



ANÁLISE DE FATORES CONTRIBUINTES PARA A PERDA DA VELOCIDADE OPERACIONAL EM SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO: UM ESTUDO DE CASO

Eduardo C. Amancio¹; Mayra Branco²; Natalia L. Cavichioli³; Maria I. Iijima⁴; Tatiana M. C. Gadda⁵

¹*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, eduardoamancio@alunos.utfpr.edu.br*

²*Engenheira Civil, mayrabranco@live.com*

³*Mestranda em Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, natalia.cavichioli@hotmail.com*

⁴*Engenheira civil, email*

⁵*Doutora em Earth and Human Environmental Science, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, tatianagadda@utfpr.edu.br*

RESUMO

O transporte foi incluído como um direito social fundamental pela Emenda Constitucional nº 90, entretanto, deve-se assegurar não somente o acesso ao serviço, como também a qualidade do mesmo. O planejamento, operação e gestão do sistema, deve resultar em um transporte eficiente, seguro e, concomitantemente, ágil, reduzindo o tempo gasto no deslocamento. Assim, os objetivos deste estudo foram a determinação da velocidade operacional do transporte público do Município de Toledo – Paraná e a análise estatística da influência de diferentes fatores na velocidade. Para tanto, utilizou-se os dados fornecidos pela empresa operadora do sistema, Sorriso de Toledo. As análises foram realizadas no software QGis (trajeto, pontos de parada, lombadas e semáforos) e em planilhas eletrônicas (horários de entrada e saída do ônibus no terminal). Além do cálculo da velocidade, realizou-se o teste estatístico de Pearson, com a finalidade de correlacionar a influência de cada indicador. A velocidade média do sistema foi de 22,33 km/h. Quanto aos indicadores, verificou-se maior correlação das velocidades com o número de lombadas e pontos de parada, com coeficientes de Pearson de -0,448 e -0,419, respectivamente. Com as análises, concluiu-se que os indicadores analisados exerceram influência fraca sobre as velocidades. Além disso, o sistema apresenta velocidade média satisfatória, conforme estabelecido pela literatura, entretanto, verificou-se itinerários que requerem melhorias para otimização da mesma.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade urbana, transporte público, qualidade.

ABSTRACT

Transport was included as a fundamental social right by Constitutional Amendment nº 90, however, it must be ensured not only access to the service, but also its quality. The planning, operation and management of the system, should result in efficient, safe and concomitant, agile transport, reducing the time spent traveling. Thus, the objectives of this study were to determine the operational speed of public transport in the city of Toledo – Paraná and to analyze statistically different factors' influence on speed. For this purpose, the data provided by the company operating the system, Sorriso de Toledo, was used. The analyzes were carried out using the QGis software (route, bus stops, bumps and traffic lights) and electronic spreadsheets (bus arrival and departure from the terminal). In addition to calculating speed, Pearson's statistical test was performed,

with the purpose of correlating the influence of each indicator. The average speed of the system was 22.33 km/h. As for the indicators, there was a greater correlation with speeds, the number of bumps and bus stops, with Pearson's coefficient of -0.448 and -0.419, respectively. With the analyzes, it was concluded that the observed indicators influenced weakly on speeds. Moreover, the system has a satisfactory average speed, as established by the literature, however, there were itineraries that require improvements for its optimization.

KEYWORDS: *Urban mobility, public transport, quality.*

1. INTRODUÇÃO

A partir da aprovação da Emenda Constitucional nº 90 o direito ao transporte tornou-se um direito social fundamental, tais como saúde, educação, segurança, entre outros (CIDADE; LEÃO JR., 2016). Segundo a definição de Clark e Souza (2017) esses direitos não podem apenas ser oferecidos à população, mas devem ser regidos pelos princípios da eficiência e da finalidade. Neste contexto, o transporte público deve possuir padrões aceitáveis de qualidade.

A qualidade do serviço está intrinsecamente relacionada ao desempenho do sistema. Gouveia Jr., Araújo e Andrade (2018) salientam a importância de fomentar o desempenho sob o ponto de vista dos usuários existentes e potenciais, tanto para satisfazer quem já utiliza o sistema, como para incentivar a migração do transporte individual motorizado.

