

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Análise de corredores prioritários ao ônibus: panorama mundial,  
clusterização, seleção de variáveis relevantes e relação entre  
variáveis**

Porto Alegre  
março de 2015

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Análise de corredores prioritários ao ônibus: panorama mundial,  
clusterização, seleção de variáveis relevantes e relação entre  
variáveis**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Luis Antonio Lindau, *Ph.D*

Porto Alegre  
março de 2015

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Análise de corredores prioritários ao ônibus: panorama mundial,  
clusterização, seleção de variáveis relevantes e relação entre  
variáveis**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março de 2015.

---

**Prof. Luis Antonio Lindau, *Ph.D.***

Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

Professor Michel Anzanello, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Professora Raquel Holz, Dr. (UFPel/CIM)

Professor Luiz Afonso dos Santos Senna, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Diane e a minha avó Iracema por todo o apoio e dedicação.

Agradeço meu orientador, Prof. Lindau, por todos os ensinamentos repassados e por me orientar na construção deste trabalho.

Agradeço em especial ao professor Michel Anzanello por todos o apoio e ensinamentos compartilhados durante a elaboração do trabalho.

Agradeço à EMBARQ Brasil por me proporcionar um aprendizado constante e imensurável.

Agradeço aos professores do LASTRAN por terem contribuído na minha formação em Transportes.

Aos membros da banca, Prof<sup>a</sup> Raquel, Prof. Senna e Prof. Anzanello, que com suas críticas muito contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

Agradeço ao Rick por estar sempre ao meu lado me apoiando e incentivando em todos os momentos.

Aos meus irmãos Caroline e Marcio.

Aos colegas de mestrado, Diego, Leonardo, Luís Wanderley, Patrícia, Rodrigo e Vanessa, pelo companheirismo.

Por fim, agradeço à minha família de coração, meus amigos, que estiveram sempre presentes.

*A persistência é o menor caminho do êxito. (Charles Chaplin)*

## RESUMO

A prioridade aos sistema de transporte coletivo por ônibus gera inúmeros benefícios operacionais, como menores tempos de viagem, velocidades operacionais mais elevadas, proporcionando, também, melhores condições aos usuários nos seus deslocamentos. Apresenta-se uma caracterização geral de 374 corredores prioritários ao ônibus, incluindo sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*), BHLS (*Bus with High Level of Service*) e corredores com segregação viária. Análises de clusterização foram usadas para encontrar similaridades entre os diferentes corredores e resultaram na formação de quatro grupos. Verificou-se que as dez características com maior influência para a formação dos agrupamentos consistem de características físicas e operacionais dos corredores. Foi possível identificar características próprias para cada um dos clusters. Para entender o impacto de diferentes elementos de projeto e desempenho dos corredores na velocidade operacional realizou-se análises de relação entre variáveis.

Palavras-chave: corredores prioritários ao ônibus. BRT. BHLS.

## **ABSTRACT**

The priority of public transport, more specifically bus systems, generates numerous operational benefits, such as lower travel times, higher operating speeds, as well as offering better conditions for users. A general characterization of the 374 bus priority corridors is presented, including BRT systems (Bus Rapid Transit), BHLS (Bus with High Level of Service) and segregated bus priority corridors. Clustering analyses was used to find out similarities between the different corridors and resulted in the formation of four groups. It was found that the ten most influential characteristics for the formation of the 4 groups consisted of physical and operational characteristics of the corridors. It was possible to identify set of characteristics for each one of the clusters. Relationship between the variables was used to understand the impact of different design elements and performance of bus priority corridors in terms of operational speed.

Keywords: bus priority corridors. BRT. BHLS.



## LISTA DE FIGURAS

### **ARTIGO 1: BRT E CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS INCLUINDO BHLS: UM PANORAMA MUNDIAL**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Distribuição mundial dos BRT e corredores prioritários ao ônibus.....            | 19 |
| Figura 2: Crescimento do número de cidades com sistemas prioritários ao ônibus.....        | 20 |
| Figura 3: Incidência dos diferentes tipos de segregação.....                               | 21 |
| Figura 4: Incidência de características de projeto nos corredores.....                     | 23 |
| Figura 5: Distância média entre estações.....  | 24 |
| Figura 6: Velocidades operacionais.....  | 24 |
| Figura 7: Demanda na hora pico por direção no segmento crítico de cidades selecionadas.... | 25 |
| Figura 8: Corredores TOP 10 em demanda diária e em extensão.....                           | 26 |

## LISTA DE TABELAS

### **ARTIGO 1: BRT E CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS INCLUINDO BHLS: UM PANORAMA MUNDIAL**

Tabela 1: BRT e corredores prioritários ao ônibus incluindo BHLS por país..... 22

### **ARTIGO 2: CLUSTERIZAÇÃO DE CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS E IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS RELEVANTES**

Tabela 1: Resultados do SI para aplicação de técnicas de clusterização.....37

Tabela 2: Síntese das informações para os maiores valores de SI..... 38

Tabela 3: Síntese das informações de cada cluster.....39

Tabela 4: Principais variáveis para a formação dos clusters.....39

Tabela 5: Valores de SI apenas com as variáveis selecionadas.....40

### **ARTIGO 3: RELAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS DE CORREDORES DE PRIORIDADE AO ÔNIBUS E VELOCIDADE OPERACIONAL**

Tabela 1: Valores numéricos correspondentes para variáveis em texto.....47

Tabela 2: Resumo das informações de cada um dos modelos testados.....49

## LISTA DE SIGLAS

BHLS: *Bus with High Level of Service*

BRT: *Bus Rapid Transit*

FCM: *Fuzzy C Means*

PCA: *Principal Component Analysis*

PCR: *Principal Component Regression*

PIB: produto interno bruto

SI: *Silhoutte Index*

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS.....  | 14 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA.....  | 14 |
| 1.3 DELIMITAÇÃO.....  | 15 |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....  | 15 |
| <b>2 ARTIGO 1: BRT E CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS INCLUINDO BHLS: UM PANORAMA MUNDIAL</b> .....                                      | 17 |
| <b>3 ARTIGO 2: CLUSTERIZAÇÃO DE CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS E IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS RELEVANTES</b> .....                      | 28 |
| <b>4 ARTIGO 3: RELAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS DE CORREDORES DE PRIORIDADE AO ÔNIBUS E VELOCIDADE OPERACIONAL</b> ..... | 44 |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | 53 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 55 |
| <b>APÊNDICE A: valores usados na transformação de variáveis em texto para escala numérica</b> .....                                       | 56 |
| <b>APÊNDICE B: distribuição dos corredores no cluster correspondente</b> .....  | 58 |

## 1 INTRODUÇÃO

A concentração de atividades econômicas e de oportunidades para uma melhor qualidade de vida incentiva a migração aos grandes centros urbanos. Atualmente, 52% da população do planeta vive nas cidades e a previsão é de que este índice alcance 67% em 2050, acrescentando 2,5 bilhões de pessoas nas áreas urbanas. O cenário é ainda mais crítico no continente americano, onde estimativas sugerem que esta taxa fique próxima a 90% (UN, 2012). Aliado a isso, o crescente aumento do poder aquisitivo da população, principalmente da classe média (Kharas, 2010), aponta para um significativo aumento da motorização. A atual frota planetária de 1 bilhão de veículos deve crescer para 2 ou 3,3 bilhões em 2050, de acordo com o cenário considerado (ITF, 2012).

Embora o uso de veículos privados motorizados apresente inúmeros benefícios individuais, obtidos principalmente por ganhos em conforto e facilidade de deslocamentos porta-a-porta, muitos são os impactos gerados. As chamadas externalidades negativas, como a emissão de poluentes, acidentes viários e o congestionamento, crescem à medida que a população urbana opta pelo transporte privado em detrimento do coletivo. Em 2011, os gastos com a perda de tempo e o consumo excessivo de combustível nos Estados Unidos foram estimados em cerca de 121 bilhões de dólares, que corresponde a 8% do PIB do país (Schrang *et al*, 2012).

Um transporte coletivo eficiente é crítico para que os cidadãos acessem bens e serviços em áreas urbanas, é um elemento essencial na atividade econômica e na conectividade social das cidades. Sua eficiência é fundamental para a promoção do desenvolvimento econômico e social, visto que, para a maioria da população, é a única maneira de acessar empregos, educação e serviços. Embora o aumento da mobilidade traga benefícios, o crescimento do congestionamento impõe um uso mais racional do espaço viário urbano. Como uma faixa dedicada aos ônibus apresenta uma capacidade de transporte, em média, dez vezes superior a uma dedicada ao transporte privado (Lindau, 2013), cada vez mais cidades investem em corredores que priorizam a circulação dos ônibus.

Atualment, 186 cidades de 41 países do mundo contam com sistemas de prioridade ao ônibus. Esses corredores somam 4.757 km de priorização e beneficiam diariamente mais de 31 milhões de pessoas. Esses dados constam do BRTData.org (BRT Center of Excellence *et al.*, 2014) um banco de dados mundial que agrega informações sobre corredores que priorizam a circulação de ônibus.

## 1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho é investigar tendências e similaridades em corredores prioritários ao ônibus ao redor do mundo incluindo BRT, BHLS e corredores com segregação viária e verificar a relação entre variáveis que impactam no desempenho em termos de velocidade operacional.

Os objetivos específicos do estudo são:

- a) Caracterizar o panorama atual de corredores prioritários ao ônibus
- b) Agrupar os corredores por similaridade e validar os resultados
- c) Identificar as variáveis mais relevantes para a caracterização dos corredores por similaridade
- d) Buscar relação entre variáveis que impactam no desempenho dos corredores prioritários, considerando a velocidade operacional como variável dependente.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Sistemas de prioridade ao ônibus despontam como uma das principais opções para qualificar o transporte coletivo urbano. Esta qualificação resulta da adoção de configurações físicas e operacionais que melhoram o desempenho de sistemas tradicionais de superfície baseados em ônibus, tornando o modal sobre pneus mais competitivo. O valor social dos congestionamentos é muito alto, justificando o melhor entendimento de iniciativas que priorizem o transporte coletivo. Os elementos de projeto e desempenho que caracterizem cada um dos diferentes tipos de corredores como BRT, BHLS ou simplesmente um corredor de ônibus com segregação viária não são unanimidades consensuadas. Agrupar os corredores com base em elementos de projeto e desempenho e identificar as variáveis com maior influência nessa formação,

permite que, no futuro, através de um número limitado de variáveis, seja possível alocar novos corredores a algum dos grupos.

Apesar do crescimento acelerado no número e extensão de corredores de prioridade ao ônibus, que incluem BRT e BHLS, o impacto dos elementos de projeto no desempenho operacional ainda não é perfeitamente compreendido. Os estudos que abordam o tema tendem a avaliar os elementos de forma um tanto isolada e, portanto, o desempenho em termos de velocidade operacional resultante de combinações dos elementos de projeto ainda precisa ser melhor explorado.

