do uso da bicicleta no primeiro ano após a implementação do Velo'v, o sistema local de compartilhamento de bicicletas (LDA CONSULTING, 2012).

Além das vantagens ligadas ao uso da bicicleta como modo, esses sistemas apresentam características específicas que fornecem ao usuário maior flexibilidade de escolha, ao passo que cooperam para maior aceitação e utilização do sistema de transporte público.

Os sistemas de *bike-share* preenchem uma lacuna crítica, referente ao trajeto entre a estação onde os passageiros desembarcam, e seu destino final, aumentando o alcance de outros meios de transporte público. Também reduzem problemas de superlotação ao oferecer uma alternativa para viagens curtas.

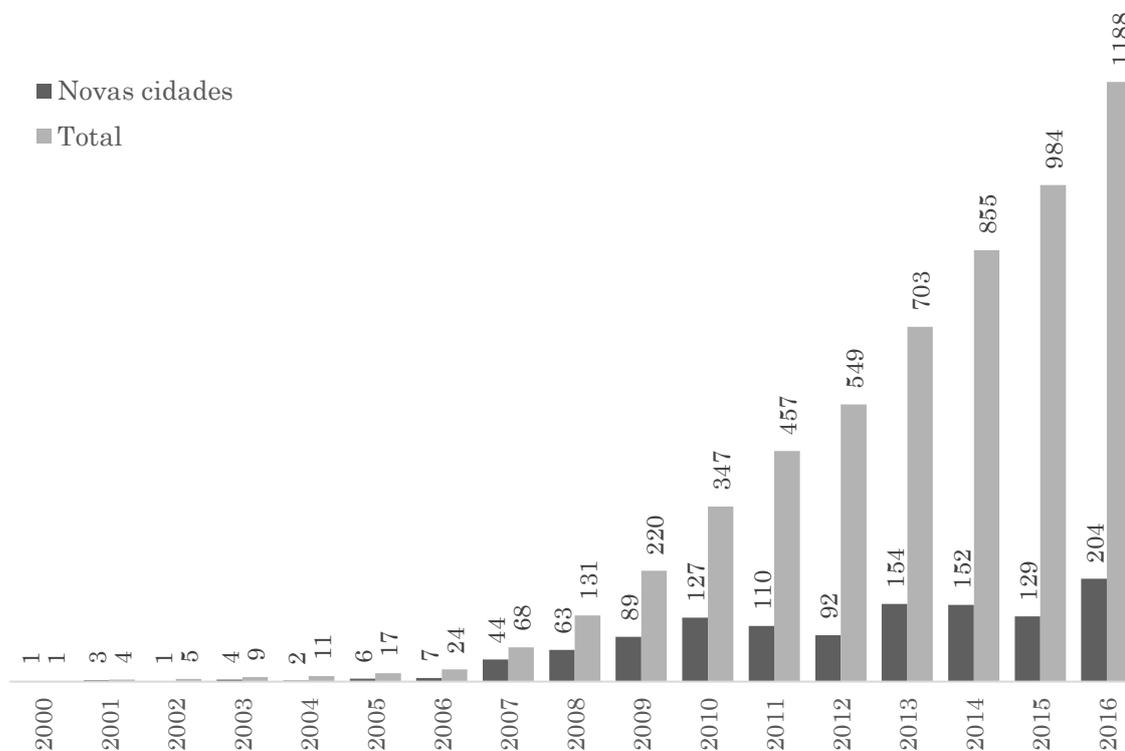
Comparados a outros modos de transporte, os sistemas de *bike-sharing* apresentam baixo custo de implementação e pequeno prazo de implantação.

Do ponto de vista do usuário, as vantagens estão na isenção de custo com aquisição de equipamento, isenção da responsabilidade de manutenção, ausência de preocupação com o veículo, nem necessidade de transportá-lo por trechos da viagem nos quais ele não se faça necessário. Além disso, não existe tempo de espera, o usuário pode iniciar seu trajeto logo ao chegar à estação.

1.3 MOTIVAÇÃO

O compartilhamento de bicicletas é um sistema em rápida expansão (Figura 5). Em 2017, já são 1254 cidades que aderiram ao sistema em todo o mundo. Apesar do número crescente de programas implantados, 145 deles já deixaram de operar; só no Brasil, dos 27 programas implantados, 7 já foram descontinuados (DEMAIO; MEDDIN, 2017a).

Figura 5 - Número de cidades no mundo que aderiram ao programa de *bike-share*



Fonte: DeMaio e Meddin (The Bike-sharing Blog, 2017b)

Em Florianópolis, o processo de implantação teve início oficial em 2012, através do Processo licitatório de pré-qualificação N° 147/SMAP/DLC/2012, que tinha por objetivo selecionar as empresas aptas a disputar a licitação do Floribike, nome dado ao sistema de bicicletas públicas de Florianópolis. Após sucessivos esforços¹ por parte dos órgãos gestores, o programa não foi implantado.

Diversos fatores influenciam na performance do sistema, sendo que um dos principais é a localização das estações em relação à demanda, ou seja, a proximidade das estações em relação a origens e destinos de viagens (ITDP, 2013; LIN; YANG, 2011). A distância entre as estações e os locais de produção e atração de viagens deve ser pequena e a distância entre estações deve ser apropriada para o transporte por bicicleta.

Para que os objetivos gerais do sistema de maior utilização de bicicletas a menores custos sejam atendidos de forma eficiente, possibilitando a viabilidade do empreendimento, é crucial que a definição do local de instalação das estações seja feita a partir de uma análise de otimização, fundamentando assim, o objetivo deste trabalho.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho consiste em implementar um modelo de localização-alocação de instalações a fim de obter parâmetros e informações que permitam encontrar uma boa solução para a localização de estações de *bike-sharing* em Florianópolis.

¹ 2012: Processo Licitatório De Pré-Qualificação N° 147/SMAP/DLC/2012;
27/03/2013: lançamento do Edital De Concorrência N° 153/SMAP/DLC/2013;
07/05/2013: adiamento do prazo para o Edital De Concorrência N° 153/SMAP/DLC/2013;
21/06/2013: suspensão do edital de licitação referente à Concorrência Pública N° 153/SMAP/DLC/2013;
10/07/2013: retomado o Processo Licitatório De Pré-Qualificação N° 147/SMAP/DLC/2012;
07/08/2013: consulta pública para abertura de novo edital;
14/04/2015: criação da Comissão Permanente de Processo Licitatório;
30/04/2015: publicação no Diário Oficial de texto justificando a concessão do serviço de bicicletas públicas;
19/05/2015: lançamento do Edital De Concorrência N° 294/SMA/DLC/2015;
08/07/2015: republicação do Edital De Concorrência N° 294/SMA/DLC/2015 por falta de publicidade adequada das erratas; não houve interessados;
07/12/2016: Lei Complementar N° 588, de 29 de Novembro de 2016.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtenção da distribuição de viagens de curta distância no município de Florianópolis, segundo zonas de tráfego, de uma matriz origem-destino;
- Obtenção da distribuição espacial da demanda potencial para um sistema de aluguel de bicicletas no município de Florianópolis;
- Definição das regiões mais adequadas para implantação do sistema de *bike-sharing* em Florianópolis;
- Análise da eficácia de parâmetros de projeto presentes na bibliografia com relação à localização das estações;
- Avaliação da distribuição espacial das estações frente a diferentes parâmetros de análise.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS DE BICICLETAS COMPARTILHADAS

2.1.1 TERMINOLOGIA

Constam aqui algumas definições relevantes para melhor compreensão do trabalho, extraídas de ITDP (2013, p. 21).

- Posição de engate: ponto (vaga) da estação no qual a bicicleta é estacionada e trancada;
- Terminal: local onde o usuário obtém informações sobre o sistema. Os terminais podem ter interfaces dinâmicas de autosserviço operadas pelo próprio usuário ou sistemas de informações estáticas que explicam ao cliente como retirar ou devolver uma bicicleta, de caráter informativo. Podem servir de centro de comunicações entre as bicicletas, espaços de estacionamento e centro de controle, além de local de pagamento, sendo totalmente automatizados ou dispendo de atendentes. Os terminais geralmente cumprem a função de ajudar os usuários a encontrar uma estação na rua e, portanto, devem estar em posição de destaque;
- Estação: estrutura composta de um terminal, posições de engate (espaços para estacionamento) e bicicletas. As estações podem ser manuais ou automáticas (com variações nestes modos); modulares, fixas ou permanentes (construídas na própria via). Nelas, os usuários podem obter informações e pagar pelo uso do sistema. As bicicletas estacionadas podem ser retiradas pelos usuários e deve haver espaços disponíveis para as que serão devolvidas.

2.1.2 HISTÓRICO E CLASSIFICAÇÃO

Os sistemas de bicicletas compartilhadas são classificados em quatro gerações. A primeira geração surgiu em Amsterdam, no ano de 1965, a partir de uma proposta que visava disponibilizar 20.000 bicicletas para uso gratuito da população, a fim de reduzir o tráfego de automóveis no centro da cidade. A proposta foi rejeitada pela assembleia municipal. Grupos favoráveis à ideia colocaram, então, 50 bicicletas à disposição da população, que foram apreendidas pela polícia local sob alegação de que, por não estarem trancadas, incitavam ao roubo. A partir disso, novos sistemas de

compartilhamento gratuito de bicicletas foram criados em Madison, Wisconsin e Portland, em Oregon, nos Estados Unidos (PAIVA, 2015; ITDP, 2013).

A segunda geração foi introduzida em 1991, na Dinamarca. As bicicletas eram robustas e mantidas acorrentadas com trancas especiais liberadas por moedas, para minimizar a ocorrência de furto e vandalismo (ITDP, 2013, p. 22)

Figura 6 - 2ª Geração de *bike-sharing*



Fonte: Bikepub (2012)

Surge então a terceira geração, aperfeiçoando a segurança, o controle, a monitoração e a cobrança, principalmente com a implantação da tecnologia. Dispositivos registram os usuários e monitoram todo o processo permitindo identificar e controlar o uso em tempo real, a capacidade da estação, e o número de usuários ativos (ITDP, 2013).

O sistema de bicicletas compartilhadas de Rennes, França, foi o primeiro a usar a tecnologia de cartão inteligente em 1998. Em 2001, foi inaugurado o sistema Velo'v de Lyon, no qual se baseou mais tarde o sistema Vélib', de Paris. Os sistemas Velo'v e Vélib' se tornaram modelos para os sistemas de terceira geração (ITDP, 2013).

A partir desse ponto, várias cidades na Europa aderiram aos sistemas, criando um novo modo de transporte urbano em larga escala, requerendo maiores planejamentos e investimentos. Nessa geração, as bicicletas ganharam grande importância no contexto de mobilidade urbana nas grandes cidades pelo mundo (PAIVA, 2015).

Figura 7 - 3ª Geração de *bike-sharing*

Fonte: Bikepub (2012)

Na quarta geração, os sistemas se assemelham aos da terceira, mas muito mais vinculados à tecnologia. Possuem como principais características as estações flexíveis (permitindo a transferência física das mesmas), totens interativos, aplicativos para *smartphones*, promoção da intermodalidade por cartão (sendo possível a utilização do mesmo cartão para vários modos de transporte público). A grande maioria dos programas da terceira geração migraram para a quarta visando fazer proveito das novas tecnologias (SANTOS DE MELO; LEONOR; MAIA, [s.d.]

Figura 8 - 4ª Geração de *bike-sharing*

Fonte: Bikepub (2012)

2.1.3 INDICADORES DE EFICIÊNCIA

A fim de possibilitar a avaliação dos sistemas de compartilhamento de bicicletas existentes, o Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP, 2013) define dois indicadores, que subsidiam a comparação entre sistemas, fornecendo um reflexo de sua performance. São eles o número médio de viagens diárias por bicicleta (média de viagens/dia/bicicleta) e o número médio de viagens diárias por morador da região em que o sistema atua (média de viagens/dia/morador).

A média de viagens/dia/bicicleta reflete a rotatividade do equipamento, e consequentemente, o aproveitamento do investimento.

A média de viagens/dia/morador demonstra o nível de penetração do sistema na área em que foi implementado. Assim, uma média alta significa que o sistema de *bike-share* possui parcela representativa de participação entre os modos de transporte, e seus benefícios passam a ter efeito no cenário da mobilidade do local.

O ITDP atenta para o fato de que ambos os indicadores devem permanecer equilibrados entre si. Se a média de viagens/dia/bicicleta é alta devido ao número insuficiente de bicicletas, o sistema pode apresentar baixa penetração e baixa confiabilidade ao usuário, caso as bicicletas não estejam disponíveis. Outro sistema pode revelar um uso pouco eficiente da infraestrutura, mesmo apresentando um alto nível de penetração, se houver baixa média de viagens/dia/bicicleta, caracterizando um investimento de baixo retorno.

Diante do exposto, um sistema que apresente bom desempenho, ou seja, confiabilidade e alto custo-benefício, deve maximizar ambos os indicadores de eficiência. A Tabela 2 traz os programas com o melhor desempenho, dentre os 25 sistemas analisados pelo ITDP, em 2013.

Tabela 2 - Sistemas com melhores indicadores de eficiência

Cidade	Viagens / bicicleta	Viagens / 1000 moradores ¹	Densidade [estações/km ²]	Estações	Área [km ²]	Distância linear média entre estações [m]
Barcelona	10.8	67.9	10.3	420	41	352
Lyon	8.3	55.1	7.7	347	45	407
New York	8.3	42.7	10.7	323	5	345
Rio de Janeiro ²	6.9	44.2	2.8	56	20	674
Montreal	6.8	113.8	8.2	411	50	394
Paris	6.7	38.4	13.0	1751	135	313
Cidade do México	5.5	158.2	14.9	279	19	292

Fonte: (ITDP, 2013)

Notas: ¹ Número de residentes na área de cobertura = Área de cobertura x Densidade populacional do município. Pode apresentar desvios para municípios com áreas não-urbanizadas

² Medida “viagens/1000 moradores” não condiz com valor obtido através da densidade populacional do IBGE, que resulta em valor menor. Devido a isso, o sistema do Rio de Janeiro não será considerado para fins de comparação.

Diversos estudos propõem-se a analisar quais são os fatores que influenciam em maior ou menor grau no êxito desses programas.

Curran (2008) investigou quatorze fatores que influenciam a utilização do sistema, separando-os em dois níveis de importância. Fatores externos ao sistema como topografia, condições atmosféricas, aspectos culturais e qualidade do sistema de transporte público, junto a fatores internos como tipo de bicicleta, visibilidade do terminal, horário de serviço, segurança e tecnologia são considerados secundários em importância. Os fatores considerados de maior importância são os que envolvem a localização das bicicletas, custos, manutenção do sistema, infraestrutura e redistribuição eficiente das bicicletas.