De acordo com Rodrigues (2006), o transporte de pessoas é um serviço que, feito com qualidade, apresenta reduzidas dificuldades. Além disso, oferece rapidez, conforto e segurança, minimizando os gastos de energia e o tempo dos usuários. Indicadores podem ser utilizados para avaliar a qualidade de um serviço público. Segundo Ferraz e Torres (2004), há doze fatores influenciadores da qualidade do transporte público por ônibus, sendo estes a acessibilidade, frequência de atendimento, tempo de viagem, lotação, confiabilidade, segurança, características dos veículos, características dos locais de parada, sistema de informações, conectividade, comportamento dos operadores e estado das vias.

O prejuízo causado pelo mal desempenho dos ônibus urbanos, principalmente na forma de redução da sua velocidade, se reflete nos custos de operação, na confiabilidade, na atratividade do sistema e nas tarifas cobradas dos usuários. Por isso, a velocidade operacional de um sistema de transporte público urbano por ônibus é uma medida direta de desempenho desse serviço (VASCONCELLOS, 2005; GOUVEIA JR.; ARAÚJO; ANDRADE, 2018). Essa grandeza é definida como a velocidade média dos ônibus, a qual sofre influência com

a presença de semáforos e cruzamentos, por exemplo (GODARTH *et al.*, 2013; CORTÉS *et al.*, 2011).

Gouveia Jr., Araújo e Andrade (2018) afirmam que um aumento na velocidade operacional pode fazer com que um sistema opere com mais ciclos por hora, reduzindo o tempo de viagem e de espera do usuário e a densidade de passageiros nos veículos. Para isso, é importante conhecer os fatores que mais influenciam na perda de velocidade operacional do transporte público, para assim tornar-se possível e efetivas as medidas de incremento de velocidade. Logo, esse estudo investiga a velocidade operacional do sistema de transporte público de uma cidade de médio porte, estratificado por diferentes linhas, sentidos, fatores e elementos contribuintes para a perda de velocidade.

2. METODOLOGIA

O sistema de transporte público da cidade de Toledo conta com 15 linhas, que atendem mensalmente a 260 mil passageiros, e opera sete dias na semana das 05h45min às 23h50min – com horários diferenciados nos sábados, domingos e feriados (SORRISO DE TOLEDO, 2020). Todos os veículos são equipados com GPS, o que permite o monitoramento constante de sua localização, horários de entrada e saída do terminal e garagem. A Figura 1 apresenta os dois tipos de veículo presentes na frota do sistema em estudo.



Figura 1 – Modelos dos veículos da frota de transporte público da cidade de Toledo – PR. (a) Micro-ônibus. (b) Ônibus padron.

Fonte: Diário do Transporte (2020)

3.1. Coleta de dados

Os dados utilizados na pesquisa foram fornecidos pela empresa operadora do sistema. Dentre esses, os trajetos das linhas, localização de pontos de parada, lombadas e semáforos se encontravam georreferenciados. Já os horários de entrada e saída do terminal e de chegada e saída do ponto final de cada veículo foi fornecido no formato de planilha eletrônica. Todos

arquivos georreferenciados foram plotados no *software* QGis, para análises subsequentes. A Figura 2 apresenta o perímetro urbano da cidade de Toledo, com os trajetos das linhas do transporte público, localização de pontos de parada, lombadas e semáforos.