### 1.3 DELIMITAÇÃO

Informações detalhadas sobre corredores prioritários ao ônibus, BRT e BHLS não são facilmente encontradas. O banco de dados usado no presente trabalho é rico em informação, mas contém lacunas. Possuí dados de 374 corredores prioritários ao redor do mundo para 116 indicadores, tendo em torno de 75% da informação preenchida. O preenchimento dos 25% faltantes, para permitir as análises, foi realizado com valores aleatórios variando entre os máximos e mínimos encontrados em cada país, com maior concentração na valor médio. No caso de países com apenas um corredor foram usados os máximos e mínimos da região para o preenchimento. A falta destas informações pode ter influência nos resultados obtidos. Para futuros trabalhos, e na medida que o banco de dados esteja mais completo, sugere-se que sejam realizadas as análises novamente com os valores atualizados, a fim de verificar os resultados obtidos no presente trabalho. Além disso, para futuros trabalhos variáveis de renda podem ser consideradas para buscar a relação das mesmas. Como o banco de dados é atualizado mensalmente, é possível encontrar informações mais atuais na plataforma online do que as usadas no presente trabalho que contempla informações de outubro de 2014.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo consta a introdução ao tema, os objetivos e estrutura do trabalho, a justificativa e as delimitações

do trabalho. O segundo capítulo apresenta o primeiro artigo da dissertação, no qual foram realizadas análises comparativas variando de aspectos gerais até características físicas e operacionais em termos de demanda e velocidade operacional de corredores prioritários ao ônibus no mundo. O terceiro capítulo apresenta o segundo artigo da dissertação, no qual foram usadas ferramentas de clusterização para agrupar os corredores de acordo com suas características, bem como a identificação das variáveis mais relevantes para formar os clusters. O quarto capítulo apresenta o terceiro artigo da dissertação, no qual se buscou identificar a relação entre variáveis, tendo como variável dependente a velocidade operacional dos corredores. No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais do trabalho.



## **BRT e corredores prioritários ao ônibus incluindo BHLS: um panorama mundial**

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Luis Antonio Lindau**

**Guillermo Petzhold**

**Daniela Facchini**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
EMBARQ Brasil

### **RESUMO**

Quarenta e um países implementaram BRT (*Bus Rapid Transit*) e corredores prioritários ao ônibus incluindo BHLS (*Bus with High Level of Service*) ao redor do mundo. Sistemas de ônibus de alta qualidade e desempenho estão presentes em 186 cidades de países em desenvolvimento e desenvolvidos economicamente. Como resultado dos investimentos massivos, mais de 150 cidades no mundo estão planejando novos sistemas prioritários ao ônibus ou expandindo os já existentes. O presente trabalho contempla um panorama mundial de BRT e sistemas prioritários ao ônibus, incluindo o BHLS, em escala de corredor. Foi usado um banco de dados abrangente para realizar análises comparativas variando de aspectos gerais (ex: localização, extensão e demanda) até características físicas e de desempenho em termos de demanda e velocidade operacional. Diariamente, mais de 31 milhões de passageiros são beneficiados pelos corredores prioritários de ônibus, que alcançam uma extensão de 4.757 quilômetros. Percebe-se uma prevalência de faixas segregadas em relação às exclusivas, respectivamente 80% e 6%. A América do Sul além de ser onde o BRT foi criado, também é uma região de continuas inovações. Após a virada do milênio, o número de cidades com sistema de prioridade ao ônibus passou a crescer exponencialmente. O Brasil lidera as estatísticas com 117 corredores que totalizam 828 km e beneficiam 12 milhões de passageiros por dia. Existe uma necessidade de expandir a utilização de características de projeto que tem impacto direto no desempenho dos corredores em termos de capacidade e velocidade. Exemplos de sucesso são vitais para inspirar os tomadores de decisão e planejadores, mas as características de projeto devem ser adaptáveis ao contexto local e às suas restrições, assim, a importância de fornecer um panorama destacando as tendências globais, características e análises de desempenho de sistemas prioritários ao ônibus numa escala de corredores.

### **ABSTRACT**

Forty-one countries all over the world have implemented BRT (Bus Rapid Transit) and bus priority corridors including BHLS (Bus with High Level of Service). High quality and performance bus transit exists in 186 cities of emerging and developed economies. As result of massive investments, more than 150 cities around the world are planning new or expanding existing bus priority systems. We provide a global overview of BRT and bus priority schemes including BHLS on a corridor basis. We use a comprehensive database to develop comparative analyses ranging from more general aspects (e.g. geography, length and demand) to physical characteristics and performance in terms of demands and operating speeds. Every day, more than 31 million passengers benefit from bus-based priority corridors, which cover a total length of 4,757 kilometers. There is strong prevalence of segregated over exclusive lanes, i.e. 80% as opposed to 6%. South America is not only where BRT was invented but also the source of ongoing innovation. After the turn of the millennium, the cumulative number of cities with bus corridors experienced exponential growth. Brazil is leading the statistics with 117 corridors totaling 828 km and benefiting 12M pass/day. There is need to expand the implementation of design features that have a strong impact on the performance of corridors in terms of capacity and speed. Successful examples are vital as inspiration for decision makers and planners, but design needs to be adaptive to local conditions and constraints; thus the importance of providing global overviews highlighting trends, features and performance analyses of bus priority transit on a corridor basis.

### **1. INTRODUÇÃO**

BRT (*Bus Rapid Transit*) e sistemas prioritários ao ônibus, incluindo BHLS (*Bus with High Level of Service*) tem vivenciado um alto crescimento durante a última década. Os sistemas estão em operação em diversas cidades ao redor do mundo, localizadas tanto em países emergentes como até nos mais desenvolvidos economicamente, ofertando

uma alternativa de transporte rápida, segura, confiável e acessível nas vias urbanas que sofrem cada vez mais com o congestionamento. Mundialmente, a taxa de veículos privados por 1.000 habitantes, não incluindo veículos de duas rodas, cresceu 34% entre 2004 e 2011 (World Bank, 2014). Os veículos privados são atrativos para os indivíduos, mas o acesso irrestrito a eles gera externalidades negativas significativas para a sociedade, o que é inconsistente com o objetivo de ter cidades mais sustentáveis.

Sistemas prioritários ao ônibus melhoram o desempenho e reduzem os tempos de viagem. Sistemas de ônibus de alta qualidade, além de atraírem e manterem usuários, também podem gerar benefícios ambientais e para saúde pública como: (i) diminuir a emissão de gases do efeito estufa; (ii) reduzir mortes, feridos e acidentes de trânsito (iii) reduzir a exposição pessoal à poluentes locais prejudiciais e; (iv) aumentar a atividade física de usuários do transporte coletivo (Carrigan *et al.*, 2013; VTPI, 2013; VTPI, 2013b).

Neste trabalho apresentado-se um panorama mundial sobre sistemas prioritários ao ônibus em escala de corredor. Foi usado um banco de dados mundial para desenvolver análises comparativas variando de aspectos gerais (ex: localização, extensão e demanda) até características físicas e operacionais em termos de demanda e velocidade operacional.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O BRTData (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014) é um banco de dados disponibilizado na internet desde abril de 2012 para disseminar o estado-da-prática e tornar público o acesso a informações globais sobre sistemas prioritários para ônibus. O objetivo da plataforma é servir de base para qualificar futuros projetos ao prover informações sobre diferentes atributos e indicadores que incluem aspectos de infraestrutura, desempenho operacional, frota, segurança viária e custos de sistemas.

O BRTData é um dos projetos desenvolvidos pelo *Across Latitudes and Cultures - Bus Rapid Transit* (ALC-BRT), o Centro de Excelência em BRT. Ao conduzir pesquisas aplicadas, ALC-BRT objetiva melhorar o estado-da-prática no projeto, planejamento, financiamento, implantação e operação de sistemas BRT. O ALC-BRT está sediado na *Pontificia Universidad Católica de Chile* e inclui pesquisadores e profissionais da *EMBARQ*, *Universidade Técnica de Lisboa*, *Massachusetts Institute of Technology* e *University of Sydney* (ALC-BRT, 2014).

O BRTData abrange informações sobre corredores que priorizam a circulação de ônibus, incluindo:

- BRT (*Bus Rapid Transit*), um transporte rápido de massa que alia a qualidade do transporte ferroviário à flexibilidade do sistema ônibus (Levinson *et al.*, 2003; Wright e Hook, 2007; FTA, 2009;);
- BHLS (*Bus with High Level of Service*), que visa ofertar um nível mais elevado de conforto ao usuário do que o BRT enquanto opera de forma mais eficiente que o serviço convencional de ônibus (COST, 2011);
- corredores de ônibus com segregação viária, incluindo qualquer tipo de faixa viária dedicada, desde as localizadas no centro da pista até as paralelas ao meio fio delimitadas por pintura.

O BRTData não é uma fonte de informação exaustiva, mas está em constante atualização. Atualmente tem informação de 116 indicadores e atributos de 374 corredores prioritários ao ônibus, localizados em 186 cidades de 41 países ao redor do mundo. Todos os dias, mais de 31 milhões de passageiros são beneficiados por esses corredores, que cobrem uma extensão de 4.757 quilômetros. A Figura 1 mostra a distribuição dos corredores por região, o tamanho dos círculos representa a demanda diária.

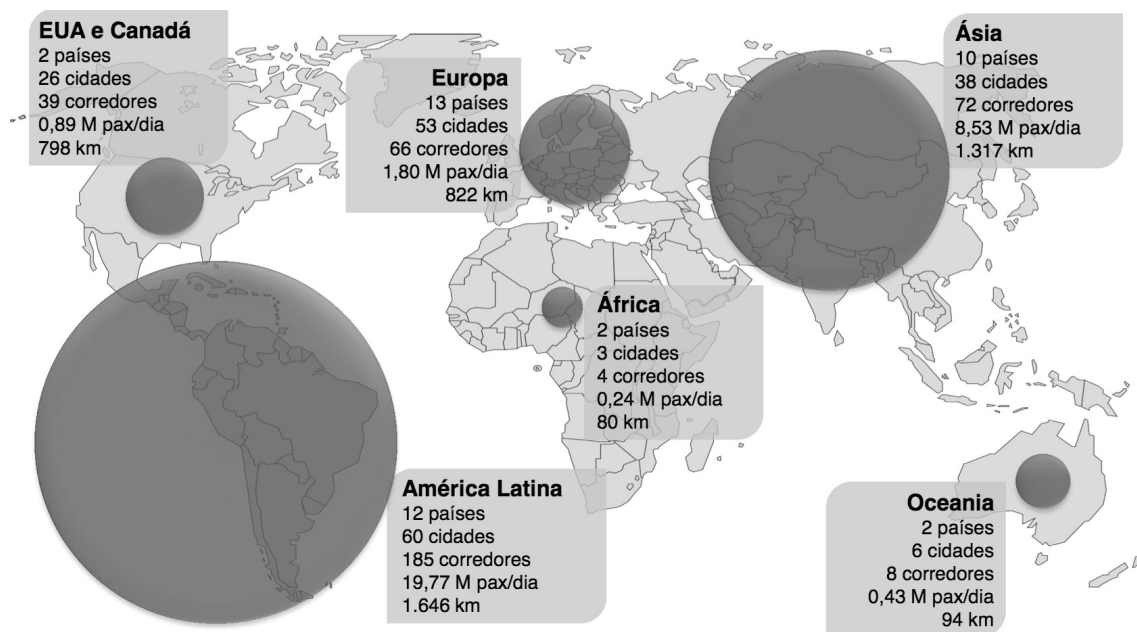


FIGURA 1 Distribuição mundial dos BRT e corredores prioritários ao ônibus

A América do Sul não é apenas onde o BRT foi inventado (Lindau *et al.*, 2010), mas também onde existe constante inovação. A América Latina e o Caribe têm 32% do total de cidades com sistemas prioritários ao ônibus e 49% dos corredores mundiais, além de transportarem 63% dos passageiros beneficiados diariamente. Aproximadamente 20% das cidades catalogadas no banco de dados estão na Ásia e são responsáveis por um quarto da demanda mundial. A Europa tem 28% das cidades do banco de dados e 5% da demanda.

