

LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE PARADA NO SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS – O CASO DE CHAPECÓ/SC

Anderson Schmitt

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial - Universidade Federal de Santa Catarina (PPGTG/UFSC) – Santa Catarina – Brasil – anderson_schmitt@yahoo.com.br

Victor Marques Caldeira

PPGTG/UFSC – Santa Catarina – Brasil – victormarquescaldeira@gmail.com

João Eugênio Cavallazi

PPGTG/UFSC – Santa Catarina – Brasil – jecavallazzi@gmail.com

Amir Matar Valente

PPGTG/UFSC – Santa Catarina – Brasil – amir.ecv@gmail.com

RESUMO

A acessibilidade de um usuário em potencial à um ponto de parada é uma das variáveis impactantes na qualidade dos serviços de transporte coletivo urbano. Essa acessibilidade ao sistema, geralmente, é desempenhada pelos pontos de parada que, são locais de embarque e desembarque dos passageiros ao longo dos itinerários, muitas vezes sendo o primeiro contato do usuário com o sistema. Se por um lado, quanto maior a densidade de pontos de parada em uma área, melhor será a acessibilidade local ao sistema, por outro lado, menor a velocidade média dos veículos, o que resulta em aumento do tempo de viagem dos usuários, diminuindo o nível de serviço quando analisada sua acessibilidade espacial. Tendo isso em vista, este trabalho apresenta um estudo para determinar a quantidade e a localização de pontos de parada do sistema de transporte coletivo urbano do Município de Chapecó/SC, utilizando-se de um modelo de localização em software SIG, que busca minimizar o número de pontos para que atenda toda a demanda (usuários do sistema de ônibus). Os resultados indicaram uma diminuição no número de pontos de parada no sistema do município sem comprometer a acessibilidade ao mesmo. O estudo permitiu obter dados importantes quanto à acessibilidade aos pontos de parada, podendo ser usados para orientar melhorias no serviço, fazendo com que o transporte coletivo torne-se mais atrativo à população.

1. INTRODUÇÃO

Melhorar e expandir sistemas de transporte coletivo é considerado uma das principais ações contra os congestionamentos causados por veículos privados. A acessibilidade de um usuário em potencial à um ponto de parada é uma das variáveis impactantes na qualidade dos serviços de transporte coletivo urbano. Essa acessibilidade ao sistema, na maioria das vezes, é desempenhada pelos pontos de parada que, são locais de embarque e desembarque dos passageiros ao longo dos itinerários, muitas vezes

sendo o primeiro contato do usuário com o sistema. Assim, é importante que, o planejamento dos pontos de parada demande estudo específico que busque identificar a densidade de pontos de parada de uma linha ou região, bem como a localização dos mesmos em uma área de estudos.

Este trabalho tem por objetivo a determinação da quantidade e localização ideal dos pontos de parada em um sistema de transporte coletivo urbano. No capítulo dois será apresentado uma breve revisão bibliográfica sobre o conceito de acessibilidade ao transporte coletivo urbano, bem como dos problemas de localização por cobertura. O capítulo três desenvolve um estudo de caso no município de Chapecó no Estado de Santa Catarina com apoio de um modelo de localização por cobertura em software SIG. O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos no estudo de caso.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 A acessibilidade ao transporte coletivo urbano

A acessibilidade é estudada de diferentes maneiras, principalmente devido as diferentes definições e objetivos de pesquisa. Em geral, as medidas de acessibilidade podem ser categorizadas como abordagens baseadas em infraestrutura, em localização, em pessoas ou em serviços (Pinelli et al., 2009). No caso de acessibilidade ao sistema de transporte coletivo, a acessibilidade geralmente se refere a duas questões distintas, porém complementares (Kwan, 1998). A primeira, de acordo com Murray et al. (1998), diz respeito ao percurso entre a origem do deslocamento e o ponto de parada onde se dá o ingresso ao sistema. A segunda refere-se a sua abrangência global, ou seja, onde se pode chegar por meio do sistema de transporte.