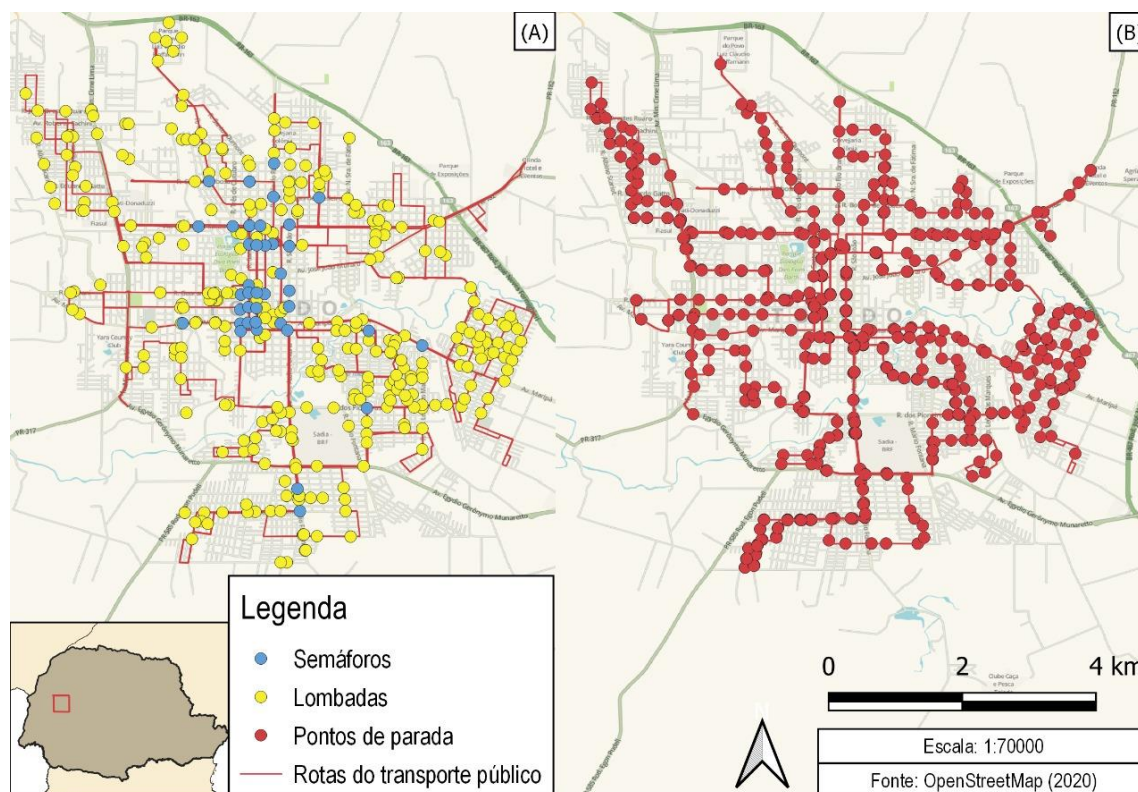


Figura 2 – Trajetos das linhas do transporte público da cidade de Toledo – PR. (a) Localização de semáforos e lombadas nos trajetos. (b) Localização dos pontos de parada nos trajetos.

Fonte: Autoria própria (2020)

3.2. Cálculo da velocidade operacional

Para o cálculo da velocidade operacional de cada linha considerou-se apenas as viagens que estavam totalmente compreendidas entre os intervalos de horários de 06h30min – 08h00min, 11h30min – 13h00min e 17h30min – 18h00min. Para eliminar situações diárias adversas de tráfego e volume de passageiros, considerou-se apenas as viagens ocorridas às terças, quartas e quintas-feiras. Já referente às variações anuais de tráfego e de passageiros, optou-se por utilizar apenas os dados dos meses de outubro e novembro de 2018, de modo a eliminar interferências ocasionadas pelo período de férias escolares e de temporadas festivas.

Calculou-se a velocidade operacional de cada linha dividida em dois segmentos: (I) terminal – bairro, e (II) bairro – terminal. Assim, o cálculo da velocidade operacional foi

conduzido para cada linha/sentido. Aplicou-se a Equação (1) para o cálculo da velocidade operacional de cada linha/sentido.

$$\bar{V} = \frac{d}{\frac{\sum t_i}{n}} \quad (1)$$

Onde: V – velocidade média da linha/sentido; d – distância total da linha/sentido; t_i – tempo total de percurso da linha/sentido; n – número de tempos de percurso considerados.