Do início dos anos de 1970, quando o primeiro corredor de ônibus foi construído na América Latina, até 2000, quando o TransMilenio foi inaugurado em Bogotá, a expansão de corredores prioritários ao ônibus foi relativamente modesta. Após a virada do milênio, o número acumulado de cidades com corredores de ônibus vivenciou um crescimento exponencial, como mostra a Figura 2. É esperado que até 2019, 169 cidades vão inaugurar novos sistemas ou expandir os atuais, acrescentando 3.500 km de prioridade ao ônibus (EMBARQ Brasil, 2014).

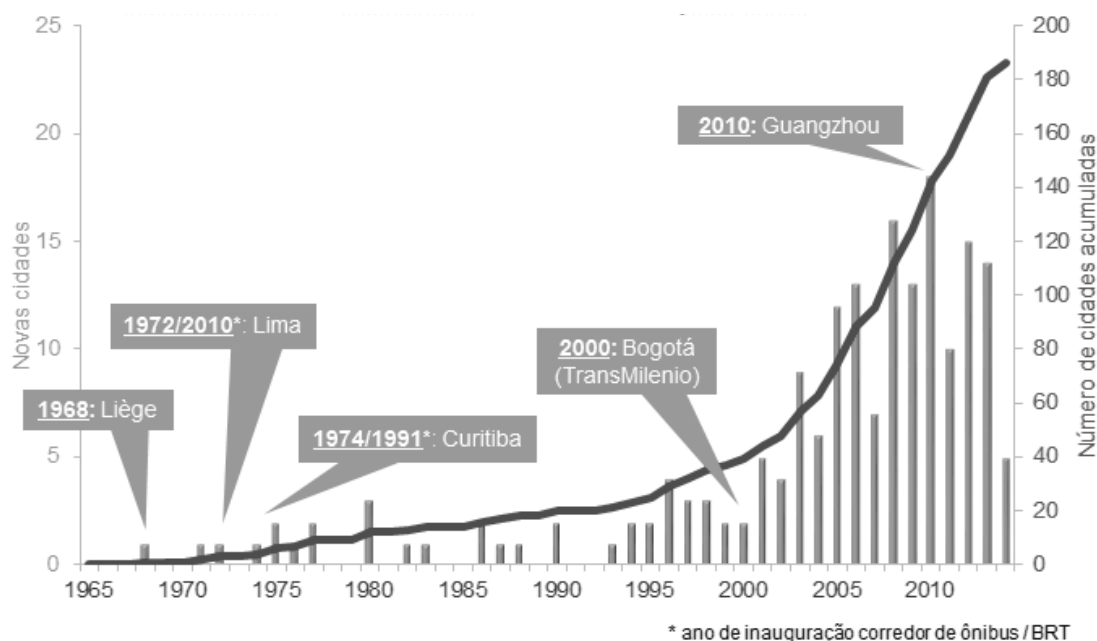


FIGURA 2 Crescimento do número de cidades com sistemas prioritários ao ônibus

### 3. COMPARANDO BRT E CORREDORES PRIORITÁRIOS AO ÔNIBUS

Neste trabalho, as análises comparativas abrangem três dimensões: (i) aspectos gerais, distribuindo os corredores por localização, extensão e demanda; (ii) características físicas, agrupando os corredores em relação a elementos de projeto que impactam na velocidade e na confiabilidade e; (iii) desempenho operacional, focando na demanda e na velocidade operacional.

#### 3.1 Aspectos gerais

Faixas segregadas são fisicamente separadas (por pintura, por barreiras físicas, por tachões) do tráfego dos demais veículos, mas contemplam cruzamentos tanto com outros veículos como com pedestres no mesmo nível (Vuchic, 2007). As faixas exclusivas estão fisicamente separadas do fluxo dos demais veículos ao longo de toda a sua extensão, sem permitir cruzamentos para pedestres ou outros veículos (Vuchic, 2007). As faixas em contra-fluxo são aquelas nas quais os ônibus operam na direção oposta do restante do tráfego (Vuchic, 2007; Duduta *et al.*, 2012). Faixas de tráfego misto são os segmentos de corredores nos quais não há nenhum tipo de prioridade. A Figura 3 apresenta a incidência de distintos tipos de prioridade viária por extensão de corredor implantado.

A facilidade de implantação contribuiu para a forte predominância de faixas segregadas sobre as exclusivas, representando 80% e 6% respectivamente. Faixas em contra-fluxo representam 3% da extensão total dos corredores. São a configuração mais perigosa para sistemas de ônibus, já que muitos usuários não preveem a chegada do veículo no sentido oposto do fluxo viário (Duduta *et al.*, 2012). Extensões em tráfego misto geralmente estão localizadas entre terminais suburbanos e o início da área na qual os ônibus começam a sofrer interferências dos demais veículos.

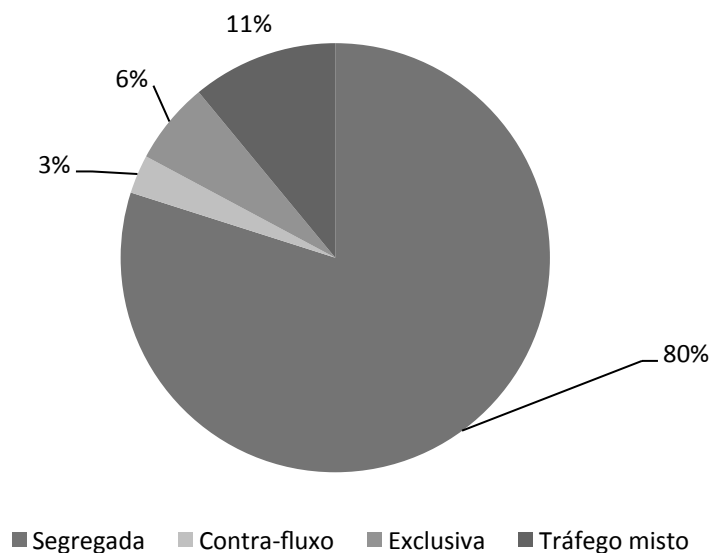


FIGURA 3 Incidência dos diferentes tipos de segregação

A Tabela 1 mostra os dados de número de cidades, corredores, extensão e demanda diária agregados por país. Brasil, França, China e Estados Unidos são os países com maior número de cidades (de 33 até 18) com corredores prioritários ao ônibus. Na Europa, França e Reino Unido são os países com maior número de cidades, 20 e 13 respectivamente. Chile e Indonésia, países que possuem corredores prioritários ao ônibus apenas nas suas capitais, apresentam os maiores índices em termos de corredores por cidade, uma proxy para indicar a existência de uma rede de corredores prioritários. É importante mencionar que cidades em países desenvolvidos têm redes extensas de sistemas sobre trilhos, muitas delas consolidadas no último século.

Enquanto a China é uma das nações em que o BRT expande mais rápido no mundo, México, Colômbia e Índia mostram também casos de expansão decorrentes de políticas nacionais que incentivam a implantação de BRT (Carrigan *et al.*, 2013). Os Estados Unidos, onde o veículo privado é responsável pela maior parte das viagens urbanas, conta com a quarta maior extensão de corredores prioritários ao ônibus com 556 km. Se países emergentes fizessem esforços similares aos dos Estados Unidos na implantação de sistemas com prioridade ao ônibus, haveria um aumento ainda mais significativo da presença de corredores BRT e corredores com prioridade ao ônibus incluindo o BHLS (Lindau *et al.*, 2014).

Com aproximadamente 12 milhões de passageiros por dia, o Brasil é o número um em termos de passageiros beneficiados por sistemas de prioridade ao ônibus. A demanda diária é três vezes superior a da China. Como proxy para estimar o uso de infraestrutura, a demanda diária, em termos de volume de passageiros que usam os BRT e corredores prioritários ao ônibus, foi dividida pela respectiva extensão de cada país. Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que os sistemas operantes na Argentina, Turquia, Brasil, Colômbia, Irã, Peru e Taiwan têm as maiores produtividades, com mais de 13.000 passageiros transportados por dia por quilômetro de infraestrutura de BRT e corredores prioritários.