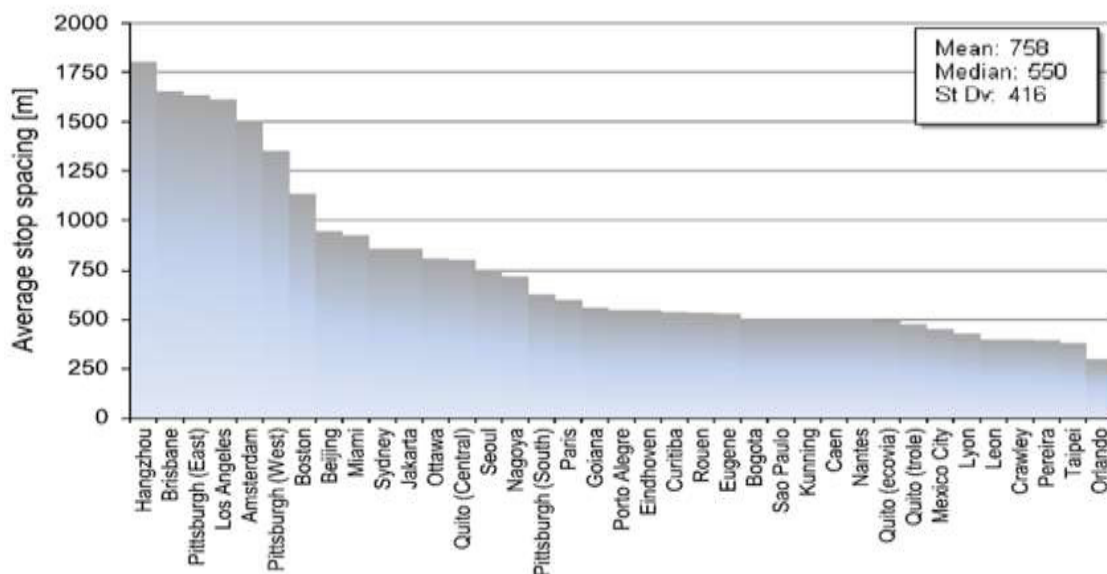
Quando do processo de planejamento de um sistema de transporte coletivo, as duas abordagens são de fundamental importância para sua eficiência. Enquanto a acessibilidade ao sistema traduz imediatamente a facilidade de ingresso no mesmo, a sua acessibilidade espacial implica numa maior abrangência do território possível de ser atingida pelos usuários.

Nestes termos, a quantidade e a localização dos pontos de parada mostram-se invariavelmente impactantes no desempenho do transporte coletivo (Murray et al., 1998). Se por um lado, quanto maior a densidade de pontos de parada em uma área, melhor será a acessibilidade local ao sistema, pois os usuários tendem a percorrer uma menor distância entre sua origem e o ponto de acesso, por outro lado, menor a velocidade média dos veículos, o que resulta em aumento do tempo de viagem dos

usuários, diminuindo o nível de serviço quando analisada sua acessibilidade espacial (Federal Transit Administration, 1996; Wirasinghe e Ghoneim, 1981; Saka, 2001).

Tirachini (2013) analisou diversos manuais de transporte que tratam sobre projeto e localização de pontos de parada. Segundo o autor, os manuais abordam principalmente o projeto físico dos abrigos, enquanto que as recomendações de espaçamento entre os pontos de parada variam conforme a característica da área onde o serviço é oferecido. Essas recomendações eram bem diretas e variavam bastante de manual para manual. Para áreas no centro da cidade as paradas de ônibus não devem ser colocadas a mais de 300m de distância, enquanto que para áreas residenciais essa distância pode variar entre 300m e 500m. Para sistemas de Bus Rapid Transit (BRT), que produzem altas velocidades operacionais, as distâncias entre os pontos de parada é maior. O resumo das distâncias do estudo de Tirachini (2013) pode ser conferido no gráfico da Figura 1, que apresenta distâncias médias dos pontos de paradas em sistemas BRT em cidades da América Latina, USA, Canadá, Europa, Ásia e Austrália.