A localização do ponto final de cada linha também foi fornecida pela empresa operadora do sistema. Esse dado foi plotado no *software* QGis, juntamente com os trajetos dos itinerários das linhas. Após a plotagem de ambos dados, utilizou-se o comando “medir”, e aferiu-se a distância percorrida em cada linha/sentido. Após o cálculo do tempo médio de percurso de cada viagem compreendida nos critérios definidos anteriormente e aferição das distâncias percorridas, calculou-se a velocidade média de cada linha/sentido.

3.2. Indicadores

Após o cálculo das velocidades operacionais de cada linha/sentido, levantou-se um conjunto de variáveis sobre os trajetos de cada um desses itinerários. Através da quantificação/aferição dessas variáveis estabeleceu-se um conjunto de fatores, os quais foram utilizados para testar as hipóteses de exercerem ou não influência na velocidade operacional de cada linha/sentido. O esquema da Figura 3 apresenta essas variáveis, assim como os fatores utilizados.

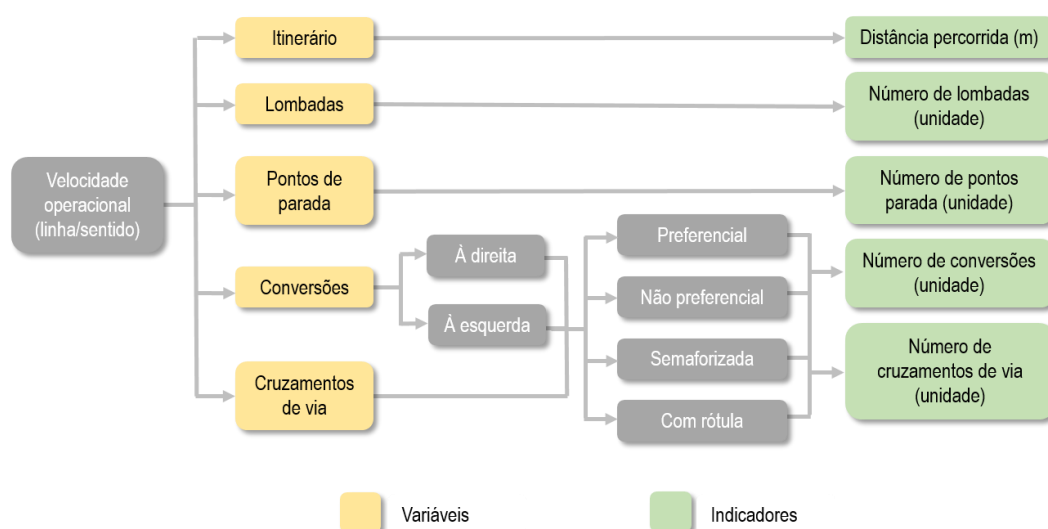


Figura 3 – Fluxograma com as variáveis consideradas e os indicadores aferidos. Fonte: Autoria própria (2020)

O número de pontos de parada e de lombadas foi levantado com base no arquivo georreferenciado fornecido pela empresa operadora no *software* QGis. O comprimento de cada rota e a quantificação de cada tipo de conversão e cruzamento de via foi realizado com o auxílio da ferramenta *StreetView* do *software* Google Earth. Após isso aplicou-se o teste estatístico de correlação de Pearson, afim de testar a hipótese se havia ou não influência de cada variável considerada.

4. RESULTADOS

4.1. Velocidade operacional

A Tabela 1 apresenta os valores de velocidade operacional para cada uma das 15 linhas nos dois sentidos (terminal-bairro e bairro-terminal) em horários de pico.

Tabela 1 – Velocidade operacional para cada linha/sentido em horários de pico

Linha	Velocidade operacional (km/h)	
	Terminal-bairro	Bairro-terminal
L ₁	16,0	19,3
L ₂	21,9	23,1
L ₃	27,0	30,0
L ₄	22,7	20,3
L ₅	22,1	21,4
L ₆	18,2	21,1



L ₇	21,9	22,6
L ₈	16,7	23,5
L ₉	28,5	28,2
L ₁₀	21,9	17,1
L ₁₁	33,5	26,0
L ₁₂	25,6	23,4
L ₁₃	22,8	21,5
L ₁₄	18,3	19,8
L ₁₅	20,6	14,9

Fonte: Autoria própria (2020)

O maior valor de velocidade foi encontrado para a linha L₁₁ sentido terminal-bairro (33,5 km/h) e, o menor valor, para a linha L₁₅ sentido bairro-terminal (14,9 km/h). A velocidade média do sistema foi de 22,33 km/h e, o desvio padrão, de 4,233 km/h.