TABELA 1 BRT e corredores prioritários ao ônibus incluindo BHLS por país

|                     | número de cidades | número de corredores | extensão (km) | demanda diária (kpass/dia) | corredores/cidade | km/cidade | demanda diária (pass/dia)/km |
|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------------|-------------------|-----------|------------------------------|
| Brasil              | 33                | 117                  | 827,8         | 11.692                     | 3,5               | 25,1      | 14.125                       |
| França              | 20                | 25                   | 259,3         | 463                        | 1,3               | 13,0      | 1.786                        |
| China               | 18                | 32                   | 563,4         | 3.978                      | 1,8               | 31,3      | 7.061                        |
| Estados Unidos      | 18                | 29                   | 556,1         | 365                        | 1,6               | 30,9      | 656                          |
| Reino Unido         | 13                | 13                   | 158,6         | 162                        | 1,0               | 12,2      | 1.024                        |
| México              | 9                 | 13                   | 264,8         | 1.658                      | 1,4               | 29,4      | 6.259                        |
| Canadá              | 8                 | 10                   | 224,5         | 530                        | 1,3               | 28,1      | 2.361                        |
| Índia               | 8                 | 8                    | 111,7         | 390                        | 1,0               | 14,0      | 3.492                        |
| Colômbia            | 6                 | 18                   | 208,0         | 3.101                      | 3,0               | 34,7      | 14.910                       |
| Austrália           | 5                 | 7                    | 89,5          | 407                        | 1,4               | 17,9      | 4.549                        |
| Holanda             | 5                 | 6                    | 159,9         | 108                        | 1,2               | 32,0      | 675                          |
| Suécia              | 3                 | 5                    | 95,7          | 100                        | 1,7               | 31,9      | 1.045                        |
| Taiwan              | 3                 | 3                    | 106,9         | 1.242                      | 1,0               | 35,6      | 11.624                       |
| Alemanha            | 3                 | 3                    | 46,1          | 102                        | 1,0               | 15,4      | 2.213                        |
| Irã                 | 2                 | 9                    | 147,9         | 2.000                      | 4,5               | 74,0      | 13.523                       |
| Equador             | 2                 | 8                    | 108,3         | 1.143                      | 4,0               | 54,2      | 10.594                       |
| Argentina           | 2                 | 7                    | 48,1          | 800                        | 3,5               | 24,1      | 16.632                       |
| Itália              | 2                 | 5                    | 42,8          | 23                         | 2,5               | 21,4      | 537                          |
| África do Sul       | 2                 | 3                    | 58,5          | 42                         | 1,5               | 29,3      | 718                          |
| Japão               | 2                 | 2                    | 28,5          | 9                          | 1,0               | 14,3      | 316                          |
| Venezuela           | 2                 | 2                    | 18,3          | 60                         | 1,0               | 9,2       | 3.279                        |
| Chile               | 1                 | 14                   | 91,9          | 341                        | 14,0              | 91,9      | 3.710                        |
| Indonésia           | 1                 | 12                   | 206,8         | 370                        | 12,0              | 206,8     | 1.790                        |
| Israel              | 1                 | 3                    | 40,0          | N/A                        | 3,0               | 40,0      | N/A                          |
| Bélgica             | 1                 | 3                    | 6,0           | N/A                        | 3,0               | 6,0       | N/A                          |
| Guatemala           | 1                 | 2                    | 35,0          | 245                        | 2,0               | 35,0      | 7.000                        |
| Turquia             | 1                 | 1                    | 52,0          | 750                        | 1,0               | 52,0      | 14.423                       |
| República da Coreia | 1                 | 1                    | 43,0          | 400                        | 1,0               | 43,0      | 9.302                        |
| Paquistão           | 1                 | 1                    | 26,0          | 130                        | 1,0               | 26,0      | 5.000                        |
| Peru                | 1                 | 1                    | 26,0          | 350                        | 1,0               | 26,0      | 13.462                       |
| Trinidad & Tobago   | 1                 | 1                    | 24,9          | N/A                        | 1,0               | 24,9      | N/A                          |
| Nigéria             | 1                 | 1                    | 22,0          | 200                        | 1,0               | 22,0      | 9.091                        |
| Tailândia           | 1                 | 1                    | 15,3          | 10                         | 1,0               | 15,3      | 654                          |
| Suíça               | 1                 | 1                    | 11,0          | 14                         | 1,0               | 11,0      | 1.273                        |
| República Tcheca    | 1                 | 1                    | 10,3          | 18                         | 1,0               | 10,3      | 1.756                        |
| Panamá              | 1                 | 1                    | 9,1           | N/A                        | 1,0               | 9,1       | N/A                          |
| Irlanda             | 1                 | 1                    | 8,4           | 34                         | 1,0               | 8,4       | 405                          |
| Uruguai             | 1                 | 1                    | 6,3           | 25                         | 1,0               | 6,3       | 3.968                        |
| Nova Zelândia       | 1                 | 1                    | 6,2           | 23                         | 1,0               | 6,2       | 3.694                        |
| Portugal            | 1                 | 1                    | 4,8           | 27                         | 1,0               | 4,8       | 5.625                        |
| Espanha             | 1                 | 1                    | 2,0           | 3                          | 1,0               | 2,0       | 1.600                        |

### 3.2 Características físicas

Alguns atributos presentes no BRTData tem forte impacto no desempenho operacional do corredor, em termos de capacidade de transporte, velocidade operacional e confiabilidade (Lindau *et al.*, 2013). As Figuras 4 e 5 mostram a incidência desses atributos e elementos de projeto: (i) prioridade semafórica para os ônibus; (ii) ultrapassagem nas estações e terminais; (iii) pagamento prévio ao embarque; (iv) embarque em nível nas estações e terminais; e (v) distância média entre estações.

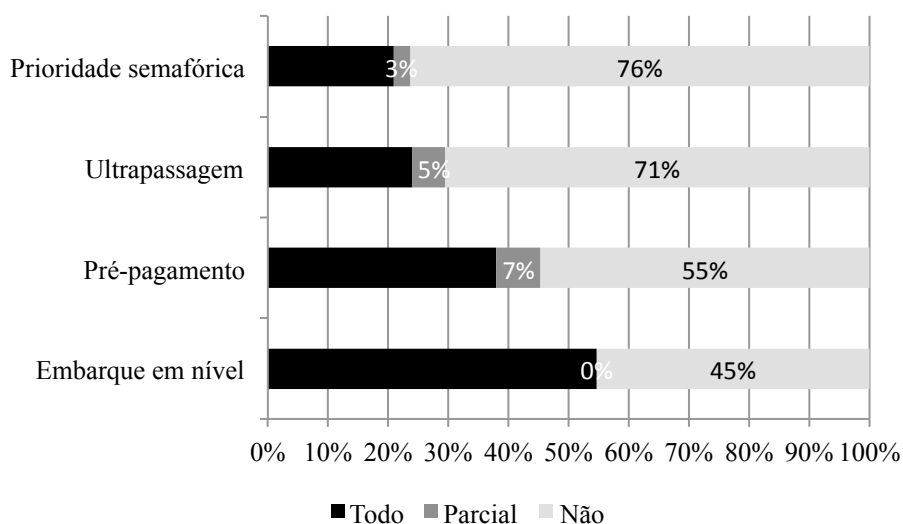


FIGURA 4 Incidência de características de projeto nos corredores

Prioridade semafórica é chave para aumentar a velocidade operacional e para regular o *headway* ao longo da rota para evitar comboios de ônibus (Delgado *et al.*, 2012). Mas mais de 75% dos corredores não possuem prioridade semafórica autuada (Figura 4). Ultrapassagem nas estações e terminais não apenas permitem maior capacidade de transporte (FTA, 2009), mas também permitem a combinação de diferentes tipos de serviços como expressos, acelerados e linhas locais. Entretanto, apenas 29% dos corredores prioritários possuem ultrapassagem ao longo de todo o corredor (todo) ou numa parte (parcial). Pré-pagamento e embarque em nível permitem menores tempos de espera nas estações (Weinstock *et al.*, 2011) e aumentam a capacidade (FTA, 2009). A maioria dos corredores não possuem pré-pagamento (55%); 38% possuem pré-pagamento em todas as estações ao longo do corredor e 7% em parte do corredor. Embarque em nível existe em aproximadamente 55% dos casos, mas dependendo da maneira de docagem nem sempre resultam em vãos adequados entre ônibus e estações ou terminais.

A distância média entre estações é crucial para o desempenho operacional de qualquer sistema de transporte. Quando maior a distância entre estações, maior a velocidade operacional (Kittlenson & Associates, 2003; Lindau *et al.*, 2013) e a capacidade do corredor (FTA, 2009). A distância entre estações com maior incidência está entre 600 e 700 m, como mostrado na Figura 5. Na configuração típica de corredores que usam vias

rápidas para conectar subúrbios a centros urbanos a distância entre estações é superior a 1,5 km. Distâncias menores entre estações estão associadas a corredores no centro das cidades que operam com múltiplas linhas.

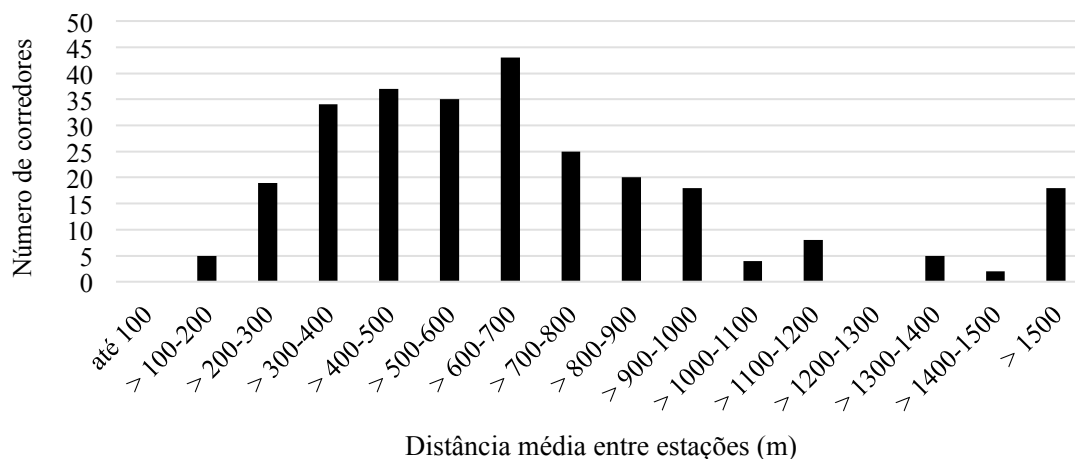


FIGURA 5 Distância média entre estações

### 3.3 Desempenho operacional

O intervalo com maior predominância de velocidades médias operacionais está entre 17,5 a 20 km/h, como mostra a Figura 6. Setenta por cento dos corredores tem velocidades operacionais entre 15 e 25 km/h. Como muitas das faixas com prioridade ao ônibus encontram-se junto ao meio-fio, interferências com o tráfego misto, como conversões à direita e operações de carga e descarga reduzem as velocidades médias operacionais. Alguns corredores possuem altas velocidades médias operacionais, como na Austrália nos corredores de Adelaide (80 km/h) e Brisbane (55km/h) (Currie e Delbosc, 2013) e o BHLS de Cambridge (60km/h), beneficiados por outras características como faixas exclusivas, ônibus guiados e prioridade semafórica e mesmo o deslocamento sem parada em faixa exclusiva entre terminal de ponta e terminal central.