Figura 1: Distâncias médias dos pontos de paradas em sistemas BRT no mundo



Em termos de acessibilidade ao sistema, uma série de estudos já foram desenvolvidos com o objetivo de identificar o tempo de percurso máximo aceitável entre a origem e ponto de acesso ao sistema. Vários autores consideram que uma caminhada de até cinco minutos é considerada aceitável. Assim, salvo em condições topográficas desfavoráveis, 400m é a distância de caminhada aceitável para manutenção de bom nível de serviço na acessibilidade do transporte coletivo urbano (Demetsky e Lin, 1982; Levinson, 1992; Federal Transit Administration, 1996; Ammons, 2001).

2.2 Problemas de localização

Os problemas de localização se caracterizam por definir o local de uma ou mais instalações (provedoras de recursos ou serviços), em um determinado espaço, buscando minimizar o custo ou ampliar o atendimento a algum conjunto de demandas (clientes ou usuários) respeitando um conjunto de restrições (Farahani e Heckmatfar, 2009).

Em um problema de cobertura (LSCP - Location set covering problem) o cliente acessa o serviço se a distância entre o seu ponto de origem e a instalação é igual ou menor a um valor predefinido. Esse valor é chamado de distância de cobertura ou raio de cobertura. Um cliente diz-se coberto por uma dada instalação se este se encontrar a uma distância (ou custo) menor do que o raio de cobertura. Assim, o objetivo da localização das instalações é cobrir o máximo de clientes (Fallah et al., 2009).

O modelo de problemas LSCP, aplicado ao problema de localização de pontos de parada, busca minimizar o número de pontos para que atenda toda a demanda (usuários do sistema de ônibus). Muitos modelos de problemas de localização foram desenvolvidos para o caso. Gleason (1975) desenvolveu três modelos matemáticos para localização de pontos de ônibus: (1) pontos de parada em linhas expressas, (2) pontos de parada em linhas regulares e (3) um método combinado para pontos de paradas em linhas expressas e regulares. Murray (2003) avançou em um modelo LSCP para determinar um conjunto de paradas que maximizam a cobertura da demanda em uma área de estudo.

O modelo destina-se a ser usado em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) com a demanda e locais de paradas potenciais espacialmente distribuídas. O modelo é aplicado na cidade de Brisbane, na Austrália, e é resolvido usando SIG e pacotes de otimização. Delmelle et al. (2012) apresentou um modelo de LSCP, considerando tanto o impacto da distância da caminhada até a parada quanto a atratividade das instalações (por exemplo, número de destinos atendidos). Já Ceder (2015), desenvolveu um modelo que inclui a influência do relevo na área de estudo de três maneiras; (1) seu efeito na velocidade de caminhada até o ponto de parada; (2) seu impacto na atratividade de um caminho de acesso a um serviço de trânsito; e (3) seu efeito nas taxas de aceleração dos ônibus.

Em geral, pode-se dizer que as variações entre os modelos de LSCP estudados acontecem principalmente na elaboração das restrições, que podem considerar a topografia, oferta de linhas, infraestrutura de acesso entre outros. Assim, o modelo para localização geral de pontos de parada, considerando apenas a distância de acesso ao sistema de ônibus, pode ser formulado como:

$$x_j = \begin{cases} 0, & \text{se o ponto de parada não foi selecionado para a solução} \\ 1, & \text{se o ponto de parada foi selecionado para a solução} \end{cases}$$

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$X_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (3)$$

em que, J: conjunto de candidatos a pontos de parada (indexados por j).

I: conjunto de pontos de demanda (indexados por i).

$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$ com d_{ij} = menor distância da localização potencial da instalação j ao ponto de demanda i, e S= máxima distância de caminhada (no atual trabalho, 400m). N_i é o conjunto de todas as potenciais posições candidatas à pontos de parada que estão dentro da distância do raio de cobertura S do ponto de demanda i.

A função objetivo (1) minimiza a quantidade de instalações necessárias. A restrição (2) define que os pontos de demanda devem estar cobertos por pelo menos uma instalação localizada dentro do raio de cobertura S. A natureza binária das variáveis é dada pela restrição (3).