ITDP (2013) mapeou 25 sistemas em diferentes cidades do mundo, a partir dos quais traça diretrizes a serem atendidas de modo a alcançar um bom funcionamento do sistema.

2.1.4 LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES

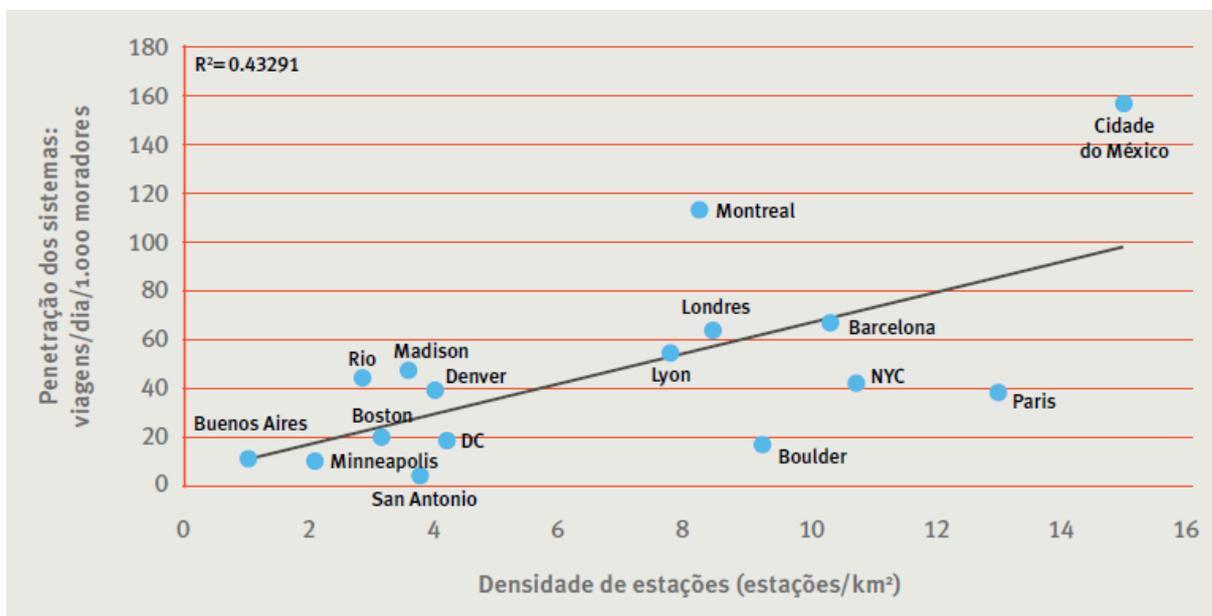
Diversos autores (ITDP, 2013; NACTO, 2015; CURRAN, 2008) constatarem que a maneira como um sistema de bicicletas compartilhadas se distribui no espaço tem estreita relação com sua eficiência.

Em linhas gerais, a bibliografia destaca a importância de que as bicicletas se encontrem localizadas próximo à demanda, ou seja, que estejam distribuídas de forma a atender os destinos e origens de viagens dentro de uma distância razoavelmente pequena. Tendo esse princípio como diretriz para a elaboração de projetos de *bike-sharing*, são apresentadas a seguir as diferentes abordagens encontradas na bibliografia, bem como os parâmetros de projeto que fornecem.

ITDP (2013) compara dados provenientes de diversos programas de *bike-share* e define os mais eficientes, segundo os indicadores apresentados no item 2.1.3. Ao constatar a correlação entre melhores desempenhos e maiores densidades de estação (Figura 9 e Figura 10), define um intervalo de densidade a ser atendido. A densidade de estações é definida como sendo o número de estações do sistema dividido pela área

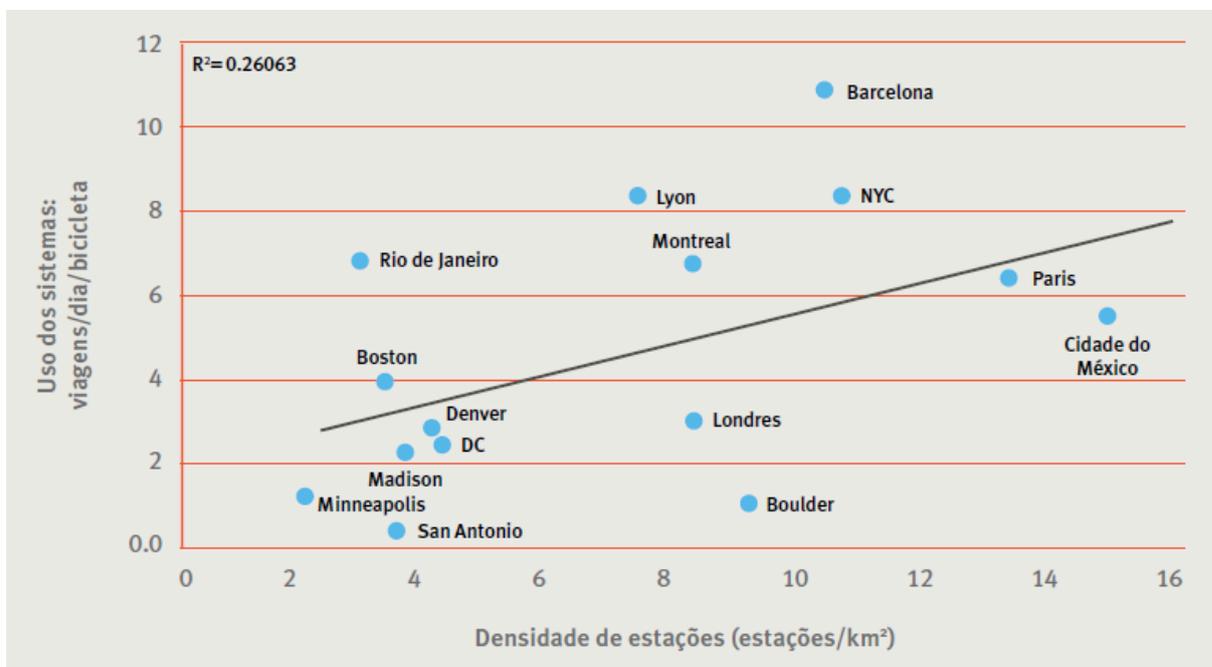
de cobertura. A área de cobertura, ou abrangência, do sistema corresponde à área cujo limite é obtido por raios de 500 metros em torno das estações periféricas do sistema.

Figura 9 - Correlação entre Penetração e Densidade de estações



Fonte: (ITDP, 2013)

Figura 10 - Correlação entre Uso do sistema e Densidade de estações

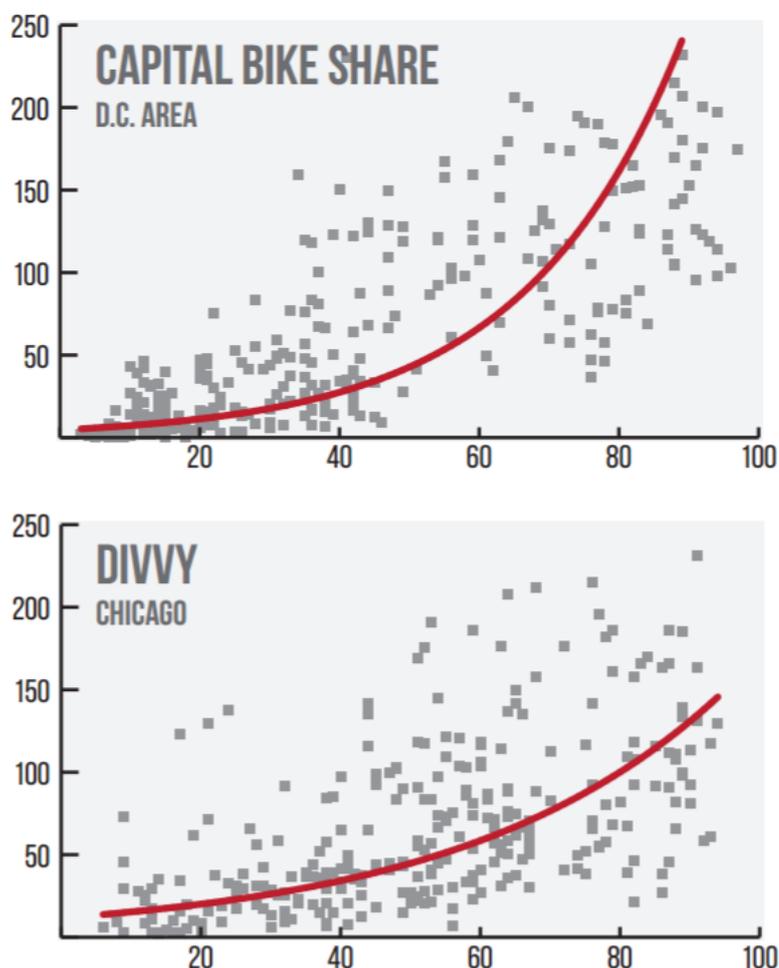


Fonte: (ITDP, 2013)

Segundo ITDP (2013), a densidade deve variar entre 10 e 16 estações por km², de forma que a distância linear média entre estações seja em torno de 300 metros (o equivalente a 14,1 estações por km²).

NACTO (2015) apresenta a correlação exponencial entre o número de viagens na estação em função do número de estações próximas a ela, conforme a Figura 11. Também relata que a densidade de estações mínima é função da distribuição necessária para que a distância de caminhada seja menor que 300 metros, ou 5 minutos, o que resulta em uma densidade² de 10 estações por km².

Figura 11 - Correlação entre atividade na estação e número de estações próximas



Fonte: NACTO (2015)

Embora as fontes citadas apresentem valores de densidade semelhantes e utilizem uma mesma distância de 300 metros, da qual derivam suas recomendações e

² O autor não deixa claro a forma como a área é obtida, da qual deriva o cálculo da densidade.

Uma forma alternativa de avaliar o espaçamento entre estações foi proposta por García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012). Fizeram isso através da média entre as distâncias de cada estação do sistema à estação mais próxima, e às cinco mais próximas, em todos os cenários por eles analisados. Essa abordagem, além de simples, fornece também uma ideia da acessibilidade das estações em cada cenário analisado, que é função, dentre outros fatores, da proximidade entre as estações no sistema, conforme explanado no item 2.1.5.

2.1.5 ACESSIBILIDADE DAS ESTAÇÕES

De acordo com o demonstrado por NACTO (2015), exemplificado na Figura 11, e descrito por García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012, p. 241), “a utilização de cada estação depende não só da quantidade de demanda alocada a ela, mas também de sua acessibilidade ao sistema como um todo”. Portanto, uma distribuição espacial de estações adequada deve, não só garantir a proximidade à demanda, como também deve garantir a acessibilidade entre as próprias estações.

García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012) avaliaram a acessibilidade das estações através do indicador de acessibilidade potencial. Esse indicador proporciona uma medida de acessibilidade para cada estação no sistema, que é proporcional ao número de oportunidades disponíveis a cada estação e inversamente proporcional ao custo (neste modelo, tido como o tempo) decorrente do deslocamento para que essas oportunidades sejam usadas. É formulado segundo a Equação 1.

$$P_i = \sum_{j=1}^n \frac{M_j d_{ij}}{t_{ij}^\alpha} \quad (1)$$

P_i : acessibilidade potencial da estação i

M_j : oportunidades disponíveis junto à estação de destino j (viagens alocadas à estação j)

d_{ij} : recebe o valor de 1 se a distância entre i e j for menor que uma distância-limite considerada e 0 caso contrário

t_{ij} : tempo de viagem de bicicleta entre as estações i e j

α : taxa de crescimento da impedância com relação ao tempo

García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012) utilizaram esse indicador com o objetivo de analisar quais estações deveriam ser priorizadas no programa de *bike-share* e quais poderiam ser eliminadas, pois uma baixa acessibilidade resulta, em última instância, em baixa utilização da estação.

2.2 LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE INSTALAÇÕES

2.2.1 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Problemas de localização de instalações, também conhecidos como localização de facilidades, são aqueles em que se deseja determinar o melhor local para uma ou mais instalações, dentro de um conjunto de locais possíveis, com o objetivo geral de minimização de custos e/ou maximização dos lucros (MAPA, 2007), qualificando-se dessa forma, como problemas de otimização. Esses problemas têm sido utilizados como ferramentas de auxílio à tomada de decisão em uma vasta gama de aplicações no campo da logística.

O problema de localização de instalações pode ser descrito, de forma genérica, tal que dados N locais candidatos e M pontos de demanda, escolher um subconjunto de instalações P , de forma que o somatório das distâncias ponderadas entre cada M ao P mais próximo seja minimizado (ESRI, [s.d.]). Este é um problema combinatório, no qual o número de subconjuntos de P elementos diferentes de um conjunto de N elementos diferentes é calculado da seguinte forma:

$$C_P^N = \frac{N!}{P! \times (N-P)!} \quad (2)$$

O número de conjuntos de possíveis soluções cresce muito rapidamente, mesmo para conjuntos de dados pequenos. Além disso, as variáveis de decisão se influenciam mutuamente (GOMES, 2004).

Os problemas de localização de maior interesse neste trabalho são os problemas de localização-alocação de instalações. Segundo Mapa (2007), podem ser descritos como problemas de localização mais complexos, pois além de tratarem com o número e locais de facilidades a serem instaladas, também determinam a parcela de demanda atendida por cada facilidade, de forma a minimizar custos, e respeitar capacidades, quando aplicável.

2.2.2 TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Dada tamanha complexidade dos problemas de localização-alocação e o volume de dados envolvidos, faz-se necessário o uso de técnicas sofisticadas de modelagem e análise para resolvê-los de forma eficiente (GOMES, 2004). Bowersox e Closs (2001) classificam as técnicas de resolução dos problemas de localização em técnicas analíticas, técnicas de melhoria ou programação exata (também chamadas de técnicas de otimização) e técnicas de simulação.

As técnicas analíticas são adequadas para aplicações mais simples, como por exemplo, a definição da localização de uma única instalação. Essas técnicas baseiam-se no método do centroide geográfico de uma rede logística, um método exato que procura minimizar a soma dos custos de deslocamento dos pontos de demanda à instalação. Os custos do deslocamento são usualmente expressos em termos de distância, tempo de viagem, ou combinação destes, podendo ou não considerar diferentes pesos para cada ponto (GOMES, 2004; MAPA, 2007). O peso de determinado ponto pode expressar grandezas como movimentação de mercado, número de pessoas, demanda por determinado serviço, dentre outros.