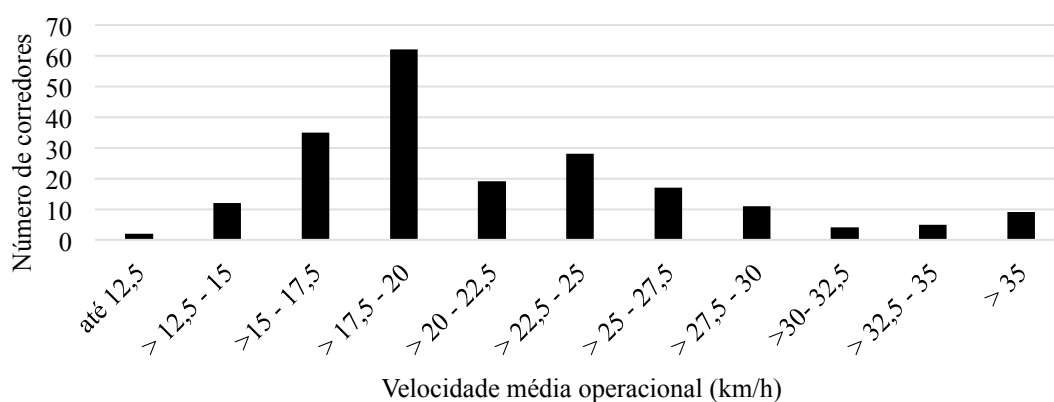


FIGURA 6 Velocidades operacionais

A Figura 7 mostra o rendimento máximo, em termos de passageiros por hora por direção, que passam ao longo do segmento mais carregado do corredor em cidades selecionadas. Os top três incluem um segmento de quatro faixas por direção no corredor de ônibus com a operação simultânea de diferentes linhas convencionais de ônibus



chamado de BRS (*Bus Rapid Service*) no Rio de Janeiro (NTU, 2013); um segmento com duas faixas por direção no BRT TransMilenio em Bogotá, no corredor da Av. Caracas, que foi especialmente planejado para suportar altos volumes de ônibus articulados e biarticulado e; o BRT intercontinental de Istanbul com uma faixa por direção que usa o centro da via em uma rodovia e cruza a ponte do Bósforo em tráfego misto. Três corredores de ônibus com complexidades e características de projetos distintas que exploram a flexibilidade intrínseca dos ônibus em ofertar altos desempenhos operacionais.

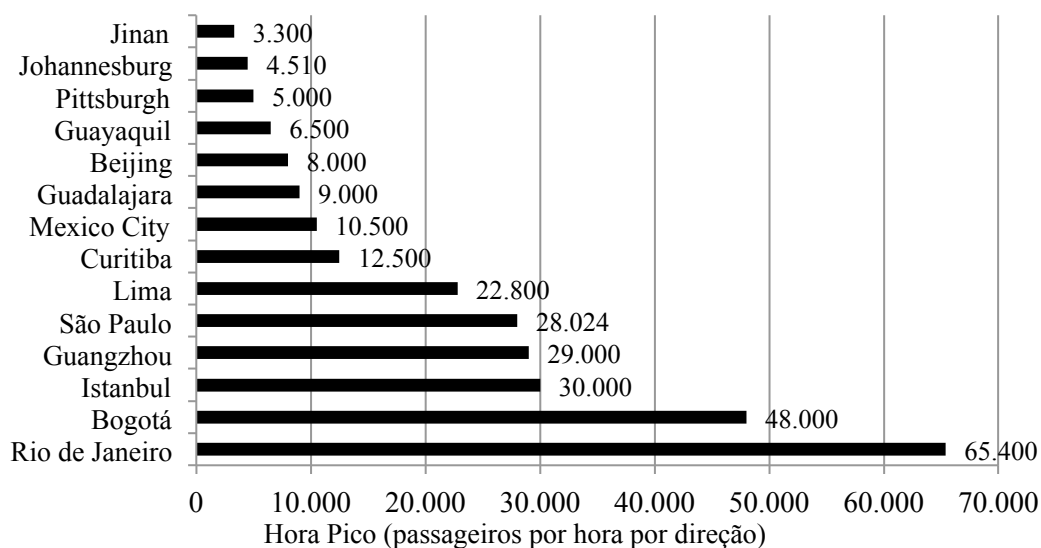


FIGURA 7 Demanda na hora pico por direção no segmento crítico de cidades selecionadas

A Figura 8 mostra os 10 principais corredores em termos de demanda diária e extensão. Apenas o BRT de Istanbul, o Metröbus, está incluído em ambos. Altas demandas (entre 400 a 600 kpass/dia) dos corredores brasileiros radiais que são usados por diversas linhas convencionais de ônibus para chegar aos centros das cidades, ocupam o intervalo até 20 km de extensão. Os corredores Chineses variam de baixas até altas demandas (mais de 800 kpass/dia como em Guangzhou) ocupam o intervalo de 20 a 35 km de extensão. Os BRT da Av. Insurgentes e da Av. Caracas, respectivamente na Cidade do México e Bogotá, assim como os corredores do Brasil, também estão neste intervalo. Com demandas diárias inferiores a 150k passageiros, tendo como única exceção o BRT TransOeste no Rio de Janeiro inaugurado em 2012, os BHLS Europeus e Americanos servem baixas densidades populacionais nos subúrbios e predominam no intervalo de 35 a 60 km.

São Paulo e Rio de Janeiro têm três corredores cada no top 10. São Paulo tem vários corredores de ônibus que somam 162,8 km de extensão e beneficiam 3,5 milhões de passageiros por dia, mas apenas o Expresso Tiradentes (12 km e 60kpass/dia) contempla todas as características de um BRT. Em preparação para as Olimpíadas de 2016 o Rio de Janeiro está implementando uma rede completa de corredores sendo 160 km de BRT e 178 km de BRS.

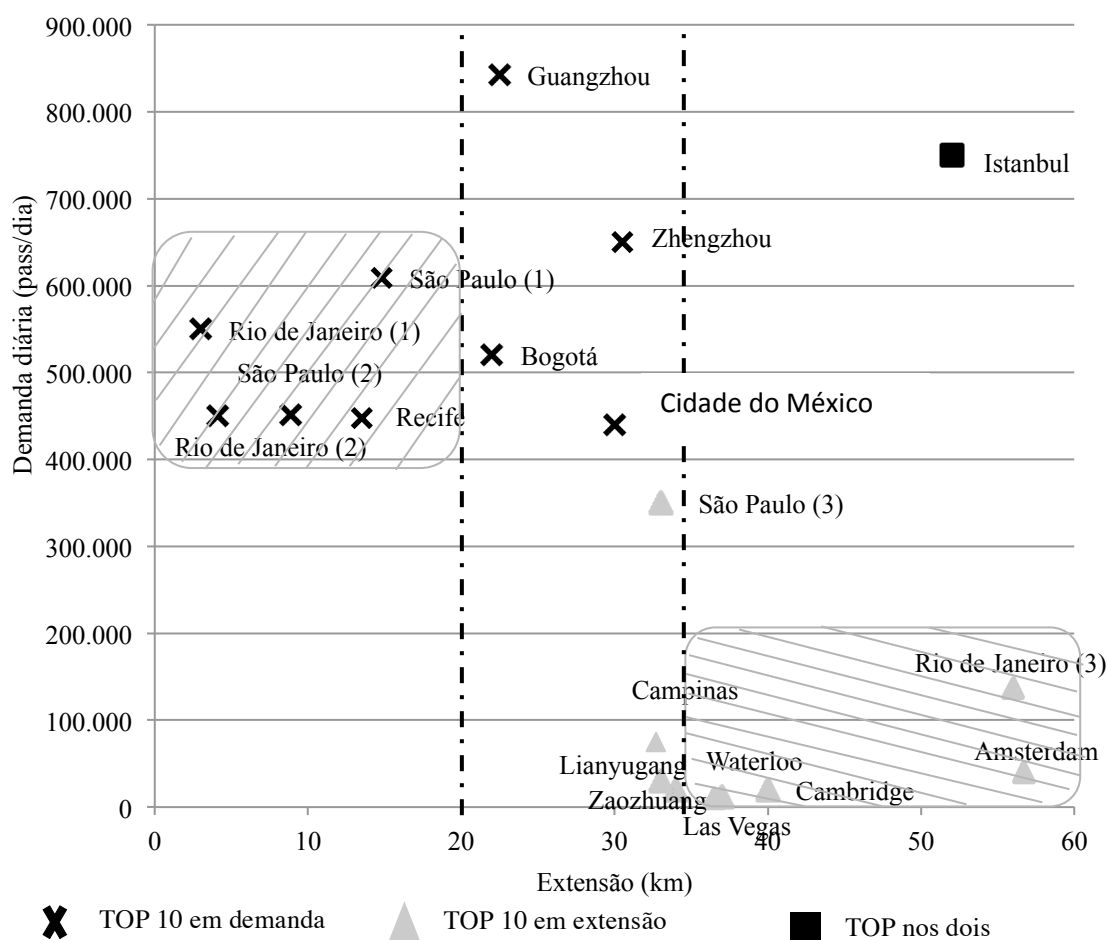


FIGURA 8 Corredores TOP 10 em demanda diária e em extensão

#### 4. Considerações finais

Hoje 186 cidades de 41 países têm corredores prioritários ao ônibus, incluindo BHLS e BRT. O conceito BRT alcançou um ponto alto através de programas nacionais, investimentos massivos e planejamento de expansão nos seis continentes do globo. Mais de 150 cidades ao redor do mundo estão planejando novos ou expandindo seus sistemas atuais de prioridade ao ônibus até 2019, oferecendo aos cidadãos acesso a sistemas seguros, limpos e que aumentam a qualidade de vida. Sistemas de alta qualidade e desempenho operacional são agora iniciativas que fazem parte do portfólio em busca de cidades com melhor mobilidade urbana e sustentáveis.

Muitas inovações nos sistemas de prioridades ao ônibus surgem em cidades congestionadas do mundo emergente, nas quais o desafio é transportar altas demandas na superfície como no caso do Rio de Janeiro e Bogotá. Mesmo assim, existe a necessidade de aumentar a utilização de características que tenham alto impacto no desempenho operacional dos corredores em termos de capacidade, velocidade e confiabilidade. Atualmente, menos de 25% dos corredores contam com prioridade semafórica e faixas de ultrapassagem e apenas 55% tem embarque em nível.

Sistemas de ônibus são flexíveis, não existe uma combinação única de características que definem um ponto ótimo. Exemplos de sucesso de BRT e corredores prioritários ao ônibus que incluem os BHLS devem servir como inspiração, tomando-se em conta que

as características de projeto precisam ser adaptadas ao contexto e às restrições locais. Logo, a importância de se apresentar um panorama mundial destacando as tendências, características e análises de desempenho operacional dos sistemas de prioridade ao ônibus.