4.2. Correlação de indicadores

O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 até 1, sendo que, quanto mais próximo de 0 for o valor resultante da análise, menor será a relação entre as variáveis testadas, e quanto mais próximo de -1 e 1, mais forte será essa relação. Os valores negativos do coeficiente de Pearson representam que a relação entre as variáveis consideradas (velocidade operacional e o devido indicador considerado) é inversamente proporcional. Já os valores positivos representam uma correlação diretamente proporcional. A Tabela 2 apresenta o coeficiente de correlação para cada um dos indicadores testados.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson para cada indicador testado

Indicador		Coeficiente de correlação
Distância da rota		-0,226
Número de pontos		-0,419
Número de lombadas		-0,448
Número de conversões à esquerda	Preferenciais	0,052
	Não preferenciais	-0,214
	Semaforizada	-0,399
	Rótula	-0,105
	Preferenciais	0,077



Número de conversões à direita	Não preferenciais	0,32
	Semaforizada	-0,209
	Rótula	-0,23
Número de travessia de via	Preferenciais	-0,191
	Não preferenciais	0,047
	Semaforizada	-0,186
	Rótula	-0,008

Fonte: Autoria própria (2020)

Os indicadores que apresentaram a maior correlação com as velocidades operacionais foram o número de lombadas e o número de pontos, com um coeficiente de correlação de Pearson de -0,448 e -0,419, respectivamente. Já os menores coeficientes foram encontrados para os indicadores travessia de vias com rótula (-0,008) e não preferenciais (0,047). Segundo Mukaka (2012) os valores do coeficiente de Pearson podem ser agrupados em 5 categorias, que indicam o grau de correlação resultante entre as variáveis analisadas. A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados com relação às faixas de correlação propostas por Mukaka (2012).

Tabela 3 – Classificação de cada indicador testado em graus de correlação segundo Mukaka (2012)

Coeficiente de Pearson	Grau de correlação	Indicadores
0 a 0,3	Nenhum	Distância; número de conversões à esquerda (preferenciais, não preferenciais e com rótula); número de conversões à direita (preferenciais, semaforizadas e com rótula); e número de travessias de vias (preferenciais, não preferenciais, semaforizadas e com rótula)
0,3 a 0,5	Fraco	Número de pontos; número de lombadas; número de conversões à esquerda semaforizadas; e número de conversões à direita não preferenciais.
0,5 a 0,7	Moderado	Nenhum indicador nessa faixa
0,7 a 0,9	Forte	Nenhum indicador nessa faixa
acima de 0,9	Muito forte	Nenhum indicador nessa faixa

Fonte: Autoria própria (2020)

4.3. Discussões

Segundo Franco e Silva (2016), um sistema de transporte público urbano economicamente viável e atrativo para novos usuários deve apresentar velocidades médias superiores a 20



km/h. O valor médio de 22,33 km/h encontrado para o sistema estudado superou esse dado – sendo que 73,33% dos trechos analisados satisfizeram tal recomendação, enquanto 26,67% apresentaram velocidades inferiores.

Em cidades de grande porte, observa-se essa problemática com maior frequência. Na cidade de São Paulo, em 2016, o valor médio em horário de pico foi determinado como 17 km/h (SARAIVA; CASARI; ORTEGA, 2018). Em Goiânia, mesmo com a implementação de sistemas como o Bus Rapid Transit (BRT), o eixo Anhanguera também apresenta valores de 17 km/h (RMTC; ODEBRECHT, 2012). Pesquisas da Confederação Nacional do Transporte (CNT) apontam para uma velocidade de apenas 14,7 km/h nos principais corredores sem tratamento preferencial para o transporte público, em onze grandes cidades do Brasil (TORRES, 2010). Diante do exposto, observa-se, portanto, que a velocidade média determinada para o sistema de transporte público urbano de Toledo – PR é relativamente satisfatória. Entretanto, ainda é necessário um conjunto de ações a fim de elevar a velocidade dos trechos que não atingiram 20 km/h.