Na aplicação do método, determina-se a posição inicial do centro de gravidade de todo o conjunto de pontos. Em seguida, calcula-se o custo do deslocamento de cada ponto para esta localização inicial e, por meio de iterações sucessivas, vai-se determinando novas posições para a instalação, considerando-se os custos dos deslocamentos aos pontos de produção e/ou demanda (MAPA, 2007).

Segundo Mapa (2007), as técnicas de melhoria e de simulação são geralmente empregadas para tratar problemas de localização de múltiplas instalações, por serem mais abrangentes que as analíticas. A abordagem de simulação consiste na reprodução, através da modelagem, de dada situação real, a fim de compreendê-la e avaliar seu comportamento.

As técnicas de programação exata geram soluções matematicamente ótimas. Para exemplificá-las, enuncia-se um Problema de Programação Linear (PPL), que consiste em uma das possíveis formas de resolver problemas de localização através da otimização, conforme Gomes (2004):

$$\text{Minimizar/Maximizar } z = \sum_{j=1}^n c_j \times x_j \quad (3)$$

$$\text{sujeito a: } r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$x_i \geq 0 \quad (5)$$

onde a_{ij} , b_i e c_j são constantes conhecidas.

Resolver um PPL consiste em achar os valores das *variáveis de decisão* x_i , tais que maximizem ou minimizem a denominada Função Objetivo (z), respeitando-se um sistema de igualdades ou desigualdades que recebem o nome de Restrições (r_i) do modelo. As restrições representam normalmente limitações de recursos disponíveis [...] ou então exigências e condições que devem ser cumpridas no problema. Essas restrições do modelo determinam uma região à qual dá-se o nome de *Conjunto das Soluções Viáveis*. A melhor das soluções viáveis, isto é, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo, denomina-se *Solução Ótima*. (GOMES, 2004, p. 59)

Segundo o explicitado no item 2.2.1, por meio da Equação 2, o conjunto de possíveis soluções cresce muito rapidamente conforme o número de dados de entrada aumenta. Para casos em que o problema envolva um grande número de variáveis, situação muito comum em aplicações no campo de transporte urbano, os recursos computacionais exigidos para o processamento do problema através das técnicas de melhoria poderiam inviabilizar a análise, sendo indicado nestes casos, o emprego de modelos de localização que utilizem métodos heurísticos em sua formulação.

Güendra et al. (2002, apud LANDMANN; ERDMANN, 2011) definem métodos heurísticos como sendo “algoritmos que não fornecem necessariamente uma solução ótima [exata], mas permitem chegar a uma solução aceitável, dentro de um período de tempo razoável” ao tratar de problemas de otimização. Fazem isso através da busca local em uma amostragem do espaço de soluções, selecionada utilizando algum grau de aleatoriedade (LUZIA; RODRIGUES, 2009; RIBEIRO, 1996). A solução é então selecionada por meio da quantificação de sua proximidade com o objetivo a ser atingido.

O desenvolvimento dessas técnicas de resolução e sua integração à inteligência artificial resultou em novas abordagens para tratar de problemas ainda mais complexos, conhecidas como meta-heurísticas.

Um método meta-heurístico orienta e modifica uma ou mais heurísticas simples, subordinadas a ele, para a obtenção de uma solução melhor que se aplicadas isoladamente (LANDMANN; ERDMANN, 2011; RIBEIRO, 1996). São algoritmos de busca informada, ou seja, utilizam conhecimento histórico dos resultados anteriores para se guiarem e realizar suas buscas em vizinhanças dentro do espaço de pesquisa, de modo a criar um processo capaz de escapar de soluções ótimas locais, mas que não representam uma solução ótima global (LUZIA; RODRIGUES, 2009; MAPA, 2007).

Por constituírem uma maneira mais rápida para se solucionar problemas de localização-alocação de instalações, métodos heurísticos e meta-heurísticos foram associados às técnicas de simulação citadas na página 26, conforme mencionado por Mapa (2007). Essa integração encontra-se explicitada no item 2.3. Dessa forma, torna-se possível a modelagem de diferentes cenários do problema de localização-alocação de instalações com relativa flexibilidade e rapidez, viabilizando, inclusive, o estudo a que este trabalho se propõe.

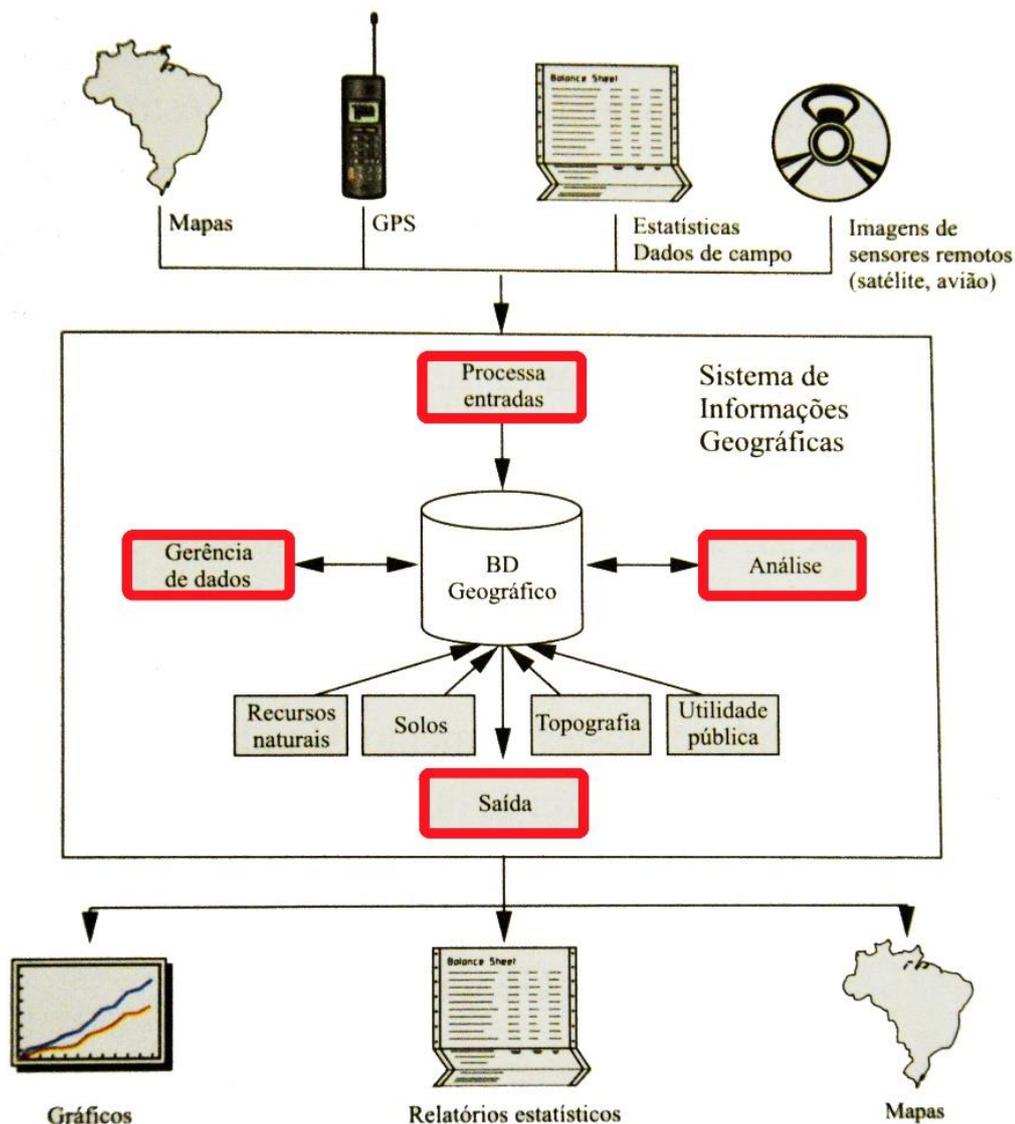
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Há ampla discussão no meio científico e acadêmico acerca da definição para os Sistemas de Informações Geográficas, que difere conforme autores, épocas e campos de pesquisa ou aplicações (CÂMARA et al., 1996; MIRANDA, 2010). Grande parte das definições propostas estão intimamente ligadas às suas características, e principalmente, funcionalidades. Sendo assim, são apresentadas definições que tragam um melhor entendimento a respeito desses Sistemas, e do papel que desempenham neste trabalho.

De forma simples, porém esclarecedora, Burrough (1986, apud MIRANDA, 2010) define SIG “como um sistema [automatizado] de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos”.

Sob uma ótica semelhante, porém partindo do ponto de vista do funcionamento do sistema, Miranda (2010) divide a estrutura de um SIG em quatro subsistemas: entrada, gerência de dados, análise e saída, conforme exemplificado na Figura 14.

Figura 14 – Subsistemas e exemplos da estrutura de um SIG



Fonte: Miranda (2010)

Segundo Câmara et al. (1996), Sistemas de Informações Geográficas são sistemas usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos. Sendo assim, permitem integrar numa mesma base de dados informações espaciais de diversas fontes, e de diferentes aspectos, oferecendo mecanismos de manipulação e análise dos mesmos.

Embora muitos autores tendam a tratar da definição de SIGs partindo da perspectiva de suas funções, ao analisar fontes mais recentes (MILLER; SHAW, 2015; MIRANDA, 2010), parece haver um consenso entre autores no fato de que essa abordagem é demasiadamente restritiva. Sendo assim, uma abordagem melhor aceita entre a comunidade de SIG, segundo Miranda (2010), é aquela que, de forma

abrangente, o considera como uma ciência, e não apenas uma tecnologia ou ferramenta. Assim, Sistemas de Informações Geográficas têm sido recentemente tratados como uma ciência de informação espacial.

Contudo, para Câmara et al. (1996), as várias definições de SIG refletem a multiplicidade de maneiras como podem ser vistos e, principalmente, utilizados. O próximo capítulo apresentará algumas de suas inúmeras aplicações, especialmente importantes para o desenvolvimento deste trabalho: a possibilidade de modelagem de uma rede viária e a integração de SIG com problemas de localização-alocação.

2.3.1 SIG PARA APLICAÇÕES EM TRANSPORTES

Considerando a capacidade dos Sistemas de Informações Geográficas em subsidiar processos de tomada de decisão que envolvam informações espaciais, a utilização de SIG para aplicações em transportes tem se disseminado. Isso ocorreu de forma mais expressiva a partir da década de 1980 (THILL, 2000), e desde então, tem-se buscado aprimorar as funcionalidades de SIG às necessidades específicas da área de transportes (MAPA, 2007).

Para Miller e Shaw (2015), o fundamento de qualquer SIG com aplicação em transportes, comumente chamado de SIG-T, é a existência de uma base de dados georreferenciada, que na maior parte dos casos, estará relacionada a uma rede viária. O georreferenciamento permite a representação espacial precisa de uma rede viária, na qual nós correspondem às intersecções, junções, paradas ou pontos de transferência, e linhas representam a infraestrutura ou o serviço existente entre os nós. Os atributos de cada um destes elementos representam suas propriedades e definem a maneira como se relacionam entre si.

Contudo, no âmbito do planejamento de transportes, informações não apenas da rede viária, mas do sistema no qual está inserida, são, em grande parte dos casos, de crucial importância. O tratamento de informações socioeconômicas, populacionais, ambientais, dentre outras, já é uma característica bem consolidada dos Sistemas de Informações Geográficas, o que reitera sua importância e aplicabilidade para o planejamento de transportes.

Ademais, algoritmos capazes de resolver problemas de localização têm sido implementados em ambiente SIG. Esses algoritmos interpretam a maneira como os dados da rede viária estão dispostos e, baseando-se em métodos heurísticos e meta-

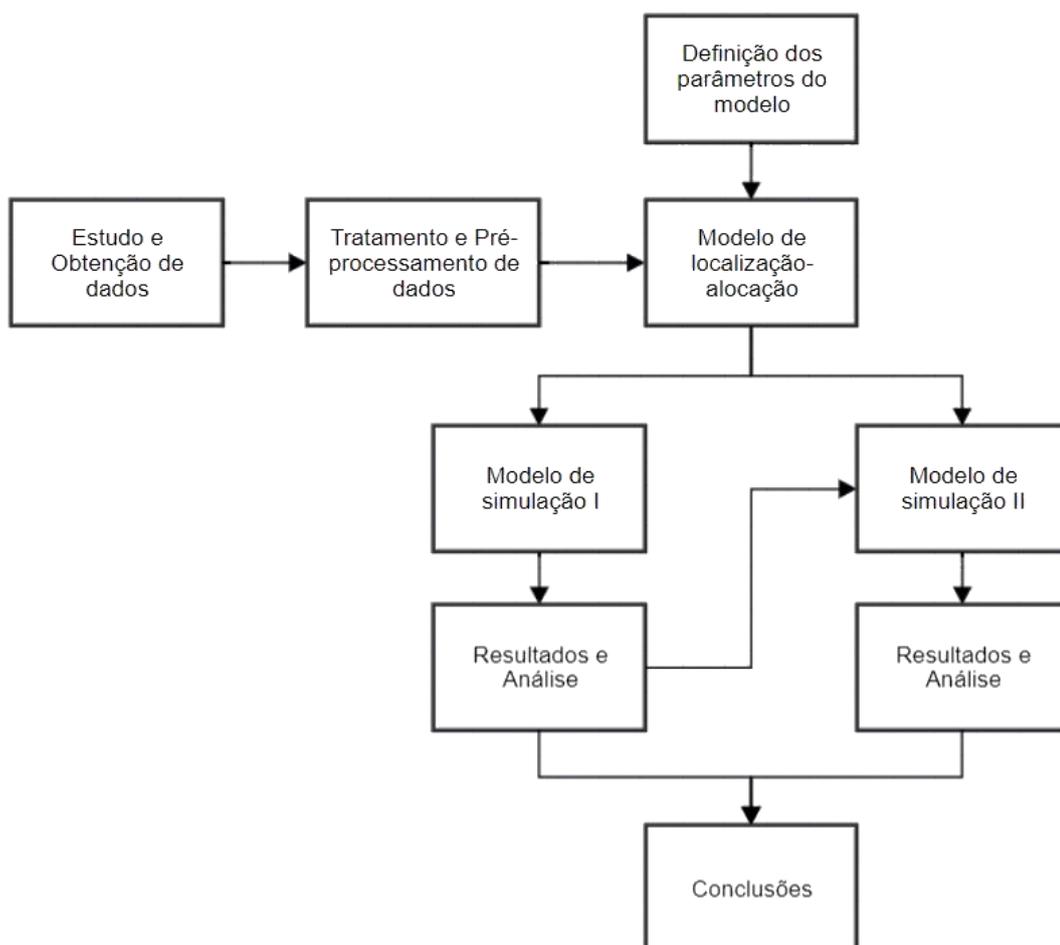
heurísticos, geram soluções para tais problemas. Assim, problemas complexos de localização de facilidades podem ser tratados através de *softwares* SIG-T, pois tornam possível a resolução de problemas de localização em um modelo de sistema viário.