### Referências

- ALC-BRT (2014) – *About us*. Across Latitude and Cultures – Bus Rapid Transit, Santiago, Chile. Disponível em: <http://Acessado em.brt.cl/about-us/>. Acessado em: Jul. 4, 2014.
- BRT Center of Excellence; EMBARQ; IEA e SIBRT (2014). Global BRT Data: version 2.4, última modificação em: out. 07, 2014. Disponível em: [brtdata.org](http://brtdata.org). Acessado em: Out. 08, 2014.
- Carrigan, A.; King, R. Velasquez, J.M.; Raifman, M.; Duduta, N. (2013) *Social, Environmental And Economic Impacts of BRT Systems Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World*. EMBARQ, Washington D.C. <http://Acessado em.embarq.org/sites/default/files/Social-Environmental-Economic-Impacts-BRT-Bus-Rapid-Transit-EMBARQ.pdf>. Acessado em: Jul. 28, 2014.
- COST (2011). *Buses with High Level of Service*. European Cooperation in Science and Technology, Paris, France.
- Currie, G; Delbosc, A. (2013) *Assessing Bus Rapid Transit System Performance in Australasia*. Presented at 13th International Conference on Competition and Ownership in Land Passenger Transport. Oxford, UK. 15-19 September 2013.
- Delgado, F., J. C. Muñoz and R. Giesen (2012). *How much can holding and / or limiting boarding improve transit performance?* In: Transportation Research Part B, vol. 46(9), pages 1202–1217.
- Duduta, N.; Adriaola, C.; Wass, C.; Hidalgo, D.; Lindau, L.A. (2012) *Traffic Safety on Bus Corridors Guidelines for integrating pedestrian and traffic safety into the planning, design, and operation of BRT, Busways and bus lanes*. EMBARQ Washington D.C.
- EMBARQ Brasil (2014) . *Future Bus Priority Corridors around the World*. Porto Alegre, Brazil.
- FTA (2009). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Federal Transit Administration, Washington, DC, USA.
- Kittlenson & Associates, Inc.; Kfc Group, Inc.; Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc; Hunter-Zaworski, K. (2003) *Transit capacity and quality of service manual*. Transit Cooperative Research Program: Report 100, 2nd Edition, Washington, DC, USA.
- Levinson, H.; S. Zimmerman; J. Clinger; S. Rutherford; R.L. Smith; J. Cracknell e R. Soberman (2003). *Bus rapid transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA.
- Lindau L. A; B. M. Pereira; R. A. Castilho; M. C. Diogenes e J. C. Herrera (2013). *Exploring the performance limit of a single lane per direction Bus Rapid Transit Systems*. In: TRB 92nd Annual Meeting, 2013, Washington D.C.
- Lindau L. A; G. Petzhold; C. A. M. da Silva and D. Facchini (2014). *BRT and bus priority corridors: scenario in the American continent*. In: TRB 93rd Annual Meeting, 2014, Washington D.C.
- Lindau, L. A.; D. Hidalgo e D. Facchini (2010). *Curitiba, the cradle of Bus Rapid Transit*. Built Environment, 2010 v. 36, n. 3, p. 269-277.
- NTU (2013) *Faixas Exclusivas de Ônibus Urbano Experiências de Sucesso*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, DF, Brasil.
- VTPI (2013a). *Smart Transportation Emission Reductions*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- VTPI(2013b). *Transportation Cost and Benefit Analysis II*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Vuchic, V. (2007) *Urban Transit: Systems and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.,
- Weinstock, A.; W. Hook; M. Replogle e R. Cruz (2011) . *Recapturing Global Leadership in Bus Rapid Transit: A Survey of Select U.S. Cities*. New York: Institute for Transport and Development Policy.
- World Bank. (2014) *The World Bank Open Data*. <http://data.worldbank.org/The World Bank Open Data>. Acessado em: Jul. 17, 2014.
- Wright, L. e W. Hook (2007) *Bus Rapid Transit Planning Guide* (3ª ed.). Institute for Transport and Development Policy, New York.

## Clusterização de corredores prioritários ao ônibus e identificação das variáveis relevantes

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Luis Antonio Lindau**

**Michel Anzanello**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
EMBARQ Brasil

### RESUMO

A prioridade ao transporte coletivo na forma de faixas prioritárias ao ônibus, BRT (*Bus Rapid Transit*) e BHLS (*Buses with High Level of Service*) está presente em 186 cidade de 41 países ao redor do mundo. O presente trabalho busca agrupar os corredores baseado em características gerais do sistema, bem como, características físicas e operacionais. Essas cidades contam com 374 corredores de prioridade ao ônibus que somam 4.757 quilômetros e transportam diariamente mais de 31 milhões de passageiros. Através das ferramentas de clusterização, os corredores foram separados em quatro grupos com características distintas. O primeiro cluster ficou composto apenas de faixas de prioridade ao ônibus em cidades brasileiras que não possuem racionalização dos serviços. O cluster dois é composto por diversos sistemas BHLS e por outros sistemas que não possuem este nome, mas que em suas características se encaixam na definição. O cluster três ficou composto por faixas de ônibus que possuem características físicas específicas, mas não o suficiente para serem classificadas como um BRT. O quarto cluster contemplou todos os corredores reconhecidos como BRT. Além disso, foram identificadas as dez variáveis com maior influência sobre os resultados.

### ABSTRACT

Bus priority corridors, BRT (Bus Rapid Transit) and BHLS (Buses with High Level of Service) are present in 186 cities from 41 countries around the world. This paper seeks to group them based on the general characteristics of each system, as well as the physical and operational characteristics. These cities had 374 bus priority corridors totaling 4,757 km that carry more than 31 million passengers per day. Using clustering tools, the corridors were separated into four clusters with different characteristics. The first cluster was composed of only the bus priority lanes in Brazilian cities that do not have rationalization of services operating in the system. The second cluster consists of several BHLS systems and other systems that do not have this name, but their characteristics fit the definition. The third cluster was composed of bus corridors with specific physical characteristics, but not enough to be classified as a BRT. The fourth Cluster covered all systems globally recognized as BRT. Furthermore, this study identifies the ten variables with greatest impact in order to generate the results.

## 1. INTRODUÇÃO

O entendimento e caracterização dos sistemas de transporte coletivo das cidades se tornam cada vez mais importantes devido ao atual crescimento das áreas urbanas, bem como do aumento das taxas de motorização. Atualmente, 52% da população do planeta vive nas cidades e a previsão é de que este índice alcance 67% em 2050, acrescentando 2,5 bilhões de pessoas nas áreas urbanas (UN, 2012). Aliado a isso, o crescente aumento do poder aquisitivo da população, principalmente da classe média, aponta para um significativo aumento da motorização (Kharas, 2010). A atual frota de 1 bilhão de veículos deve crescer para 2 ou 3,3 bilhões em 2050 (ITF, 2012). Mundialmente, a taxa de veículos privados por 1.000 habitantes, não incluindo veículos de duas rodas, cresceu 34% entre 2004 e 2011 (World Bank, 2014).

Quando se oferece prioridade à circulação dos ônibus é possível reduzir os efeitos indesejáveis do congestionamento sobre o transporte coletivo. A priorização através da adoção de faixas é considerada uma forma eficaz na medida que separa o ônibus das interferências de circulação do tráfego misto. A prioridade pode apresentar

características físicas e operacionais distintas, tais como extensão da faixa, localização da faixa no perfil da caixa viária, tipo de pavimento utilizado na via, forma de prioridade semaforica, entre outros. A priorização do transporte coletivo por ônibus é uma das alternativas mais econômicas para melhorar a mobilidade urbana (FTA, 2009a).

Sistemas de prioridade ao ônibus melhoram o desempenho operacional e reduzem os tempos de viagem. Além de manter e atrair novos usuários, sistemas de ônibus de alta qualidade podem prover benefícios ambientais e na saúde pública como: (i) reduzir a emissão de gases de efeito estufa; (ii) reduzir mortes, acidentes e feridos; (iii) reduzir a exposição pessoal aos poluentes locais e atmosféricos nocivos e; (iv) aumentar a atividade física para os usuários (Carrigan *et al.* 2013; VTPI, 2013a; VTPI, 2013b).

O objetivo principal deste trabalho é realizar agrupamentos dos corredores prioritários ao ônibus, utilizando diferentes ferramentas de clusterização. As ferramentas permitem identificar qual o melhor resultado matemático para agrupar os corredores de ônibus em famílias, baseados em características físicas e de desempenho operacional. Após a identificação dos melhores agrupamentos, o presente estudo analisa a formação dos grupos e identificar as variáveis mais importantes para tal.

## **2. CARACTERÍSTICAS DE CORREDORES PRIORITÁRIOS DE ÔNIBUS**

Os sistemas de transportes coletivos com prioridade ao ônibus possuem elementos físicos e operacionais que determinam seus desempenhos (Pereira, 2011). Os elementos físicos são aqueles referentes à infraestrutura propriamente dita, como localização da faixa segregada em relação à caixa viária; existência ou não de ultrapassagem nas estações, etc. Já os operacionais dizem respeito à maneira de operar os sistemas, como a velocidade média operacional das faixas e a frequência operacional (Wright e Hook, 2007).

Com o intuito de formar grupos por similaridade, o presente trabalho abrange um conjunto de quarenta e cinco variáveis obtido a partir de trinta e um elementos distintos. As análises contemplam informações de 374 faixas prioritárias ao ônibus, localizadas em 186 cidades de 41 países. As faixas somam 4.757 quilômetros e transportam diariamente mais de 31 milhões de passageiros (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014).

O banco de dados do qual as informações foram utilizadas foi desenvolvido através do *Across Latitudes and Cultures - Bus Rapid Transit* (ALC-BRT) um Centro de Excelência em BRT com sede em Santiago no Chile e financiado pela Fundação Volvo de Pesquisa e Educação (VREF). ALC-BRT visa desenvolver um novo panorama para concepção, planejamento, financiamento, implementação e operação de sistemas BRT em diferentes áreas urbanas. São integrantes do Centro de Excelência: a Rede EMBARQ, a *Pontificia Universidad Católica de Chile*, a *Technical University of Lisbon*, o *Massachusetts Institute of Technology* e a *University of Sydney* (ALC-BRT, 2014). Os elementos objeto do presente estudo foram selecionados no banco de dados por caracterizarem cada uma das faixas prioritárias; a eles foram acrescentados elementos que dizem respeito às cidades.

Esforços já foram realizados com o intuito de agrupar corredores de ônibus em famílias ou grupos pelas suas características físicas e operacionais. Dentre os estudos mais relevantes constam o de Hensher e Li (2012), que agrupa os corredores prioritários ao

ônibus por suas características econômicas e financeiras, e o BRT Standard (ITDP, 2014) que classifica os corredores BRT em ouro, prata e bronze de acordo com suas características.

O BRT Standard resulta de um índice ponderado aditivo e semi-compensatório na medida em que, respectivamente, inclui atributos positivos e negativos, e exige uma pontuação mínima em atributos considerados essenciais para que um corredor se qualifique como BRT. O índice é mais focado em atributos físicos do que em atributos de desempenho e, segundo seus proponentes, almeja criar uma definição comum dos sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus tipo BRT. Confere padrões (no caso, ouro, prata ou bronze) a corredores BRT definidos como: “[...] uma seção de uma via ou vias contíguas servidas por uma ou múltiplas linhas de ônibus, que tenha faixas segregadas de ônibus numa extensão mínima de 4 km.” (ITDP, 2014).