Os achados desse estudo mostraram que os fatores que mais exerceram influência na velocidade operacional do sistema estudado foram o número de lombadas e o número de pontos de parada. Em sistemas mais complexos que possuem faixas exclusivas/preferencias para ônibus, ou ainda em canaletas exclusivas de BRT, é comum a supressão de lombadas de modo a justamente aumentar a velocidade operacional dos coletivos. A cidade de Toledo possui uma faixa preferencial para o transporte coletivo instalada na Rua Almirante Barroso, com uma extensão de aproximadamente 1,2 km (TOLEDO, 2015). Porém, devido à morfologia radial das linhas e à sobreposição destas, a implantação de outras faixas preferenciais torna-se inviável. Logo, a escolha de um traçado que evite lombadas pode tornar-se efetiva para o aumento da velocidade operacional. Ou, ainda, a criação de um programa efetivo de educação de trânsito e o controle frequente das velocidades operacionais através de novas tecnologias de gestão de trânsito podem ser medidas eficazes.

Analogamente, em alguns sistemas de transporte público é comum a criação de linhas expressas/diretas. Nessas, o serviço prestado provém atendimento a demandas pontuais, e tende a possuir velocidade superior a linhas convencionais paradoras, devido ao reduzido número de paradas (RECK, 2019).

Pela análise estatística realizada e pela categorização dos indicadores exposta na Tabela 3, é possível observar que os fatores estudados pouco influenciaram nas velocidades calculadas para as linhas do sistema. Isso ocorre devido à significativa complexidade dos sistemas de transporte público urbano, que abrangem aspectos como o tempo de embarque e desembarque no veículo, aceleração e desaceleração, frota total, número de passageiros, entre outros (RECK, 2019). Dessa forma, entende-se que fatores externos à pesquisa estão exercendo tal influência.

4.4. Limitações e pesquisas futuras

O cálculo da velocidade operacional restringiu-se aos tempos de ciclo de cada linha nos horários de maior volume de tráfego. É possível que essa escolha metodológica tenha causado uma discrepância nas velocidades operacionais das linhas, uma vez que lentidões no tráfego nesses horários tendem a afetar linhas que trafegam predominantemente em vias arteriais ou coletoras.

Com a velocidade operacional estratificada por linha/sentido calculada nessa pesquisa, faz-se proveitoso estudos que investiguem elementos para otimização das linhas/sentidos mais lentos do sistema, de modo a tornar o transporte público da cidade mais atraente e eficiente. Sugere-se também a investigação de fatores com potencial de influência na velocidade operacional dos coletivos não abordados nessa pesquisa, como o perfil topográfico do terreno.

Uma vez que o número de passageiros transportados por cada linha, ou ainda, o número de passageiros que embarcam/desembarcam dos ônibus nos pontos de parada podem interferir diretamente no tempo gasto de ciclo de cada itinerário, essa demanda de usuários é outro fator com potencial de interferência na velocidade operacional dos coletivos e que não foi abordada nessa pesquisa. Portanto, sugere-se um estudo complementar de variação espacial da demanda, realizada em cada ponto de parada (RECK, 2019).

6. CONCLUSÕES

A qualidade e eficiência do sistema de transporte público são essenciais. A velocidade de operação está diretamente ligada a esses princípios e depende de fatores como conversões,



semáforos e lombadas, pontos de embarque e desembarque, entre outros, os quais influenciam diretamente no tempo de percurso dos ônibus.

Apesar da velocidade operacional média do sistema de transporte público de Toledo – PR ter se apresentado acima da velocidade ideal considerada pela literatura, algumas linhas, em determinados sentidos, se mostraram com velocidades significativamente reduzidas.