2.3 Métodos de resolução de problemas de LSCP

Problemas de LSCP podem ser resolvidos por meio de técnicas determinísticas, heurísticas e metaheurísticas. O método da solução determinística requer uma busca em todas as combinações possíveis de instalações no espaço de busca. Problemas assim são conhecidos como de otimização combinatória, assim, se o conjunto de possíveis soluções for grande, o método exato por busca precisa de um tempo computacional alto para encontrar o melhor resultado, muitas vezes não podendo resolver problemas complexos de localização em tempo hábil (Arifin, 2011).

Muitos trabalhos apresentam soluções para os problemas de LSCP utilizando técnicas heurísticas e metaheurísticas. Supangat e Soelistio (2016), realizaram a resolução do problema utilizando um método de mean shift clustering e colônia de formigas em um problema de localização de paradas de ônibus em West Jakarta. Já Bargegol et al (2017) utilizou um algoritmo genético considerando também o tempo de viagem como restrição para o problema de localização. Delmelle et al (2012) apresentou uma solução

para um problema de LSCP integrando dentro de um ambiente SIG uma metaheurística de recozimento simulado (simulated annealing).

Delmelle et al (2012) destaca ainda os benefícios do uso conjunto de softwares SIG com problemas de otimização na área de transportes. O SIG tem uma longa história de contribuição para a ciência da localização. Por meio de análise de redes, o SIG facilita a modelagem de distâncias e delimitação de áreas cobertas pelo sistema. Além disso, o SIG pode ajudar a identificar quais segmentos da população permanecem desassistidos depois que a infraestrutura de transporte foi modificada. Muitos softwares SIG já trazem heurísticas e metaheurísticas implementadas para a solução de problemas de localização. O TransCAD e o ArcGIS, por meio do módulo Network Analyst, permitem resolver diversos tipos de problemas de locação-alocação.

3. ESTUDO DE CASO EM SOFTWARE SIG

O modelo foi resolvido usando a ferramenta Network Analyst disponível no software ArcGIS. O trabalho segue a seguinte metodologia: (1) Definição da área de estudos. (2) Obtenção e tratamento dos dados. (3) Montagem do modelo em SIG e definição das restrições. (4) Avaliação dos resultados.

3.1 Definição do problema

O estudo de caso foi desenvolvido nos pontos de parada do sistema de transporte coletivo do município de Chapecó, no Oeste do estado de Santa Catarina, na inserção da bacia hidrográfica do Rio Uruguai. O município possui população estimada em 225.795 habitantes (IBGE, 2016), sendo 91,6% dos quais em área urbana.

O sistema de transporte coletivo urbano é servido exclusivamente por ônibus, sendo estimados 99 veículos em circulação atendendo 23 linhas circulares baseadas em um terminal localizado na porção central da cidade. O sistema transportou mensalmente, no ano de 2014, uma média de 1.170.967 passageiros, sendo seu Índice de Passageiros Equivalentes por Quilômetro (IPKeq) de 1,82 pass/km (Chapecó, 2015). A Tabela 1 apresenta um comparativo entre o IPK de algumas cidades brasileiras.

Tabela 1: - Índice de Passageiros Equivalentes por Quilômetro (IPKeq)

Município	Data	IPKeq
Cuiabá/MT	Out/12	1,49
Florianópolis/SC	Mar/13	1,61
São Paulo/SP	Maio/13	1,47
Porto Alegre/RS	Dez/13	1,84
Chapecó/SC	Abr/14	1,82

3.2. Obtenção e tratamento dos dados

Os dados utilizados nos modelos e suas fontes se encontram na Tabela 2.

Tabela 2: Camada de dados e suas fontes

Dados	Formato	Fonte
Malha viária	.shp	OpenStreetMap
Equipamentos públicos	.shp	OpenStreetMap
Setores censitários	.shp	Censo 2010, IBGE
Densidade demográfica	.xls	Censo 2010, IBGE
Pontos de paradas	.cad	Prefeitura de Chapecó
Itinerários transporte coletivo	.cad	Prefeitura de Chapecó

A camada da malha viária foi tratada topologicamente para corrigir problemas de conectividade entre as vias. É necessário que todas as vias estejam conectadas para permitir que o modelo considere todos os caminhos possíveis para se acessar o ponto de ônibus.