Softwares SIG-T associam as atribuições de um SIG a aplicações específicas para o campo de transportes. Dessa maneira, permitem o manuseio e controle de parâmetros, tanto de modelagem quanto de análise, e a visualização e avaliação de resultados, tudo com relativa facilidade, através de uma interface gráfica (MAPA, 2007). *Softwares* SIG-T consistem, então, em uma poderosa ferramenta de auxílio à decisão e planejamento espacial. Dois exemplos de *softwares* em SIG que possuem aplicações para transportes, e que serão utilizados neste trabalho, são o TransCAD e o ArcGIS (através da extensão *network analyst*).

3 MÉTODO

O método do trabalho encontra-se ilustrado na Figura 15. A descrição de cada etapa consta no decorrer deste capítulo.

Figura 15 - Fluxograma do método



3.1 DEFINIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

A criação de um modelo de localização-alocação de facilidades no *software* ArcGIS é feita a partir de três elementos fundamentais: a malha viária, ou *network*, através da qual os deslocamentos ocorrerão; os pontos nos quais será possível localizar as instalações, ou *pontos candidatos*; e a representação espacial da demanda pelo serviço em questão, ou *pontos de demanda*. O uso do ArcGIS deu-se sob licença do Laboratório de Transportes e Logística - LabTrans/UFSC.

A definição dos dados a serem utilizados deve ser feita levando em consideração que o modelo deve consistir numa representação razoável da realidade que se deseja estudar. Sabe-se, pela bibliografia, que as distâncias que os usuários estão dispostos a caminhar para acessar um sistema de *bike-sharing* são relativamente curtas, e que a demanda para esse sistema é muito sensível com relação à localização das estações, e sua distribuição no espaço. Sendo assim, para a modelagem de um problema de localização de estações de *bike-sharing*, torna-se necessário que tanto a demanda pelo serviço quanto os pontos candidatos estejam representados de forma suficientemente discretizada. O nível de desagregação dos dados neste caso deve ser compatível a deslocamentos na escala humana, visto que o acesso dos usuários ao sistema é feito a pé.

Com relação à representação espacial da demanda, se fosse obtida a partir de dados populacionais, teríamos que o maior nível de discretização disponível em Florianópolis é o encontrado nos setores censitários do IBGE. Esses dados são relativos a contagens populacionais em áreas demasiadamente extensas para o estudo em questão, e não permitem obter a distribuição espacial da demanda da maneira requerida pelo estudo. Se obtidos a partir de dados de viagens, a maior discretização disponível seria referente às zonas de tráfego constante no estudo do PLAMUS. As zonas de tráfego utilizadas também não permitiriam uma análise adequada do modelo para implantação de *bike-share*, pelo mesmo motivo anterior.

A solução encontrada para a discretização dos pontos de demanda foi utilizar as parcelas do cadastro multifinalitário de Florianópolis, ou lotes. Cada parcela corresponde então, a um ponto de demanda. A demanda foi quantificada em termos de número de viagens. Para isso, foi necessário dispor de uma matriz origem-destino e das zonas de tráfego relativas à ela. Os pontos candidatos foram localizados utilizando a própria malha viária e as parcelas do cadastro de Florianópolis. Assim, os dados utilizados como base para a modelagem do problema, bem como respectivas fontes e descrições estão expostos a seguir.

- Matriz Origem-Destino (PLAMUS - Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis, 2014): planilha eletrônica proveniente da pesquisa domiciliar por amostragem, realizada pelo PLAMUS no período entre abril e julho de 2014;

- Zonas de tráfego (PLAMUS, 2014): camada de dados em formato *shapefile*, composta de polígonos referentes às zonas de tráfego utilizadas na modelagem do sistema de transportes, as quais representam regiões com características de mobilidade homogêneas;
- Parcelas do cadastro multifinalitário de Florianópolis (IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis): camada de dados em formato *shapefile*, composta de polígonos. Atributos alfanuméricos utilizados: área construída;
- Malha viária (IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis): camada de dados em formato *shapefile*, composta de *polylines*, representando as vias do sistema de transportes urbano, ou *links*. Atributos alfanuméricos utilizados: comprimento dos *links*.

Após a definição e obtenção dos dados, fizeram-se necessárias algumas etapas de tratamento, para que os mesmos estivessem aptos à implementação no modelo.

A primeira etapa consistiu na compatibilização do sistema geodésico de referência, ou *datum*, e do sistema de projeção geográfica utilizados pelos arquivos. O sistema escolhido foi o WGS84 (World Geodetic System 1984) por já ser o sistema de referência de maior parte dos dados e coincidir com o *datum* adotado no Brasil, o SIRGAS 2000. Foi adotado um sistema de projeção em coordenadas lineares, UTM (Universal Transversa de Mercator) para a zona 22 Sul, que abrange o município de Florianópolis.

A camada de parcelas do cadastro imobiliário apresentou um erro de posição geográfica da ordem de 60 metros, quando comparada a outras camadas. Um teste foi realizado, no qual projetou-se uma camada de referência, com *datum* e projeção conhecidos, em todos os sistemas possíveis considerando a localização de Florianópolis. Não coincidindo a posição entre as camadas de referência e de lotes em nenhuma das projeções, optou-se por realizar a correção manualmente. Isso foi feito através da ferramenta *ajuste espacial*.

3.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

A demanda foi avaliada considerando viagens entre todas as zonas de tráfego analisadas no PLAMUS. Contudo, obteve-se acesso apenas aos dados do cadastro

multifinalitário de Florianópolis. Sendo assim, a área de estudo limitou-se a este município.

O padrão de viagens de curta distância da região continental possui estreita relação com os deslocamentos no município de São José, sendo fortemente influenciada por estes. Assim, um sistema implantado apenas na região continental de Florianópolis não atenderia adequadamente a parte das viagens que ali ocorrem.

A consequência disso é que a demanda pelo sistema na região continental, principalmente nas zonas limítrofes é, na realidade, menor que a demanda considerada, o que consiste em uma das limitações do presente estudo.

3.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA DEMANDA POTENCIAL

3.3.1 OBTENÇÃO DA DEMANDA POTENCIAL

Considera-se demanda potencial a máxima possível demanda que o sistema poderia possuir. Neste caso, a demanda potencial do sistema de *bike-sharing* equivale à totalidade de viagens com características compatíveis ao seu uso. Considerou-se que as viagens compatíveis ao aluguel de bicicletas seriam aquelas cuja distância entre os centroides das zonas de origem e destino fosse menor que 8 km.

Primeiramente, fez-se necessário conectar os centroides das zonas de tráfego (contendo o número de viagens da respectiva zona) à malha viária, processo realizado através do *software* TransCAD. Posteriormente, determinou-se a distância viária entre os centroides das zonas através do *software* livre PostGIS, utilizando a funcionalidade de caminhos mínimos presente na extensão pgRouting. O uso do *software* TransCAD deu-se sob licença do Laboratório de Transportes e Logística - LabTrans/UFSC.

O resultado desse processo é uma camada de pontos que representam os centroides das zonas de tráfego, e contém o número de viagens produzidas e atraídas à respectiva zona, e que possuem distância menor que 8 km.

Vale relatar que não há interesse, neste caso, em se quantificar a demanda prevista do sistema, visto que a quantidade de viagens alocadas em cada estação afeta apenas o seu dimensionamento (número de vagas e bicicletas na estação), e não sua localização. Portanto, basta saber como a demanda se distribui, relativamente, no espaço urbano.

3.3.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

A maneira como a demanda pelo sistema encontra-se distribuída no espaço é um fator imprescindível para que a localização das estações seja definida de forma otimizada.

O transporte por bicicletas é extremamente sensível à distância (e.g. uma estação pode deixar de ser atrativa a determinado usuário se estiver localizada 100 metros além da distância que ele estaria disposto a caminhar), por esse motivo, a distribuição espacial dos pontos de demanda requer um nível de discretização muito maior para esta análise. Para obter um nível de discretização desejável, as viagens de curta distância de cada zona de tráfego foram distribuídas entre os lotes pertencentes à respectiva zona, proporcionalmente à área construída, segundo a Equação 6. O valor resultante representa o número de viagens produzidas ou atraídas para cada lote do cadastro imobiliário.

$$N_{ij} = \frac{N_j \times AC_i}{\sum_{i=1}^n AC_{ij}} \quad (6)$$

N_{ij} : número de viagens no ponto de demanda i , pertencente à zona j

N_j : número de viagens na zona j

AC_i : área construída no ponto de demanda i

AC_{ij} : área construída no ponto de demanda i , pertencente à zona j

Uma limitação deste método consiste no fato de locais que não possuem área construída, como praças e parques, não receberem valores de viagem em seus atributos, sendo desconsiderados no momento da análise de localização-alocação. Como a matriz OD foi realizada para viagens em dias típicos, essa limitação foi considerada aceitável, visto que locais sem área construída geralmente não representam um destino ou motivo de viagem rotineiro.

3.4 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o Guia de Planejamento de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas do ITDP (2013), “uma boa densidade de estações dentro da área de

cobertura é a garantia de que, onde quer que o usuário esteja, haverá uma estação a uma distância conveniente a pé, tanto da origem como do destino de sua viagem”.

Assim, ao considerarmos a área de cobertura do sistema, dois fatores devem ser levados em conta: a área de cobertura deve ser grande o suficiente para conter um conjunto significativo de pares origem-destino, mas também é recomendável que possua elevada densidade populacional, o que resulta em alta densidade de viagens.

Com relação à área de abrangência do sistema, ou área de cobertura, ITDP (2013) indica 10 km² como um parâmetro mínimo a ser seguido, muito embora alguns dos sistemas considerados eficientes pelo mesmo estudo possuam áreas de cobertura menores.

Quanto à densidade populacional, NYCDP (2009) recomenda que o enfoque do programa de bicicletas compartilhadas na cidade de Nova Iorque seja em áreas de média e alta densidade populacional, que correspondem a mais de 12300 habitantes/km². O critério de implantação segundo a densidade populacional representa uma abordagem simples e eficaz para implantação em locais onde o uso do solo é diversificado. Contudo, deve ser complementado por outros critérios em regiões onde o uso do solo não possui homogeneidade, para que estações em áreas com características predominantes de atração não venham a ser desconsideradas.

Apesar da existência de recomendações, a bibliografia não fornece critérios objetivos para a seleção da área, sendo assim, julgou-se razoável definir a área a partir da distribuição de viagens entre zonas de tráfego com distâncias compatíveis ao uso da bicicleta. Quanto maior a concentração de viagens com destino ou origem em determinada zona de tráfego, maior será o interesse em implantar o sistema nessa zona.

Os critérios utilizados para a seleção das zonas de tráfego que comporiam a área de estudo foram o número absoluto e a densidade de viagens em cada zona. O primeiro critério favorece zonas que apesar de possuírem elevada incidência de viagens, também abrangem uma grande extensão territorial, muitas vezes não com áreas não ocupadas, e por isso seriam desconsideradas se o critério fosse apenas de densidade de viagens. Já o segundo, favorece principalmente as zonas de pequena extensão e alta concentração de viagens, que seriam desconsideradas pelo primeiro critério.

Considerando os limites físicos e características da malha viária, três regiões são definidas segundo os parâmetros anteriormente descritos, conforme representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos critérios¹ nas regiões selecionadas

	Continente	Continente²	Centro	Bacia do Itacorubi
Número de viagens	213.500	170.400	189.300	151.350
Viagens / km ²	46.500	54.300	110.700	42.300

Notas: ¹ Valores aproximados

² Porção ao norte da BR-282

Nos casos em que se deseja reduzir o dispêndio inicial, é indicada a implantação em etapas, de forma a manter a densidade de estações em uma área de abrangência menor, e posteriormente incluir outras áreas, a fim de que o sistema apresente eficácia e confiabilidade, independentemente de sua extensão, contanto que as áreas de cobertura tenham continuidade através da rede viária. No entanto, a área considerada para análise consiste na união das três regiões previamente selecionadas e está representada na Figura 16.

Figura 16 - Área de estudo



Fonte: Elaboração própria

3.5 MODELAGEM DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO

O problema foi modelado através da extensão *Network Analyst*, presente no *software* ArcGIS.

3.5.1 PONTOS DE DEMANDA

Os pontos de demanda consistem em uma camada de pontos, referentes às parcelas do cadastro imobiliário, contendo atributos que correspondem ao número de viagens de cada parcela. Ao serem incluídos no modelo, ligam-se ao segmento mais próximo da rede viária.

3.5.2 PONTOS CANDIDATOS

Por consistir em um problema de caráter discreto, requer como dado de entrada pontos no espaço que possam ser escolhidos como solução, chamados pontos candidatos.

A fim de promover a acessibilidade do sistema de *bike-share*, a localização das estações deve priorizar pontos onde o acesso pelo público pode se dar por diferentes direções. Assim, foram considerados como pontos candidatos todas as interseções da malha viária (esquinas), praças e parques localizados na área de estudo.

Os terminais de ônibus não representam origens ou destinos de viagens, e consequentemente, considerando os dados utilizados nesta análise, não possuem representatividade nos pontos de demanda.

Contudo, sabe-se que um sistema de bicicletas públicas, assim como qualquer modo público de transporte deve, idealmente, ser integrado ao restante do sistema. Sendo assim, os dois terminais de ônibus presentes na área de estudo - Terminal de Integração do Centro (TICEN) e Terminal de Integração da Trindade (TITRI) - foram definidos como locais obrigatórios para alocação de estações, resultando em duas estações com localização imposta.