## **2.1 Elementos abordados**

Os elementos selecionados para a análise por agrupamento estão separados em dois grupos, o de indicadores gerais da cidade e o de características físicas e operacionais de cada uma das faixas de prioridade implantadas. Os elementos são originários do banco de dados do BRTData.org (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014), e foram selecionados com o objetivo de abranger a maior quantidade de informação. Além disso, a seleção também se baseou na incidência de preenchimento das informações no banco de dados. Os elementos inseridos como características gerais são: (i) nome do país e da cidade onde opera a faixa; (ii) população da cidade e da região metropolitana; (iii) densidade populacional da região metropolitana; (iv) divisão modal na cidade; (v) existência de integração tarifária com o sistema alimentador; (vi) existência de integração tarifária com outros modos no âmbito da cidade; (vii) existência de marca e logo do sistema; (viii) identificação visual nos veículos do sistema e; (ix) existência de centro de controle operacional.

Já os elementos abordados como características físicas e operacionais de cada corredor são os seguintes: (i) ano de inauguração; (ii) tipo de serviço que opera; (iii) existência de linhas troncais; (iv) demanda na hora pico e diária; (v) extensão da faixa; (vi) localização da faixa; (vii) posição das portas dos veículos; (viii) pavimento de concreto ou asfalto; (ix) existência de separação em nível nas interseções; (x) existência de prioridade semafórica; (xi) número de estações e distância média entre as estações; (xii) qualidade das estações; (xiii) existência de ultrapassagem nas estações; (xiv) existência de estações com pré-pagamento; (xv) característica do embarque; (xvi) velocidade média operacional; (xvii) frequência operacional; (xviii) existência de linhas expressas; (xix) existência de integração física com os alimentadores e; (xx) existência de informação em tempo real para os usuários.

## **2.2 Descrição dos elementos gerais da cidade**

Para compreender o contexto local no qual a faixa segregada de ônibus está inserida é importante conhecer a população da cidade, bem como da região metropolitana, visto que as faixas prioritárias em algumas cidades conectam com a região metropolitana. Com base na demanda e na população é possível inferir o percentual da população sendo atendida pelas faixas de prioridade ao ônibus. Informações de densidade populacional e divisão modal contribuem para o entendimento do contexto da cidade. A

inserção de elementos gerais objetiva verificar se eles têm influência nos agrupamentos formados.

A integração tarifária permite, aos usuários do sistema da cidade facilidades para trocar do sistema troncal para o alimentador ou realizar a troca modal. A existência de integração entre sistema troncal e alimentador, facilita o uso e incentiva os usuários a ingressarem no sistema, por permitir a segunda viagem sem pagamento ou com pagamento adicional reduzido.

A elaboração de um plano de *marketing* contribui muito para a consolidação de um sistema completo, pois a criação de uma marca forte pode ser a chave para que os clientes esqueçam o estigma dos serviços de ônibus convencionais e se beneficiam de uma nova imagem sobre sistemas de transportes coletivo. Dessa forma, o *marketing* do sistema deve cultivar uma imagem positiva, transmitindo a mensagem de que o sistema de prioridade é uma alternativa competitiva e qualificada quando comparada ao automóvel individual (EMBARQ, 2011). Uma marca de sucesso, de um sistema de transporte coletivo deve começar pela definição de seus valores centrais. A maioria dos sistemas busca uma marca que identifique os serviços como modernos, eficientes, rápidos, confiáveis, convenientes, confortáveis e seguros (EMBARQ, 2011). Além de possuir uma marca única, o sistema prioritário pode apresentar uma identidade visual nos veículos, deixando mais clara a distinção do sistema.

O centro de controle operacional ajuda a assegurar que a operação do sistema ocorra de forma eficiente e contínua (Wright e Hook, 2007). A central de controle tem como atribuições: respostas imediatas a mudanças na demanda dos usuários; respostas imediatas a falhas de equipamento ou problemas de segurança, e; promover um espaçamento eficiente entre veículos evitando a formação de filas. O centro de controle busca também evitar aglomerações, reagir prontamente a problemas e emergências e alocar recursos adicionais para aumentar a oferta em resposta imediata a alterações na demanda.

### **2.3 Descrição dos elementos de cada corredor**

A data de inauguração da faixa segregada é importante na verificação de existência influência temporal nas características implantadas. Entende-se que possa existir uma identidade entre o período de implantação do corredor e seus principais elementos de projeto.

Uma característica operacional das faixas de prioridade ao ônibus é o tipo de serviço em que ela opera. O corredor pode ser: troncal com alimentadores, apenas troncal ou de serviço convencional. Um corredor com serviço troncal com alimentadores possui linhas troncais e é alimentado por outras linhas que buscam os passageiros nos bairros e os leva até o corredor, formando um serviço tronco alimentado. Corredores só com serviço troncal, têm as linhas que operam apenas no corredor sem contar com serviços de extensão do sistema para buscar os passageiros no bairro e levar até o corredor. Já os sistemas convencionais que operam em corredores, o fazem através de linhas normais da cidade que usufruem de uma estrutura de corredor em parte do seu trajeto.

A demanda da hora pico é definida como a quantidade máxima de passageiros que viajam por hora por sentido ao longo do segmento mais carregado do corredor. Já a

demanda diária total da faixa de ônibus é determinada pelo volume total de usuários transportados pelos ônibus por dia de trabalho típico em ambos os sentidos do corredor.

A faixa prioritária pode ser: segregada, exclusiva ou em contra-fluxo; além disso pode apresentar parte de sua extensão total em tráfego misto. A faixa segregada é aquela que proporciona separação física do tráfego dos ônibus dos demais veículos, mas permite cruzamentos no mesmo nível tanto com outros veículos como com pedestres. Essa separação pode ser feita por pintura, por barreiras físicas, por tachões, entre outros (Vuchic, 2007). As faixas exclusivas estão fisicamente separadas do fluxo dos demais veículos ao longo de toda a extensão, não existindo cruzamentos, estabelecendo um fluxo de ônibus totalmente separado dos demais usuários da via. As faixas em contra-fluxo são aquelas nas quais os ônibus operam na direção oposta do restante do tráfego (Vuchic, 2007; Duduta *et al.*, 2012). Faixas de tráfego misto identificam os segmentos de corredores nos quais não ocorre nenhum tipo de priorização.

Ônibus operando em faixas prioritárias localizadas junto ao meio fio sofrem interferência de veículos que fazem movimentos de conversões ou que estacionam na via. As faixas impactam e são impactadas pelo fluxo de ciclistas e pedestres nas proximidades do meio fio e nas calçadas. Dessa forma, a colocação da faixa segregada no centro da via tende a aumentar as velocidades atingidas e minimizar os conflitos (Weinstock *et al.*, 2011). A localização central está quase sempre associada a velocidades operacionais mais elevadas dos ônibus, embora seja necessário projeto diferenciado para as estações e tratamento especial para regular os movimentos nas interseções (Vuchic, 2007).

Quantidade e localização das portas são outras importantes características que devem ser avaliadas no momento da escolha do veículo (Wright e Hook, 2007). É imprescindível prever portas em ambos os lados sempre que for necessário atender embarques e desembarques em plataformas centrais e laterais – isso pode ser necessário quando os veículos também realizam captação de usuários fora dos corredores atendendo paradas convencionais (ANTP, 2010). As características devem estar em consonância com o projeto da estação para que possibilitem uma redução no tempo de permanência do veículo na estação.

O pavimento utilizado, tanto nas estações quanto nos trechos entre elas, pode ser de concreto ou de asfalto. A escolha impactará os custos de implantação e manutenção da via e influenciará o desempenho operacional. Pavimento de menor qualidade tende a reduzir os custos de investimento inicial, entretanto pode aumentar consideravelmente os custos de manutenção das vias caso haja necessidade de repavimentação ou reconstrução (Wright e Hook, 2007). A longo prazo, o pavimento de concreto é mais vantajoso, visto que a durabilidade é maior que a do asfalto. A maior durabilidade deve-se ao fato de que o concreto é mais resistente às forças aplicadas pelos veículos pesados. Nos trechos das estações, o pavimento de concreto é preferível para manter constante o nível das plataformas de veículos e estações não dificultando o acesso dos usuários aos veículos (Wright e Hook, 2007).

As interseções são fator crítico para os sistemas de ônibus. Quando não são bem projetadas podem reduzir a capacidade da via e causar atrasos para o sistema. Uma maneira de maximizar o desempenho operacional é através da separação de nível nas interseções críticas. A existência de conflitos entre os diferentes fluxos possibilita maior



fluidez à via (FTA, 2009a). Separação de nível resulta da circulação de ônibus em nível distinto de pedestres e outros veículos, não existindo assim, nenhum conflito de fluxo entre eles (Gardnet *et al.*, 1991).

Os sinais semaforicos causam interrupções frequentes no fluxo em um sistema de ônibus (Highway Capacity Manual, 2000). A priorização semaforica pode aumentar o desempenho de sistemas de ônibus. Fases curtas para os ônibus geram atrasos e, ainda, podem causar a lotação das estações à juzante (Gardnet *et al.*, 1991). A prioridade semaforica pode ser previamente alocada para os ônibus através de fases mais longas, ou atuada em tempo real pelos próprios veículos (Vuchic, 2007).

Quanto maior a distância entre as estações menor será o tempo perdido com aceleração e desaceleração dos veículos e, conseqüentemente, maior a velocidade operacional. À medida que aumenta a distância entre as estações, diminui o tempo total de ciclo, mas aumenta o tempo médio de caminhada dos passageiros para acessar as estações (Kittelson & Associates, Inc *et al.*, 2003).

A qualidade das estações é importante por ser o primeiro ponto de contato do usuário com o sistema ônibus. Além de boa qualidade, as estações devem ser projetadas para ajudar na operação do sistema, sendo compatíveis com as características dos veículos que operam no sistema, assim como a demanda que devem atender.

A existência de ultrapassagem nas estações permite a operação de serviços diferenciados ao longo da faixa segregada de ônibus variando de serviços locais a acelerados e expressos. As faixas de ultrapassagem nas estações permitem a continuidade de serviços acelerados e expressos, uma vez que não é necessário parar quando as demais linhas de ônibus estiverem nas estações para embarque e desembarque (FTA, 2009b). A existência da faixa de ultrapassagem gera, também, um aumento da velocidade operacional e da capacidade do corredor (Levinson *et al.*, 2003a; Hidalgo, 2011).

O tempo de embarque é a principal causa de atrasos significativos nos sistemas de ônibus (Weinstock *et al.*, 2011). A exceção reside nos corredores altamente congestionados, nos quais os maiores atrasos provêm do próprio congestionamento. O tempo de embarque pode ser minimizado com o pagamento da tarifa sendo efetuado anteriormente ao ingresso no veículo, onde os passageiros pagam a tarifa ao passarem por uma catraca ao ingressarem na estação.