A análise dos indicadores estatísticos, apesar de não plenamente satisfatória, foi útil para levantar as hipóteses de possíveis causas de fatores e suas consequências no transporte público de Toledo. Os indicadores mostraram influência fraca às velocidades determinadas. Alguns fatores tiveram mais relevância do que outros, o que sugere que aspectos externos à pesquisa podem estar influenciando a velocidade de algumas linhas, o que causou a limitação e análise global do serviço.

Além disso, observa-se que ainda há espaço para melhorias no sistema, tais como as que abrangem a integração entre linhas e corredores, os modelos dos ônibus (número e tamanho das portas de embarque e desembarque), tipo de cobrança, realocação de pontos de parada, entre outras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida a um dos autores, e à Empresa Sorriso de Toledo pelo apoio na disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS

CIDADE, R. B.; LEÃO JR., T. M. A. O direito ao transporte público como direito fundamental social. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, v. 2, p. 196-216, 2016.

CLARK, S. F. P.; SOUZA, P. R. M. R. O transporte público de qualidade como um direito previsto no código de defesa do consumidor. In: VII Jornada Internacional Políticas Públicas, 2017, São Luis. **Anais do evento**.

CONSÓRCIO DA REDE METROPOLITANA DE TRANSPORTES COLETIVOS DA GRANDE GOIÂNIA (RMTC); ODEBRECHT TRANSPORT. **Projeto VLT Anhanguera**. Goiânia: [s.n.], 2012. 357 p.



CORTÉS, C. E.; J. GIBSON; A. GSCHWENDER; M. MUNIZAGA E M. ZÚÑIGA. Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data. **Transportation Research Part C**, v. 19, p. 695–707, 2011.

DIÁRIO DO TRANSPORTE. **Uso de máscaras no transporte em Toledo (PR) será obrigatório**. 28 abr. 2020. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2020/04/28/uso-de-mascaras-no-transporte-em-toledo-pr-sera-obrigatorio/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E.. **Transporte público urbano**. 2ª ed. São Carlos: RiMa, 2004. 410 p.

FRANCO, B. de A.; SILVA, N. J. B. da. **Método para a avaliação de soluções em transporte com uso de microsimulação**. 2016. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GODARTH, A. J. L.; YOSHIO, D.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, G. G.; VILANOVA, L.; UETA, P. S.; PICCHIELLO, V.; TOURINHO NETO, O. S. Relatório do projeto-piloto de redução do tempo de ciclo para melhorar a velocidade operacional do ônibus. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo: **Notas técnicas**, NT 230/13. 2013.

GOUVEIA JR., C. G.; ARAÚJO, K. W. G.; ANDRADE, M. O. Análise de desempenho em trechos com e sem prioridade para o transporte coletivo ao longo de um corredor BRT. In: XXXII ANPET, 2018, Gramado. **Anais do evento**, v. 1, p. 773 – 784.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, Chichiri, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

MUNICÍPIO DE TOLEDO. Secretaria de Segurança e Trânsito. **Plano de mobilidade urbana**. Toledo: [s.n.], 2015. 235 p.

RECK, G. **Apostila de Transporte Público**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transporte, 2019. 108 p.

RODRIGUES, M. O. **Avaliação da qualidade do transporte coletivo da cidade de São Carlos**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SARAIVA, P. G.; CASARI, J. P. de A.; ORTEGA, V. E. T. **Simulações de faixas de ônibus em vias arteriais da cidade de São Paulo**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SORRISO DE TOLEDO. **Horários e mapas**. 2020. Disponível em: <<https://www.sorrisodetoledo.com.br/horarios/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

TORRES, A. **Estudo comparativo de modais de transporte público**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Transportes da Cidade do Rio de Janeiro, [s.n.], 2010. 74 p.

VASCONCELLOS, E. A. de. Desvendando a política brasileira de mobilidade urbana. **Revista dos Transportes Públicos**, ano 27/28, 3º/4º trimestre, p. 11-36, 2005.