3.5.3 MODELO DE IMPEDÂNCIA

A impedância corresponde ao custo generalizado da viagem, e no presente trabalho, considerada como sendo função da distância que o usuário percorre a pé, do ponto de origem à estação ou da estação ao destino. A distância percorrida corresponde

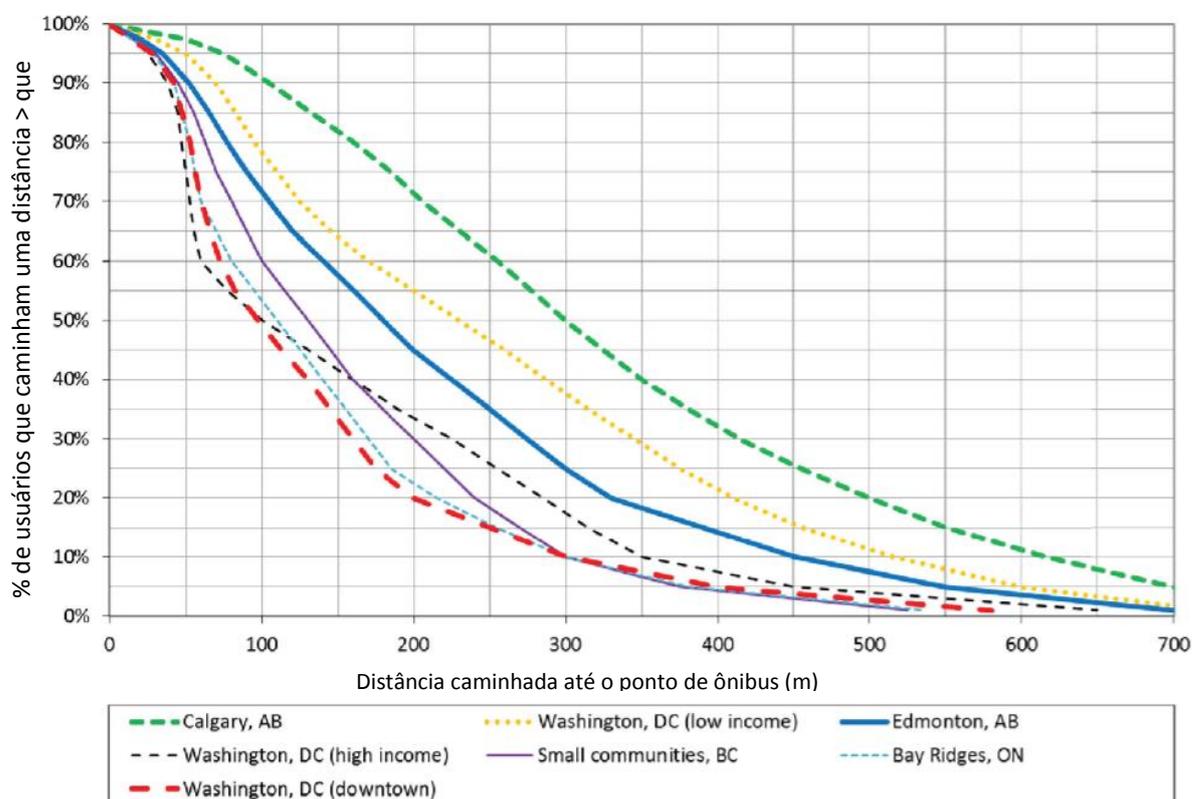
à soma da distância linear entre o ponto de demanda e o ponto mais próximo na malha viária e a distância percorrida na malha por um caminho mínimo até a estação.

Existem diversos modelos que podem ser utilizados para descrever a função impedância, embora ainda não existam na literatura modelos para o caso específico de bicicletas públicas.

A forma como a impedância é calculada influencia a escolha da localização das estações pelo programa, visto que este busca minimizar o somatório das impedâncias da demanda alocada em cada estação.

Conforme dados da TRB (2013, p. 4–18), a relação entre a frequência ou probabilidade da utilização do transporte público em função da distância percorrida a pé até uma estação consta na Figura 17. A probabilidade de utilização é considerada em relação à totalidade dos usuários de ônibus, ou seja, não considera modos concorrentes. A relação entre utilização e distância caminhada pode ser descrita por uma curva exponencial negativa, praticamente nula para distâncias acima de 800 metros.

Figura 17 - Utilização do transporte público em função da distância caminhada



Fonte: TRB (2013)

Zhao et al. (2003) encontraram os parâmetros desta equação exponencial (Equação 8) para a região de Miami, para a qual reiteram que a frequência torna-se praticamente zero para distâncias acima de 800 metros.

$$P(d_{i,j}) = a \cdot e^{b \cdot (d_{i,j})} \quad (7)$$

$$P(d_{i,j}) = 1,0126 \cdot e^{-0,0013 \cdot (d_{i,j})} \quad (8)$$

$P(d_{i,j})$: probabilidade de utilização do transporte público, em função de $d_{i,j}$

$d_{i,j}$: distância do ponto i ao ponto j , em pés

a, b : parâmetros da função

Segundo Zhao et al. (2003), o valor da constante a resulta da normalização das frequências de utilização do transporte público para se obter a equação probabilidade com valor máximo igual a 1,0. Porém, essa constante não influencia a taxa exponencial através da qual a probabilidade varia, e portanto, não apresenta importância.

A inversa da equação de probabilidade fornece os parâmetros que definem o crescimento da impedância em função da distância até a estação, segundo o modelo da Equação 9. Além disso, se a for igual a 1,0, essa equação equivale ao modelo de impedância utilizado pelo *software* quando a relação entre as variáveis for definida pelo usuário como sendo exponencial.

$$i(d_{i,j}) = a \cdot e^{b \cdot (d_{i,j})} \quad (9)$$

$i(d_{i,j})$: custo generalizado como função de $d_{i,j}$

$d_{i,j}$: distância do ponto i ao ponto j

a, b : parâmetros da função

$$\frac{1}{P(d_{i,j})} = i(d_{i,j}) = e^{0,0013 \cdot (d_{i,j})} \quad (10)$$

$$i(d_{i,j}) = e^{4,3 \cdot (d_{i,j})} \quad (11)$$

$d_{i,j}$: distância do ponto i ao ponto j , em quilômetros

Assim, calculando a inversa da equação encontrada por Zhao et al. (2003) (Equação 10) e convertendo para unidades em quilômetro (Equação 11), temos $b \cong 4,3$. Essa relação entre impedância e distância será utilizada no Modelo II de simulação.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os casos de análise e respectivos resultados.

4.1 MODELO I

O primeiro modelo de simulação tem como objetivo comparar e avaliar as diferentes recomendações fornecidas pela bibliografia com relação ao espaçamento entre as estações, que estão descritas em 2.1.4. Também busca-se analisar a consistência entre os espaçamentos recomendados e a densidade de estações resultante dos mesmos, visto que a densidade de estações é tida como uma diretriz de planejamento para sistemas de *bike-sharing*.

Nesta análise é utilizado um modelo que soluciona a quantidade mínima necessária de estações para que a totalidade dos pontos de demanda seja atendida, para um dado limite de impedância. O limite de impedância da estação é, neste caso, a distância a partir da qual os pontos de demanda não são alocados à estação em questão. Assim, para cada limite de impedância considerado, haverá um número mínimo de estações para que se tenha a cobertura de toda a demanda.

Para isso, é utilizado o problema de localização-alocação que busca minimizar o número de estações, correspondente à análise “minimizar instalações” existente no *Network Analyst*.

Por sua definição, o limite de impedância pode equiparar-se ao raio de cobertura da estação. A diferença está no fato de a impedância ser medida ao longo de percursos realizados na malha viária, e o raio de cobertura ser usualmente tratado como uma distância linear.

Para comparação das recomendações apresentadas pela bibliografia, a análise foi feita utilizando valores limites de impedância de 150 e 300 metros representando o considerado por ITDP (2013) e NACTO (2015), respectivamente. Devido à abordagem do ITDP empregar uma distância linear, espera-se que a densidade de estações resultante do modelo com impedância limite igual a 150 metros resulte em um valor maior que 14,1 estações por km², que provém da localização de estações com raio de cobertura de 150 metros.

Conforme mencionado no item 3.5.3, o modelo de impedância, isto é, a maneira como a impedância varia em função da distância, influencia apenas na seleção da

localização das estações. Neste primeiro momento não interessa analisar sua localização, apenas a quantidade de estações necessárias para cobrir a área a um dado limite de impedância. Sendo assim, neste modelo de simulação, a equação de impedância foi considerada linear, ou seja, o custo generalizado do deslocamento é diretamente proporcional à distância do mesmo.

Outro objetivo dessa análise é de comparar os métodos pelos quais ITDP (2013) e García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012) analisam a distribuição espacial das estações, respectivamente, segundo a densidade de estações e segundo a proximidade entre elas, conforme descrito no item 2.1.4.

Para o cálculo das distâncias das estações do sistema às suas estações mais próximas, foi utilizada a ferramenta do *Network Analyst* que soluciona o problema de instalações próximas.

4.1.1 RESULTADOS

Os pontos de demanda que não puderam ser alocados a nenhuma estação foram desconsiderados, por estarem afastados de qualquer ponto candidato, a uma distância maior que a distância limite. Além disso, os pontos de demanda sem área construída, mesmo considerados no modelo de análise, têm peso zero, portanto não geram linhas de desejo para as estações.

Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 4. A área de abrangência do sistema e a densidade foram calculadas da mesma forma que em ITDP (2013), descritas no item 2.1.4. Portanto, a área de abrangência corresponde à área cujo limite é obtido por raios de 500 metros em torno das estações perimetrais do sistema, porém, é também limitada pela orla marítima e pelos limites das zonas de tráfego que compõem a área de estudo.

A distância linear média entre estações equivale ao diâmetro de uma circunferência cuja área é igual à área do sistema dividida pelo número de estações. É importante salientar que a densidade de estações e a distância linear média são calculadas em função da área do sistema.

Tabela 4 - Resumo dos resultados de distribuição espacial - Modelo I

Caso	Referência	Impedância limite [km]	Estações	Área [km ²]	Densidade [estações/km ²]	Distância linear média entre estações [m]
1	NACTO	0.30	192	39.3	4.9	510
2	ITDP	0.15	626		15.9	283

Pela definição do problema de localização, temos que no primeiro caso, todos os pontos de demanda encontram-se a no máximo 300 metros de pelo menos uma estação. Em outras palavras, para uma impedância-limite de 300 metros, tem-se a cobertura total do sistema com 192 estações. Da mesma forma, para uma impedância-limite de 150 metros, tem-se a cobertura total do sistema com 510 estações.

Como esperado, a densidade obtida no segundo caso é maior que a densidade de 14,1 estações por km², resultante da distribuição (linear) de uma estação a cada 300 m. Isso se deve à alocação dos caminhos percorridos na malha resultar em uma abrangência menor que se fossem consideradas distâncias lineares entre demanda e estação, assim, tornam-se necessárias mais estações.

Figura 18 - Resultado do Modelo I - Caso 2



Fonte: Elaboração própria

Ao calcular a distância média linear para o Caso 2 a partir da área e densidade que constam na Tabela 4, obtém-se uma distribuição de uma estação a cada 283 m.

Porém, ao observar a Figura 18, percebe-se visualmente que o espaçamento entre estações é na verdade muito menor. Isso se deve ao fato que a área de abrangência do sistema calculada conforme ITDP (2013) e mostrada na Figura 18, inclui regiões de morro e mangue, que não necessariamente são atendidas pelo sistema, nem pelo modelo. Assim, a densidade nas regiões realmente atendidas pelo sistema é maior que 15,9 estações por km².

Entende-se que sistemas que não possuam uniformidade com relação à sua disposição no espaço, como neste caso, em função de barreiras geográficas, apresentam um valor de densidade distorcido, devido a área considerada ser maior que a área em que o sistema realmente atua. Na Tabela 5, a área do sistema foi alterada, para que correspondesse apenas à área de cobertura do sistema viário na região, considerada como a área dentro de um limite distante de 50 m das vias. Assim, de 39,3 km², passou a ter 28,8 km² de extensão.

Tabela 5 - Resultados corrigidos após reconsideração da área

Caso	Referência	Impedância limite [km]	Estações	Área corrigida [km ²]	Densidade [estações/km ²]	Distância linear média entre estações [m]
1	NACTO	0.30	192	28.8	6.7	437
2	ITDP	0.15	626		21.7	242

Percebe-se que mesmo utilizando métodos objetivos para obtenção da área nas Tabelas 4 e 5, houve uma variação significativa dos valores encontrados. O resultado disso é que um mesmo cenário, quando avaliado por sua densidade de estações, pode ser considerado satisfatório ou não, em função da área adotada. Isso ocorreu de forma mais clara no Caso 2, que a princípio consistia em uma boa solução, por apresentar uma densidade de estações semelhante ao recomendado por ITDP (15,9 estações/km²), mas que, em segunda análise, mostrou-se superdimensionado (21,7 estações/km²), considerando o mesmo parâmetro de comparação anterior.

Alternativamente, na Tabela 6, avaliou-se a distribuição espacial das estações segundo a média das distâncias às estações mais próximas a ela, através do problema de instalações próximas. Entende-se que esta abordagem consiste numa maneira mais confiável de se avaliar a distribuição das estações na malha viária, visto que não depende da consideração da área de cobertura. Além disso, fornece valores de distância que correspondem aos deslocamentos reais percorridas na malha.

Tabela 6 - Distâncias entre estações

Caso	Referência	Impedância limite [km]	Estações	Distância média à estação mais próxima [m]	Distância média às três estações mais próximas [m]
1	NACTO	0.30	192	269	353
2	ITDP	0.15	626	154	208

Pela Tabela 6, uma estação em um sistema composto de 192 estações possui 3 outras estações a uma distância média de 353 m. Sob a perspectiva da distribuição espacial, entende-se que a solução apresentada nesse caso é satisfatória, pois a distância média entre as estações mais próximas é equiparável³ ao espaçamento entre estações de 300 m, considerado adequado segundo ITDP (2013). A conclusão a que se chega é oposta ao indicado pelas densidades de estações encontradas para esse cenário nas Tabelas 4 e 5, pois em ambos os casos é menor que 10 estações/km², a densidade mínima recomendada pela bibliografia.

Um fator que contribui para com a necessidade de aumentar o número de estações é a falta de conectividade da rede viária, que ocorre em diversos locais do sistema e está exemplificada pela Figura 19. Entende-se que o Caso 2 seja mais sensível ao fator em questão, visto que apresenta maior restrição quanto à alocação da demanda.

A estação localizada na R. Joaquim Fernandes de Oliveira poderia ser desconsiderada caso houvesse ligação com a Av. Patrício Caldeira de Andrade. Nesse caso, sua demanda seria absorvida pelas estações próximas, levando a uma maior utilização e conseqüente melhor aproveitamento das mesmas. Nota-se também que os pontos de demanda alocados à estação da R. Joaquim Fernandes de Oliveira são poucos, de forma que as receitas nela geradas poderiam não vir a abater os custos inerentes à mesma. Em outras palavras, as estações nessa região têm menor alcance e utilização.