Como pontos de demanda, foram utilizados dados do Censo 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Adicionou-se à camada dos setores censitários informações de densidade demográfica obtidos do banco de dados do censo. As informações de densidade foram combinadas com a camada da malha viária, permitindo a discretização da demanda em pontos de demanda por quadras.

As camadas contendo o itinerário das linhas de transporte coletivo foram obtidas em formato .shp vetorizada em linha. Converteu-se as linhas em pontos para possibilitar a entrada dos dados no modelo.

A camada equipamento públicos traz a localização de escolas, hospitais e outros equipamentos que devem ter o acesso facilitado por meio de transporte público. A camada foi convertida em pontos.

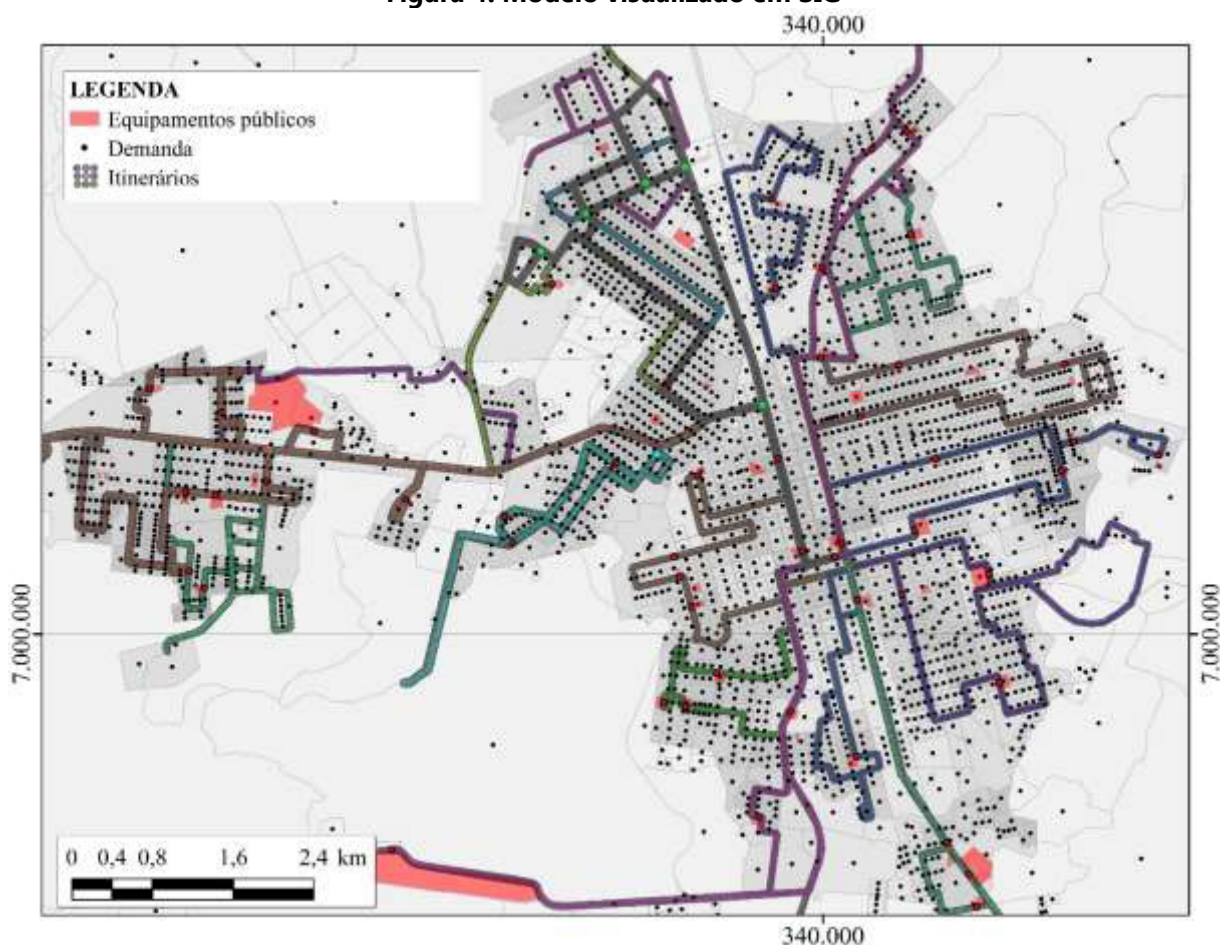
3.3 Modelo aplicado à localização de pontos de parada