³ Tendo em vista que se compara o espaçamento linear de 300 m à distância percorrida na malha de 353 m, é válido ressaltar que um percurso alocado na malha viária possivelmente corresponde a uma distância linear inferior, tornando a comparação razoável.

Figura 19 – Exemplo de descontinuidade da malha – Caso 2



Fonte: Elaboração própria

A área que cada estação atende diminuiu aproximadamente 4 vezes do Caso 1 para o Caso 2. Assim, espera-se que o número de estações necessárias no segundo caso seja aproximadamente 4 vezes maior. Ademais, somando-se o fato de o Caso 2 ser mais sensível à existência de *links* desconexos, o esperado seria que o número de estações fosse de pelo menos 4 vezes o número do Caso 1. Contudo, o número de estações obtido é 3,26 vezes maior. Entende-se que isso se deve ao fato de que no segundo caso alguns pontos de demanda deixaram de ser alocados, por não haver pontos candidatos dentro da distância limite, conforme consta na Tabela 7. Os custos referem-se às distâncias percorridas entre os pontos de demanda e as estações às quais foram alocados.

Tabela 7 – Resumo dos resultados de demanda e custo – Modelo I

Caso	Referência	Demanda potencial alocada	Σ Custos
		[viagens]	[km]
1	NACTO	631234	4420
2	ITDP	617606	2170

O exposto anteriormente reflete também uma limitação do modelo utilizado, com relação à discretização dos pontos candidatos, que se encontram nos nós da malha. Este fenômeno poderia ser amenizado caso os pontos candidatos estivessem melhor discretizados, de forma a fornecer maior número de possibilidades para a localização das estações. Assim, a estação localizada ao final da R. Joaquim Fernandes de Oliveira poderia ser localizada em um ponto intermediário da mesma, minimizando os custos de deslocamentos da demanda alocada a ela. Isso também aumentaria a demanda absorvida pela estação em questão, pois a distância até outros pontos de demanda seria menor.

Esta análise avaliou o número de estações necessárias para cobrir totalmente a demanda segundo duas recomendações de espaçamento distintas. Porém, no dimensionamento do sistema, nem todos os pontos de demanda precisam necessariamente ser alcançados, pois deve-se buscar a máxima utilização da infraestrutura. Além disso, sabe-se que uma estação pode atender usuários que estejam a uma distância maior que os limites de impedância usados, para fins de análise, no Modelo I. Com a finalidade de encontrar a melhor localização das estações, maximizando a cobertura da demanda, utilizou-se o Modelo II.

4.2 MODELO II

Através desta simulação, as estações são localizadas de forma que a maior quantidade de demanda possa ser alocada. Para isso, é utilizado o problema de localização-alocação que visa maximizar a cobertura da demanda, correspondente à análise “maximizar cobertura” existente no *Network Analyst*. Se o programa de necessidades do sistema visa alcançar o maior número possível de usuários, esta é a análise recomendada para que se defina a localização das estações (GARCÍA-PALOMARES; GUTIÉRREZ; LATORRE, 2012). Neste problema, o número de estações passa a ser um dado de entrada.

O objetivo desta análise é avaliar a variação dos custos de deslocamento e o espaçamento entre estações, ambos em função do número de estações, a fim de fornecer parâmetros que subsidiem o planejamento e implementação de um sistema de compartilhamento de bicicletas em Florianópolis.

Dos resultados do Modelo I, tem-se que um sistema modelado segundo o Caso 1, com 192 estações, é considerado relativamente adequado, e que um sistema modelado segundo o Caso 2, com 626 estações, está superdimensionado. Assim, os cenários do Modelo II são escolhidos de forma a variar o número de estações em intervalos de 50 estações, próximos a 192⁴. Logo, os cenários analisados possuem 100, 150, 200, 250 e 300 estações.

Com respeito à impedância-limite adotada no modelo, tem-se, do item 3.5.3, que a probabilidade de utilização do transporte público tende a zero quando a distância para acessá-lo é maior que 800 m. Porém, sabe-se que a distância que um usuário se dispõe a caminhar até o transporte público é proporcional à distância total do deslocamento, e que deslocamentos pelo modo bicicleta são em geral menores que por outros modos de transporte público. Em outras palavras, a distância adotada neste modelo deve ser menor que 800 m. Logo, definiu-se 500 m como sendo a impedância de corte para que um ponto de demanda seja alocado à determinada estação. Embora autores (GARCÍA-PALOMARES; GUTIÉRREZ; LATORRE, 2012; LIN; YANG, 2011) assumam valores-limite de impedância ainda menores (respectivamente, 200 e 300 metros), compatíveis com distâncias de caminhada até as estações, sabe-se que uma estação pode atender usuários que estejam a uma distância maior que essa.

A escolha por um limite de 500 m visa uma aproximação do modelo de localização à realidade, de forma que menos pontos de demanda sejam excluídos da análise. Outra implicação dessa escolha é que a posição das estações é definida considerando, inclusive, a influência de pontos de demanda que estejam mais afastados, porém em menor influência, conforme o modelo de impedância utilizado, segundo a Equação 11.

4.2.1 RESULTADOS

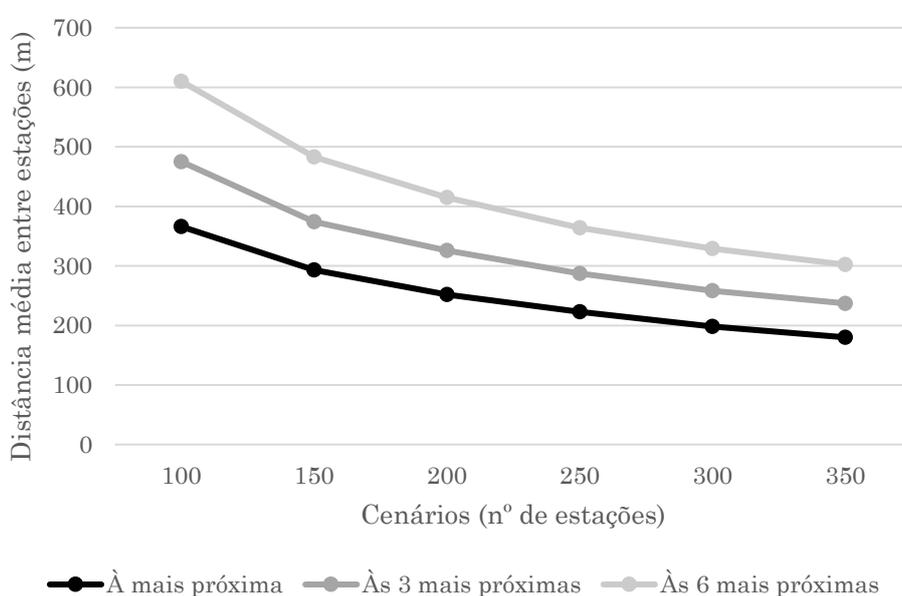
Os resultados de todos os cenários de análise considerados estão apresentados nos mapas da Figura 22 a Figura 26. Os resultados da análise de distribuição espacial encontram-se na Tabela 8 e Figura 20.

⁴ Não se considerou 192 estações como um dos cenários analisados no Modelo II pois este valor fornece apenas uma ordem de grandeza da qual partirá a presente análise. Também não há interesse em estabelecer um valor preciso para os cenários de análise; o interesse está na variação dos custos de deslocamento e do espaçamento entre estações, conforme variam os cenários.

Tabela 8 - Resultados da distribuição espacial para o Modelo II

Cenário [n° de estações]	Incremento %	Distância média entre estações [m]					
		À mais próxima	Redução %	Às 3 mais próximas	Redução %	Às 6 mais próximas	Redução %
100	-	366	-	475	-	610	-
150	50%	293	-20%	374	-21%	483	-21%
200	33%	252	-14%	326	-13%	415	-14%
250	25%	223	-12%	287	-12%	364	-12%
300	20%	198	-11%	258	-10%	329	-10%
350	17%	180	-9%	237	-8%	302	-8%

Figura 20 - Distância média entre estações



Quanto maior o número de estações, menos significativa é a redução do distanciamento entre as mesmas. Por exemplo, um incremento de 50 estações, entre os cenários de 250 e 300 estações, produz uma redução da distância média entre as estações mais próximas, para uma, três e seis estações de respectivamente 25, 29 e 35 m. Essas distâncias são bastante pequenas, mesmo considerando a magnitude dos deslocamentos considerados neste trabalho, já relativamente pequena. Além disso, poderão ser superadas em muitos casos, devido à adequação da localização das estações à infraestrutura local.

Pelo exposto anteriormente, entende-se que do ponto de vista da distribuição espacial das estações, não é vantajoso um sistema com mais de 250 estações. Essa afirmação é corroborada pelos dados da Tabela 9, na qual verifica-se que um incremento de 50 estações no sistema diminui o custo médio relativo ao deslocamento, ou seja, a distância entre o ponto de demanda e a estação em apenas 9 m (de 89 m para

80 m). A curva de variação do custo médio por viagem para cada cenário encontra-se na Figura 21. A maior taxa de decréscimo dos custos encontra-se no ponto de início do intervalo considerado (100 estações).

A probabilidade de utilização do sistema foi calculada pela Equação 12, descrita em 3.5.3, e ajustada para unidades em quilômetro.

$$P(d_{i,j}) = 1,0126 \cdot e^{-4,3 \cdot (d_{i,j})} \quad (12)$$

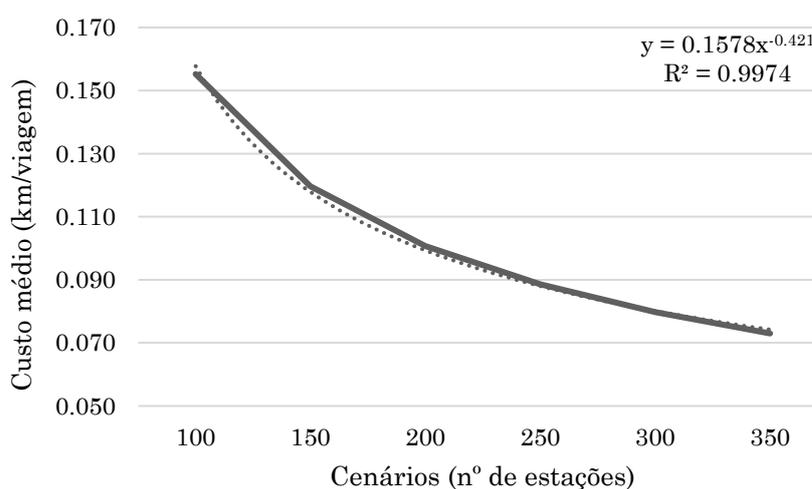
$P(d_{i,j})$: probabilidade de utilização do modo, em função de $d_{i,j}$

$d_{i,j}$: distância do ponto i ao ponto j , em quilômetros (custo médio por viagem)

Tabela 9 - Custos associados ao deslocamento (impedância)

Cenário [n° de estações]	Σ Custos alocados [km]	Demanda potencial alocada [viagens]	Custo médio por viagem [km/viagem]	Probabilidade de utilização
100	98011		0.155	52%
150	75558		0.120	61%
200	63588	631310	0.101	66%
250	55943		0.089	69%
300	50385		0.080	72%
350	46085		0.073	74%

Figura 21 - Variação do custo médio por viagem



A distância média entre uma estação e as estações mais próximas altera-se de forma expressiva até o cenário de 250 estações. Sendo, porém, necessário analisar mais profundamente a influência que a distância entre estações exerce sobre a demanda e sobre os custos para traçar conclusões mais precisas a este respeito.