O problema foi resolvido utilizando a ferramenta locação-alocação do Network Analyst disponível no software ArcGIS. A Tabela 3 mostra os dados de entrada necessários no modelo. A Figura 4 mostra o modelo visualizado em SIG.

Tabela 3: Dados de entrada no modelo

Camada	Tipo	Função
Malha viária	Linhas e pontos	Rede de transporte e suas conexões
Itinerários	Pontos	Candidatos a pontos de parada
Equipamentos públicos	Pontos	Restrição de ponto de parada
Demanda	Pontos	Demanda a ser atendida
Distância de cobertura	Número	Distância máxima para acessar um ponto de parada

Figura 4: Modelo visualizado em SIG



Premissas adotadas na modelagem: (1) a distância de cobertura foi definida como 400 metros, que conforme as pesquisas citadas na Seção 2.1, é o valor aceitável para manutenção de bom nível de serviço na acessibilidade do transporte coletivo urbano; (2) os itinerários do atual sistema de transporte coletivo da cidade foram mantidos, assim o modelo limita a localização de pontos de parada apenas onde as linhas transitam; (3) os pontos de parada não possuem capacidade, portanto podem atender qualquer quantidade de demanda; (4) conforme Wirasinghe e Ghoneim (1981), nenhuma otimização é necessária para estabelecer que paradas de ônibus devem ser localizadas em hospitais, escolas, universidades, shopping centers e outros pontos de alta demanda, assim, os equipamentos públicos são obrigatoriamente atendidos por

um ponto de parada, o ponto mais próximo possível; (5) em vias de mão dupla pode ocorrer a existência de dois pontos, um em cada lado da via. O modelo considera esse caso, no entanto ele simboliza apenas um ponto no resultado. Considera-se que esse ponto atende os dois lados da via; (6) a demanda utilizada levou em consideração apenas os moradores de cada quadra, não levando em consideração, por exemplo, onde esses moradores trabalham; (7) o modelo se baseia em pessoas caminhando pela rede, como se estivessem caminhando nos passeios das vias. Assim a rede não limita nenhum movimento. A rede também considera que toda a estrutura de passeios possui a mesma qualidade de trafegabilidade.

4. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado do procedimento de locação-alocação está representado na Figura 5. A mesma figura também mostra os atuais pontos de parada. A Tabela 4, apresenta um resumo dos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho.