Figura 22 - Resultado do Modelo II para 100 estações

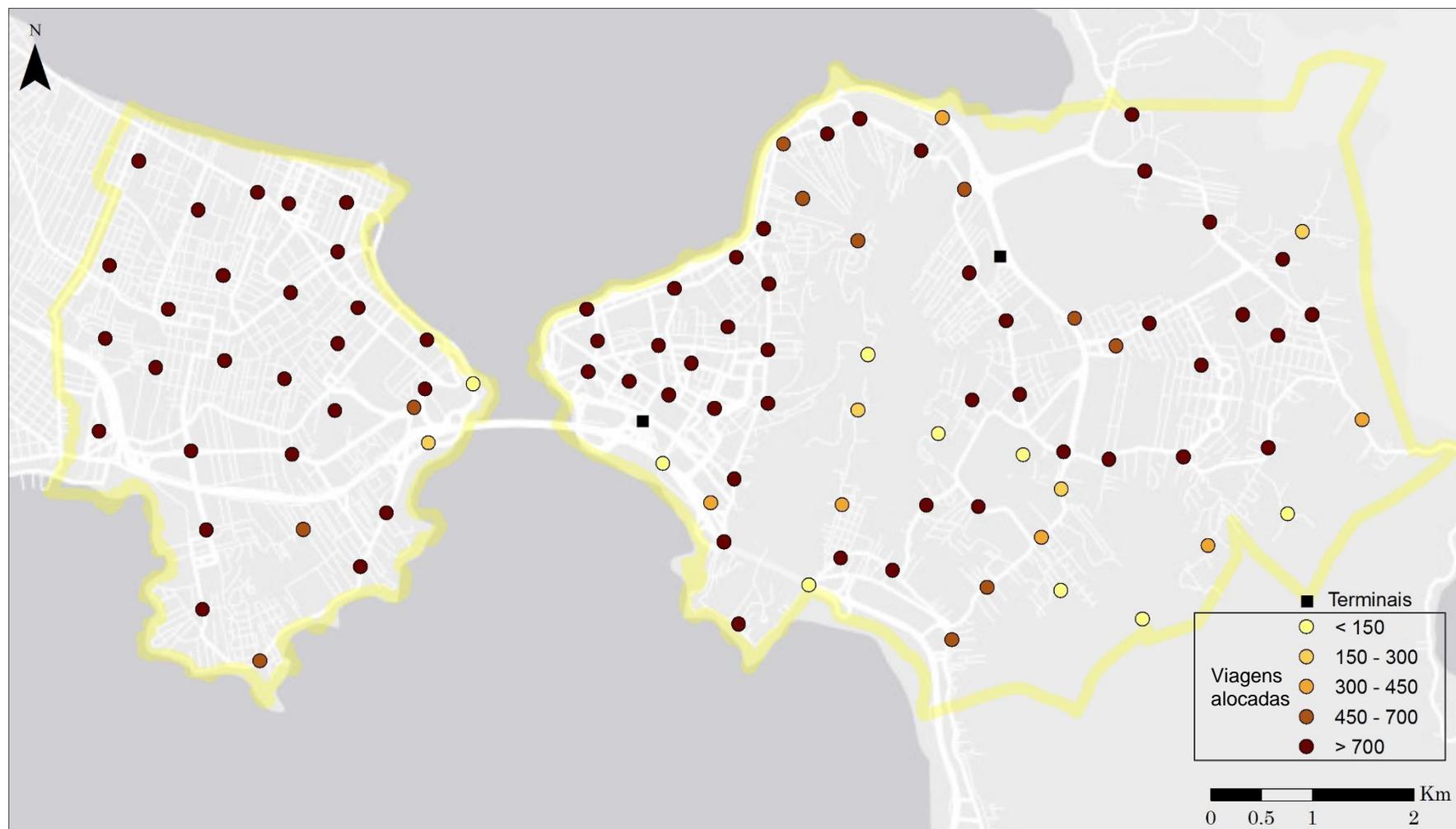


Figura 23 - Resultado do Modelo II para 150 estações

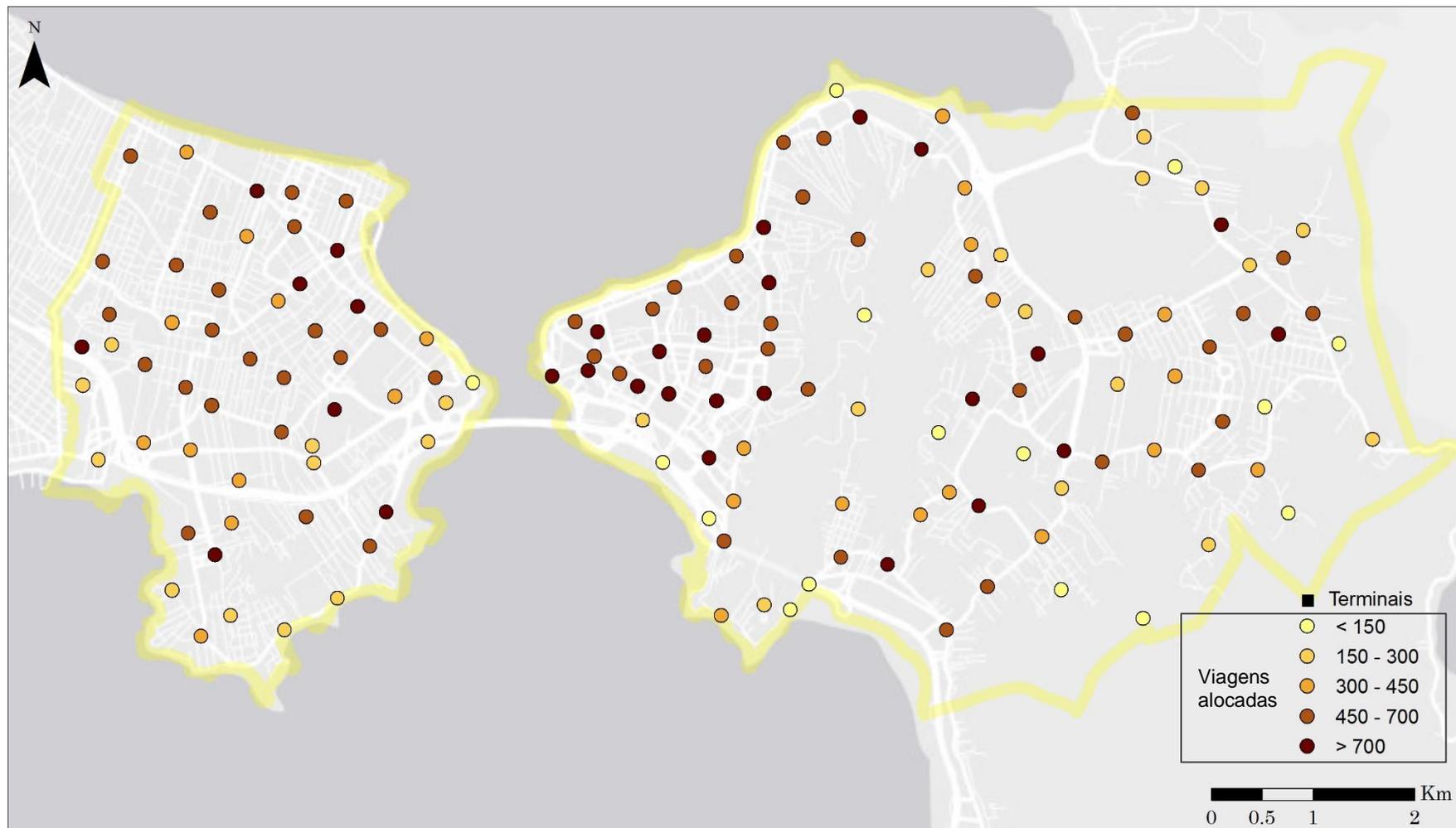


Figura 24 - Resultado do Modelo II para 200 estações

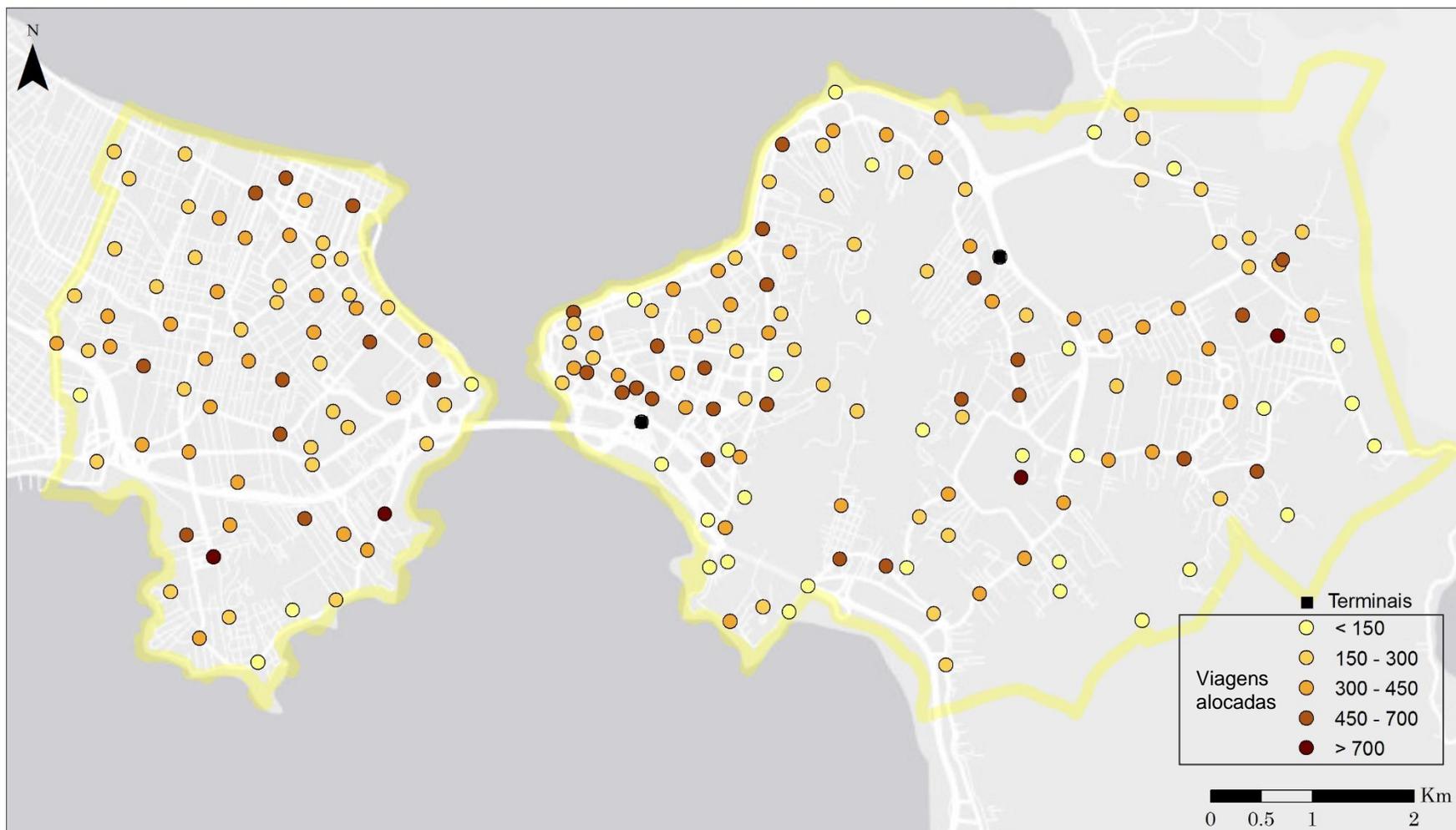


Figura 25 - Resultado do Modelo II para 250 estações

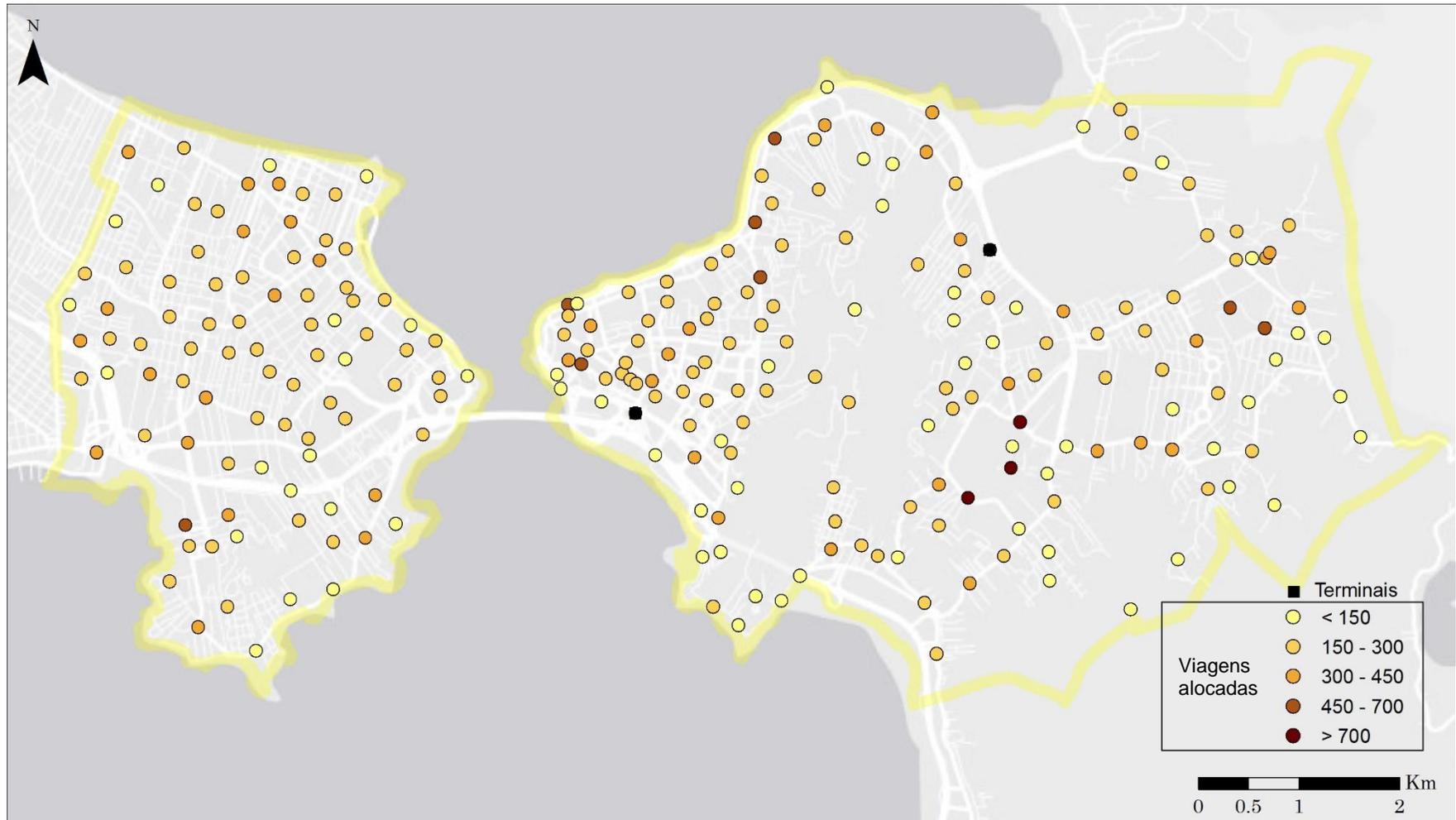
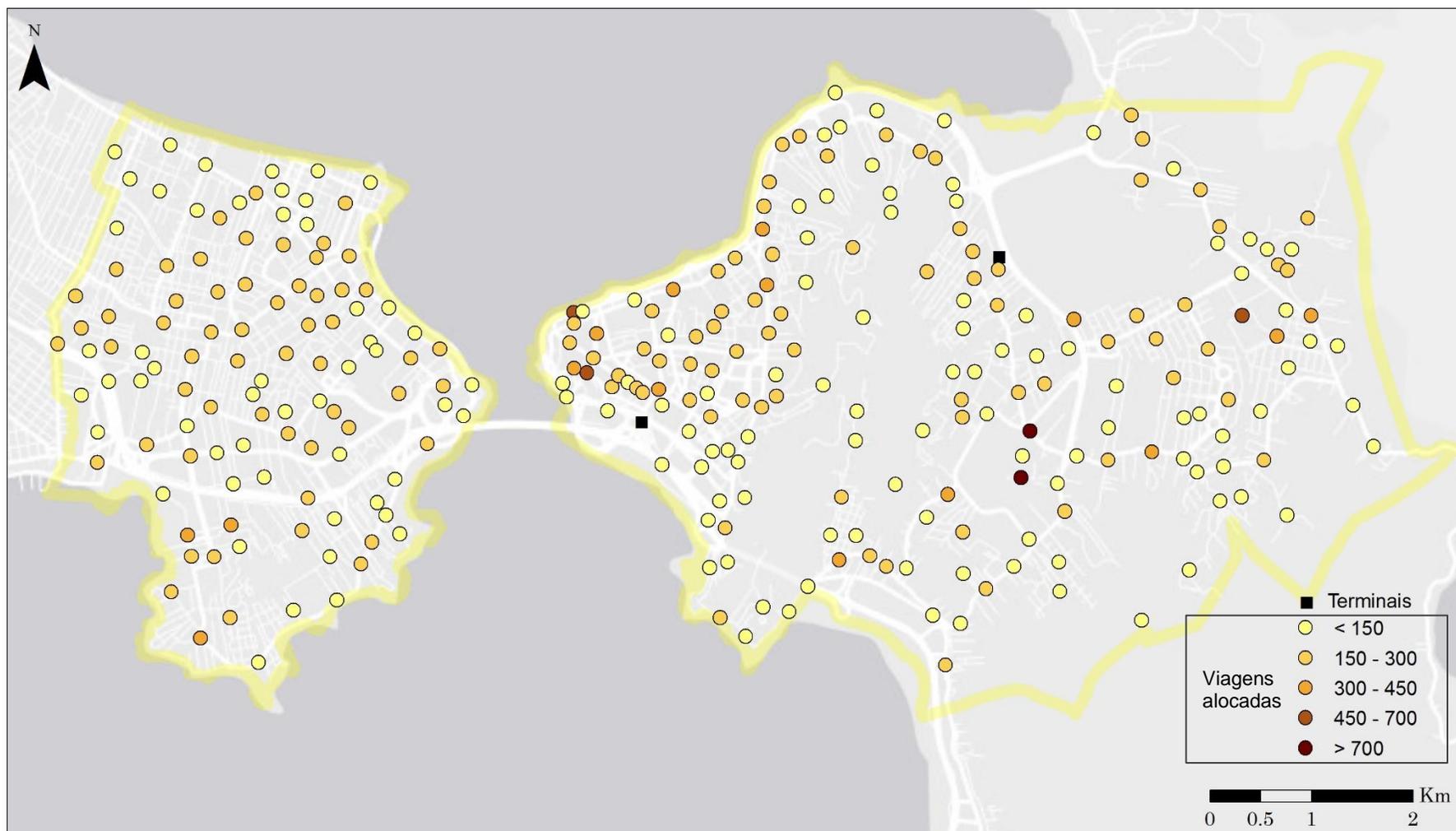


Figura 26 - Resultado do Modelo II para 300 estações



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 MODELO I

Através dos casos do Modelo I, conclui-se que a divergência das fontes bibliográficas com relação aos parâmetros de projeto a serem seguidos pode acarretar em uma diferença de resultados bastante expressiva.