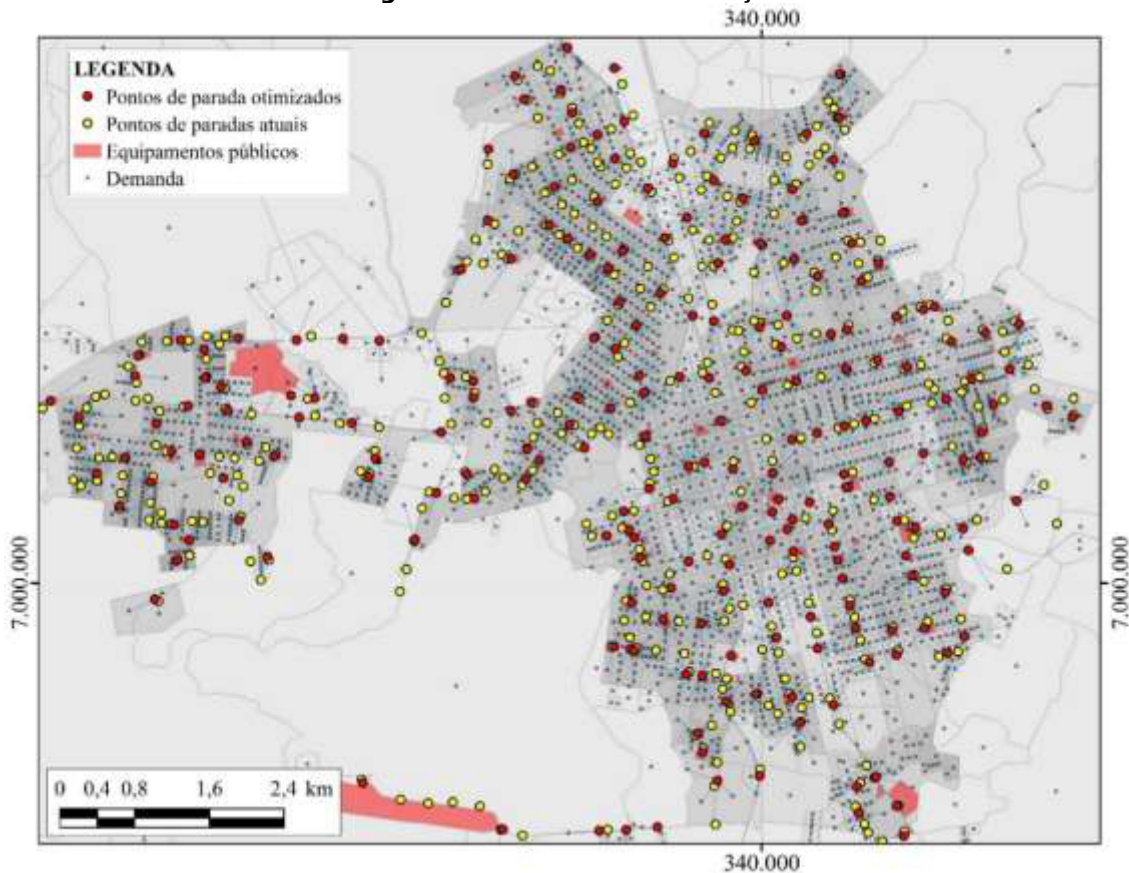
Tabela 4: Comparação entre pontos otimizados e pontos atuais

	Quantidade de pontos de parada	Distância média entre os pontos de parada (m)
Pontos atuais	420	404
Otimizados	252	617
Otimizados a menos de 50 metros dos pontos atuais	85	

Com base na Tabela 4, algumas considerações importantes podem ser extraídas:

- (1) é possível reduzir 168 pontos de parada (40% dos existentes) sem comprometer a qualidade da acessibilidade ao sistema, apenas modificando a localização dos demais ao longo da rede de transporte;
- (2) o impacto da redução dos pontos de parada em 40% tende a acarretar um aumento na velocidade operacional média dos veículos;
- (3) entre os pontos otimizados, 85 mantiveram-se a menos de 50 metros de um ponto pré-otimizado. Os mesmos podem ser mantidos na localização atual, o que implica na realocação de 167 pontos.

Figura 5: Resultado da otimização



Modelos de otimização por cobertura aplicados ao transporte público, como mostrado neste trabalho, fornecem dados importantes quanto à acessibilidade aos pontos de parada, bem como, possíveis melhorias na eficiência do sistema.

Um número menor de pontos de parada influi numa maior velocidade operacional dos veículos, o que tende a implicar na redução do tempo de ciclo de cada linha do transporte coletivo.

Shrestha e Zolnik (2013), em uma aplicação de otimização da localização de pontos de parada no sistema de ônibus da cidade de Fairfax em Virgínia, indicaram que a eliminação de cerca de 40% dos pontos de ônibus poderia melhorar os tempos de viagem e reduzir os custos operacionais em 23%. Além disso, as emissões relacionadas a ônibus, como CO (34%), Compostos Orgânicos (18%) e NOx (10%) poderiam ser substancialmente menores.

Assim, os resultados do modelo podem ser usados para orientar melhorias no serviço, fazendo com que o transporte coletivo torne-se mais atrativo à população, diminuindo, dessa forma, as emissões e os custos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- Ammons, D N (2001) *Municipal Benchmarks: Assessing Local Performance and Establishing Community Standards*. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage.
- Arifin, S. (2010) *Location allocation problem using genetic algorithm and simulated annealing: A case study based on school in Enschede*. Tese (Doutorado) - Curso de Geo-information Science And Earth Observation, Faculty Of Geo-information Science And Earth Observation, University Of Twente, Enschede. 95p
- Bargegol I, M Ghorbanzadeh, M Ghasedi, M Rastbod (2017). Evaluation of Effective Factors on Travel Time in Optimization of Bus Stops Placement Using Genetic Algorithm. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 245, p. 1-13.
- Ceder A, M Butcher, L Wang (2015). Optimization of bus stop placement for routes on uneven Topography. *Transportation Research Part B* 74 p. 40–61.
- Chapecó, PM. (2015) Estudo de Mobilidade Urbana de Chapecó: Relatório Final. Laboratório de Transportes e Logística – LabTrans/UFSC, Florianópolis.
- Delmelle E M, S Li, A T Murray (2012). Identifying bus stop redundancy: A gis-based spatial optimization approach. *Computers, Environment and Urban Systems* 36, p. 445–455.
- Demetsky, M J e B Lin (1982). Bus Stop Location and Design. *Transportation Engineering Journal of ASCE* 108, p. 313-327.
- Fallah H, Naimisadigh A, Aslanzadeh, M. (2009) Covering Problem. In: Farahani, R Z. e Hekmatfar, M. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Heidelberg: Springer. p. 145-176.
- Farahani R Z, Hekmatfar, M. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Heidelberg: Springer, 2009. 549 p.
- Federal Transit Administration. (1996) *Guidelines for the location and design of bus stops*. TCRP Report 19. National Academy Press, Washington, SC.
- Gleason J M (1975). A Set Covering Approach To Bus Stop Location. *OMEGA, The rat. a-1 of Mgrat Sci.* Vol. 3, No. 5 p. 605-608.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010). *Censo 2010: Resultados*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2016). *Estimativa populacional 2016*. IBGE - Rio de Janeiro.
- Kwan, M. (1998) Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis using a Point-Based Framework. *Geographical Analysis* v30, n3
- Levinson, H S (1992). *Urban Mass Transit Systems. Transportation Planning Handbook*. Prentice Hall, New Jersey. p 123-174.
- Murray A T (2003). A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access. *Annals of Operations Research* 123, 143–156.
- Murray, A T, R Davis, R J Stimson e L Ferreira (1998). Public Transport Access. *Transportation Research D: Transport and Environment* 3
- Pinelli F, A Hou, F Calabrese, M Nanni, C Zegras, C Ratti (2009). Space and time-dependant bus accessibility: a case study in Rome. *Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*.

- Saka. A. (2001) A. Model for Determining Optimum Bus-Stop Pacing in Urban Areas. *Journal of Transportation Engineering* 127, p 195-199.
- Shrestha R M, E J Zolnik (2013). Eliminating Bus Stops: Evaluating Changes in Operations, Emissions and Coverage. *Journal of Public Transportation*, Vol. 16, No. 2, p. 153-175
- Supangat K, Y E Soelistio (2016). Bus Stops Location and Bus Route Planning Using Mean Shift Clustering and Ant Colony in West Jakarta. *ICITDA 2016 Conference*. Yogyakarta, Indonesia.
- Tirachini A (2013). The economics and engineering of bus stops: Spacing, design and congestion. *Transportation Research Part A*, 59, p.37-57.
- Wirasinghe, S C, N S Ghoneim (1981) Spacing os Bus-Stops for Many to Many Travel Demand. *Transportation Science* 15, p 210-221.