Ao analisar o Caso 2, primeiramente percebeu-se que o método utilizado por ITDP (2013) para avaliar os sistemas de *bike-sharing* pode resultar em inconsistências, como no caso de Florianópolis, onde a distância entre estações obtida em função da densidade de estações, como apresentado pelo ITDP, não correspondeu à observada na Figura 18.

Quando o sistema é dimensionado segundo o espaçamento proposto, pela NACTO no Caso 1 e pelo ITDP no Caso 2, e submetido à análise da densidade de estações proposta pelo ITDP, são considerados, respectivamente, subdimensionado e adequado. Ao realizar a correção da área a fim de eliminar locais que não dispõem de infraestrutura para que o sistema atue, devido à inconsistência descrita no parágrafo anterior, ambos os dimensionamentos são considerados inadequados. Ao avaliar os sistemas segundo o problema de instalações próximas, entende-se que o Caso 1 possui distribuição espacial de estações mais próxima do recomendado que o Caso 2.

Tabela 10 - Tabela-resumo análises do Modelo I

Análise	Parâmetro de análise / Valor de referência (d)	Caso 1	Caso 2
1 Densidade de estações	estações/km ² / 10 < d < 16 (ITDP)	4.9 subdimensionado	15.9 OK
2 Densidade de estações - área corrigida	distância média às 3 estações mais próximas / d ≈ 300 m (ITDP)	6.7 subdimensionado	21.7 superdimensionado
3 Instalações próximas		353 OK	208 não conclusivo ¹

Notas: ¹ É razoável, porém, que se considere superdimensionado para valores abaixo do valor de referência, pelo constatado na nota de rodapé da pág. 46.

Assim, demonstrou-se de forma simples que as conclusões podem variar significativamente quando um sistema é analisado em função de parâmetros que dependam da sua área de cobertura, e, especificamente com relação ao número de estações, o mesmo pode ser considerado satisfatório ou não.

Conclui-se pela análise do Modelo I que a distribuição espacial obtida através do problema de instalações próximas fornece, de forma simples, resultados mais confiáveis que se empregadas abordagens em função da área do sistema.

Entende-se que as diretrizes de planejamento propostas pelo ITDP devem ser usadas com cautela, principalmente no que diz respeito à distribuição espacial das estações. Essas diretrizes foram obtidas a partir da análise de indicadores de eficiência que, em última instância, derivam da área de abrangência considerada.

A partir do exposto, enfatiza-se que no planejamento de transportes, é indispensável considerarmos as especificidades de cada local, o que permite propor soluções mais próximas do considerado ideal, que atendam ao programa de necessidades de forma mais eficaz. Sendo assim, não é recomendável respaldar o dimensionamento de um sistema de bicicletas compartilhadas unicamente nas diretrizes de projeto apresentadas na bibliografia.

Quando a área de abrangência da estação é demasiadamente restringida pelo limite de impedância utilizado, como no Caso 2, o modelo torna-se mais sensível a descontinuidades na malha, com conseqüente aumento do número de estações. Conclui-se então que o formato da malha, em muitos casos conseqüência direta dos padrões de ocupação e uso do solo, pode ocasionar em uma distribuição de estações menos eficiente, podendo vir a influenciar os custos do sistema.

Outra conclusão obtida a partir da análise do Modelo I é que quando considerados raios de abrangência da estação, ou limites de impedância, muito pequenos, a discretização de pontos candidatos utilizada no método apresentado não é satisfatória.

5.2 MODELO II

Para fins de comparação, o Modelo I busca maximizar a cobertura utilizando o menor número possível de instalações, assim as estações tendem a ficar mais uniformemente distribuídas na malha e mais espaçadas entre si. Já, o Modelo II busca localizar as estações de forma que a maior demanda possível seja alcançada, assim, em cenários com menos estações, estas tendem a ficar mais concentradas em regiões com maior densidade de demanda. Porém, conforme aumenta o número de estações, o problema de maximização de cobertura encontra novas localizações de forma a

minimizar os custos de deslocamento, ou seja, resulta em um sistema com estações mais distribuídas, assemelhando-se a um problema de minimização de impedância, de acordo com o constatado por García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012). Isso pode ser percebido, por exemplo, pelos valores de viagens alocadas a cada estação na Figura 26, na qual a demanda distribui-se de maneira mais uniforme entre as estações, se comparada à Figura 24.

A partir da análise do Modelo II pode-se concluir que para cenários contendo a partir de 250 estações, a redução das distâncias é quase insignificante, considerando a escala dos deslocamentos considerados. Isso também corrobora as conclusões obtidas através do Modelo I, de que o Caso 2 é superdimensionado, mesmo aparentando adequação em primeira análise.

A variação dos custos de deslocamento até a estação é uma função decrescente que não possui pontos de máximo e mínimo intermediários, sendo assim, não pode ser otimizada de forma independente. O número ideal de estações a compor o sistema não pode ser obtido unicamente a partir das características do próprio sistema, sem considerar outros custos envolvidos.

Sabe-se que aumentando o número de estações que compõem o sistema, menores serão os custos de deslocamento, e maior sua utilização. Assim, ter acesso ao modo como os custos inerentes ao deslocamento variam no espaço urbano em questão (Figura 21) possibilita uma análise mais objetiva do número de estações a compor o sistema, bem como das tarifas a serem cobradas.

A solução do número ideal de estações torna-se parte do processo de tomada de decisão. Sua abordagem pode ser feita de diversas formas, dentre elas, comparando-se a variação dos custos de deslocamento à variação dos custos de implementação, ambos em função do número de estações. Ou então, somando-se o custo de deslocamento aos outros custos pertinentes ao usuário, de forma a mantê-los dentro de um intervalo que garanta a competitividade do modo frente a outros modos de transporte.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

São elencadas possíveis melhorias que visam a aproximação dos modelos à realidade, em futuras aplicações.

Como mencionado em 3.2, o padrão de viagens de curta distância da região continental possui é fortemente influenciado pelos deslocamentos no município de São José. Conforme mencionado por Lemos (2015, p. 153), sugere-se considerar o sistema de forma integrada em ambos os municípios, visto que áreas são conurbadas, e não há limitação física que impeça o deslocamento entre essas áreas.

Recomenda-se também utilizar uma malha em que estejam modeladas todas as vias transitáveis por pedestres, de forma a mitigar a descontinuidade dos caminhos percorridos até as estações, e tornar o modelo mais próximo da realidade.

Em se tratando do processo de planejamento de transporte urbano, próximas etapas consistiriam na determinação da demanda, e de sua elasticidade com relação às características do serviço oferecido, especialmente o número de estações. Isso pode ser feito utilizando a relação apresentada na Figura 21.

Isso possibilitaria uma análise de custos, que vise otimizar a relação entre os custos de implantação, tarifas e demanda prevista. Em última instância, define-se o número de estações a compor o sistema. Após essa definição, recomenda-se avaliar a utilização das estações conforme método proposto por García-Palomares, Gutiérrez e Latorre (2012) e descrito no item 2.1.5 da revisão bibliográfica, de forma a eliminar estações que apresentem baixa utilidade, e conseqüente baixo retorno de capital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. Relatório Comparativo 2003-2012.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/userFiles/SIMOB/Comp_Sum%20Exe_03_12_V1.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017.

BANISTER, D. Sustainable Transport and Public Policy. In: KIM, T. J. **Transportation Engineering and Planning.** Oxford: Eolss, 2009. v. 2p. 192–214.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** [s.l.] Atlas, 2001.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** [s.l.] Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Campinas: UNICAMP, 1996.

CARVALHO, C. H. R. DE. Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil. **Textos para Discussão**, n. 2198, 2016.

COMISSÃO EUROPEIA. **Cidades para bicicletas, cidades de futuro.** Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2000. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_pt.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2017.

CURRAN, A. **Translink public bike system feasibility study.** Vancouver: [s.n.], 2008. Disponível em: <<http://www.cleanairinstitute.org/cops/bd/file/tnm/19-bikesystem.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

DEMAIO, P.; MEDDIN, R. **The bike-sharing world map.** Disponível em:

<www.bikesharingmap.com>. Acesso em: 2 abr. 2017a.

DEMAIO, P.; MEDDIN, R. **The Bike-sharing Blog**. Disponível em: <<http://bike-sharing.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2017b.

DILL, J.; VOROS, K. Factors Affecting Bicycling Demand: Initial Survey Findings from the Portland, Oregon, Region. **Transportation Research Record**, v. 2031, p. 9–17, dez. 2007.

ESRI. **Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension**. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **National Bicycling and Walking Study, Case Study No. 1: Reasons Why Bicycling and Walking Are Not Being Used More Extensively As Travel Modes (No. FHWA-PD-92-041)**, 1992. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/case1.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2017

FIRJAN. **O custo dos deslocamentos nas principais áreas urbanas do Brasil**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/o-custo-dos-deslocamentos-nas-principais-areas-urbanas-do-brasil.htm#pubAlign>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

GARCÍA-PALOMARES, J. C.; GUTIÉRREZ, J.; LATORRE, M. Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. **Applied Geography**, v. 35, n. 1–2, p. 235–246, 2012.

GOMES, C. F. S. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. [s.l.] Cengage Learning Editores, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Mobilidade urbana no Brasil. In: **Infraestrutura social e urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2010. p. 549–592.

ITDP - INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY. **The Bike-share Planning Guide**. New York: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.itdp.org/publication/the-bike-share-planning-guide/>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

LANDMANN, R.; ERDMANN, R. H. Uma abordagem heurística para a programação da produção na indústria de fundição com utilização da lógica fuzzy. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 1, p. 119–130, 2011.

LEMOS, M. E. L. **Análise da infraestrutura cicloviária para implantação de um sistema de bicicletas de aluguel na cidade de Florianópolis/SC**. Dissertação de mestrado — Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

LIN, J.-R.; YANG, T.-H. Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 47, n. 2, p. 284–294, 2011.

LUZIA, L. F.; RODRIGUES, M. C. Estudo sobre as Metaheurísticas. In: **Introdução ao Escalonamento e Aplicações**. [s.l.: s.n.].

MACROPLAN. **Desafios da gestão municipal**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <http://www.macroplan.com.br/MonCenarios_Item.aspx?Id=45>. Acesso em: 14 jan. 2017.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de Instalações com Sistema de Informações Geográficas e Modelagem matemática**. Dissertação de mestrado — Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2007.

MILLER, H. J.; SHAW, S. Geographic information systems for

transportation in the 21st century. **Geography Compass**, v. 9, n. 4, p. 180–189, 2015.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sitemas de Informações Geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2010.

NACTO - NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS. **Walkable station spacing is key to successful, equitable bike share**: Practitioners' Paper. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/09/NACTO_Walkable-Station-Spacing-Is-Key-For-Bike-Share_Sc.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

NYCDCP. **Bike-share opportunities in New York City**New YorkNew York City Department of City Planning, 2009. Disponível em: <http://nacto.org/wp-content/uploads/2012/02/bike_share_complete.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017

O GLOBO. **Tempo de deslocamento nas regiões metropolitanas** (D. Lima, Ed.) O Globo, [s.d.]. Disponível em: <<http://infograficos.oglobo.globo.com/economia/tempo-de-deslocamento-nas-regioes-metropolitanas.html>>. Acesso em: 27 mar. 2017

RIBEIRO, C. C. Metaheuristics and Applications. In: **Advanced School on Artificial Intelligence**. Estoril, Portugal: [s.n.].

SANTOS DE MELO, M. F.; LEONOR, M.; MAIA, A. Sistema de Bicicletas Públicas: uma alternativa para promoção da mobilidade urbana sustentável. [s.d.].

SEMOB - SECRETARIA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA. **Caderno de Referência para Elaboração de: Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades**. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/mobilidade-urbana/publicacoes-semob>>. Acesso em: 29 jan. 2017

SEMOB - SECRETARIA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA. **Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana**,

2015. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/mobilidade-urbana/publicacoes-semob>>. Acesso em: 29 jan. 2017

THILL, J.-C. Geographic Information Systems for transportation in perspective. **Transportation Research Part C**, v. 8, p. 3–12, 2000.

TORONTO REGION BOARD OF TRADE. **Toronto as a global city: Scorecard on prosperity - 2015**. Toronto: [s.n.]. Disponível em: <https://www.bot.com/portals/0/unsecure/advocacy/Scorecard_2015.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017.

TRB - TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Transit Capacity and Quality of Service Manual**. Washington, DC: Transit Cooperative Research Program (TCRP), 2013.

ZHAO, F. et al. Forecasting transit walk accessibility – regression model alternative to buffer method. **Transportation Research Record**, v. 1835, p. 34–41, 2003.