Em sistemas nos quais o pagamento é realizado no interior do veículo o tempo de embarque por passageiro é de aproximadamente cinco segundos (Weinstock *et al.*, 2011). Entretanto, nos sistemas em que o pagamento é realizado nas estações, os tempos de embarque por passageiro podem ser reduzidos para um terço deste tempo (Weinstock *et al.*, 2011). Para isso é necessário que as estações sejam grandes o suficiente para manter todos os passageiros que já pagaram à espera do ônibus. Os benefícios do pré-pagamento em estações com grandes volumes de passageiros são mais significativos que nas de pequena demanda.

O embarque nos corredores de ônibus pode ser realizado em nível ou não. O embarque em nível ocorre quando o ônibus e a estação estão alinhados na mesma altura, não havendo degraus para sair de um e ingressar no outro. O embarque em nível pode ser

realizado em plataformas altas ou baixas, permitindo, em ambos os casos, um fácil acesso para os passageiros. O embarque em nível é outra maneira de minimizar os tempos de embarque nas estações (Weinstock *et al.*, 2011).

Do ponto de vista de tempo economizado, não é relevante se a plataforma é baixa ou elevada; o importante é que a plataforma do veículo esteja ao mesmo nível da estação (Weinstock *et al.*, 2011). O embarque em nível em plataformas altas é utilizado, em muitas ocasiões, para prevenir a entrada imprópria, evitando a evasão da tarifa por parte dos usuários (Vuchic, 2007). Nos sistemas que não possuem embarque em nível é necessário disponibilizar acesso para cadeirantes (Weinstock *et al.*, 2011).

A velocidade operacional é definida como a velocidade média de um ônibus ao longo do seu percurso, incluindo todas as paradas, atrasos e tempo para embarque e desembarque dos passageiros (Gardnet *et al.*, 1991). Logo, um sistema com distâncias curtas entre estações ou com longos tempos para embarque e desembarque é comparativamente penalizado em termos de velocidade média.

A frequência operacional dos serviços de transporte coletivo deve garantir uma oferta adequada para acomodar a demanda estimada ao longo de uma linha durante determinado período de tempo (Lindau *et al.*, 2011). O aumento da frequência do serviço ofertado resulta na redução do *headway*. O controle da regularidade do *headway* permite maior confiabilidade nos sistemas de ônibus (Vuchic, 2007). Quanto maior a frequência, menor é o tempo de espera dos usuários nas estações (Levinson *et al.*, 2003b).

Dentro do contexto de mobilidade urbana, é imprescindível que qualquer sistema de transporte coletivo se integre com os demais modos, incluindo os sistemas alimentadores, de forma a constituir uma rede de transportes. A integração depende de dispositivos que permitam ao usuário a transferência de forma rápida, confortável e segura (NTU, 2013). A integração física entre as linhas troncais e as alimentadoras gera conforto para os usuários, além de incrementar a eficiência do sistema (Wright e Hook, 2007).

A existência de informações em tempo real para os usuários nas estações gera o sentimento de maior confiabilidade no sistema (FTA, 2009b). Novos usuários são atraídos com maior facilidade para os sistemas de transporte coletivo quando existem menores incertezas.

### **3. DESCRIÇÃO DE FERRAMENTAS MULTIVARIADAS**

Para permitir um melhor entendimento do procedimento metodológico utilizado apresenta-se, uma breve descrição de ferramentas multivariadas se faz necessário. A descrição contempla as definições de clusterização, *Silhouette Index*, análise de componentes principais e seleção de variáveis.

#### **3.1 Clusterização**

A clusterização é uma técnica de análise multivariada que atribui observações (objetos) a clusters (grupos), de tal forma que as observações dentro do mesmo cluster apresentam um alto grau de semelhança, e observações de diferentes clusters apresentam alto grau de dissimilaridade (Hair *et al.*, 1995; Kaufman e Rousseeuw, 2005; Everitt *et al.* 2011; Härdle e Léopold, 2012).

Existem duas famílias de algoritmos para operacionalizar a clusterização: algoritmos hierárquicos e não-hierárquicos. Os métodos hierárquicos de cluster consistem em uma série de sucessivos agrupamentos ou sucessivas divisões de elementos, onde os elementos são agregados ou desagregados e são geralmente representados por um diagrama (Everitt *et al*, 2011). Os métodos não-hierárquicos geram uma classificação por particionamento de um conjunto de dados, dando um conjunto de grupos não sobrepostos que não tenham relações hierárquicas entre eles.

O método mais popular entre os não-hierárquicos é o algoritmo *k-means*, que é reconhecido pela sua eficiência (Jain e Dubes, 1988). O algoritmo *k-means* atribui cada observação ao cluster com o centroide mais próximo, minimizando a soma da distância Euclidiana entre observação e centroide (Ortiz *et al*, 2012). O centroide de cada cluster pode ser calculado ou atribuído randomicamente pelo algoritmo. O número de clusters  $k$  a ser gerado é definido pelo usuário.

Outra técnica de clusterização não-hierárquica é o Fuzzy C-means (FCM). Diferentemente da técnica *k-means*, o FCM atribui a cada observação um "grau de associação", que mede o quanto que a observação pertence a cada cluster em vez de pertencer totalmente a um cluster específico (Kaufman e Rousseeuw, 2005; Lopes e Wolff, 2009; Anzanello e Fogliatto, 2011; Everitt *et al*, 2011; Anzanello *et al.*, 2014). Tal grau de associação é inversamente relacionada com a distância da observação  $i$  a centroides dos clusters em torno dessa observação; a observação  $i$  é inserida no cluster que apresenta a maior probabilidade de receber aquela observação (isto é, apresentar maior "grau de associação" para aquela observação (Kaufman e Rousseeuw, 2005).

### 3.2 Silhouette Index

A qualidade dos clusters gerados, tanto para *k-means* como FCM, pode ser mensurada através do *Silhouette Index* (SI). O SI mede a similaridade de uma observação alocada a determinado cluster com relação às outras observações alocadas no mesmo cluster; esse grau de similaridade é confrontado com a similaridade daquela observação a outras observações alocadas a outros clusters (Kaufman and Rousseeuw, 2005; Lopes e Wolff, 2009; Anzanello e Fogliatto, 2011). O SI é um índice que varia entre -1 e 1 e permite avaliar a aderência dos dados de entrada com o resultado dos clusters obtidos. O SI é calculado para cada observação: quanto mais próximo de +1 maior a distância da observação em análise para as observações dos demais clusters, significando um bom agrupamento. A qualidade global do cluster pode ser mensurada através da média de SI de todas as observações atribuídas a cada cluster (Kaufman e Rousseeuw, 2005; Härdle e Léopold, 2012; Anzanello *et al.*, 2014).

### 3.3 Análise de componentes principais

*Principal Component Analysis* (PCA) é uma técnica de redução dimensional de conjuntos de dados que combina linearmente as variáveis originais criando os chamados componentes principais. A redução dimensional de dados ocorre quando apenas um subconjunto dos componentes é considerado significativo para representar os dados originais. Considera-se uma matriz  $x$  composta de  $n$  amostras (em linhas) descrito por variáveis  $l$  (em colunas), com  $l=1, \dots, L$ ;  $i$  amostra é representado por um vector  $x_i$  ( $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iL}$ ). PCA constrói  $A$  combinações lineares independentes das variáveis; um subgrupo das combinações é normalmente suficiente para explicar a variabilidade dos dados originais, sendo o número de variáveis no subgrupo menor que no conjunto

original ( $A < L$ ). O número de componentes a serem retidos deve ser definido com base na quantidade de variância explicada pelos componentes retidos (Rencher, 2002).

### 3.4 Seleção de variáveis

Técnicas para a seleção das variáveis mais relevantes para o propósito de clusterização podem ser utilizadas para aumentar a precisão dos agrupamentos formados. Dentre as diversas técnicas de seleção de variáveis, destaca-se a “omita uma variável por vez”, que consiste em omitir uma variável de cada vez, rodar o algoritmo de clusterização e identificar a variável com menor influência no resultado final. Ou seja, omite-se a primeira variável, geram-se os clusters e calcula-se o SI. Logo a seguir, devolve-se a primeira variável à análise e omite-se momentaneamente a segunda, gerando nova clusterização e SI (Montgomery e Runger, 2007). E assim sucessivamente, até finalizar as combinações, e a variável com menor influência no SI é excluída da análise. Esse procedimento é repetido diversas vezes até ter-se o menor número de variáveis com o maior SI, sendo considerada a melhor solução.

Em estudos da área farmacêutica, como em Anzanello *et al.* (2013), esta técnica foi usada para identificar as principais variáveis para a diferenciação entre medicamentos verdadeiros e falsos. Através da identificação desses componentes, tornou-se possível reduzir o número de variáveis a serem observadas para testar em lotes futuros de medicamentos.

## 4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas. A primeira delas constou de uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de caracterizar e descrever os elementos a serem analisados no trabalho. Na segunda etapa foi realizado o preenchimento no banco de dados das informações faltantes, bem como a preparação do banco de dados para permitir as análises, além de transformar as variáveis com preenchimentos em texto em escala numérica. A etapa seguinte do trabalho refere-se à aplicação das ferramentas de clusterização, paralelamente a validação dos resultados obtidos dos clusters pela aplicação do SI ambas usando o *software* Matlab. A última etapa do trabalho consistiu em selecionar as variáveis que tiveram maior influência para os resultados gerados na clusterização, também usando o *software* Matlab.

A primeira etapa da pesquisa bibliográfica foi realizada com o intuito de descrever as características, tanto gerais da cidade nas quais os sistemas estão localizados como características físicas e operacionais do sistema em si, que podem influenciar no resultado da clusterização. O banco de dados base usado para retirar as informações é do BRTData.org (Center of Excellence *et al.* 2014). A pesquisa contempla informações de 374 faixas prioritários de ônibus. As faixas estão em 186 cidades localizadas em 41 países.

A segunda etapa consistiu no preenchimento dos valores faltantes para as informações a serem usadas. Para realizar o preenchimento, verificou-se os valores máximos e mínimos para cada uma das variáveis em cada país. Depois fez-se um preenchimento aleatório com valores entre os máximos e mínimos existentes no país. Para países em que consta apenas um corredor fez-se o mesmo processo, porém considerando os valores máximos e mínimos encontrados na região, sendo a divisão de regiões: América do Norte, América Latina e Caribe, Ásia, África, Europa e Oceania. Além disso, os dados com resposta em texto foram transformados para escala numérica. Ainda nesta

etapa, os dados foram escalonados de 0 a 1 em todas as variáveis, para impedir a influência no resultado final da ordem de grandeza das variáveis envolvidas.

A terceira etapa consistiu na aplicação das ferramentas de clusterização do *k-means* e FCM nas variáveis originais e, também, na aplicação de *k-means* em resultados provenientes do PCA, variando o número de componentes principais de 1 a 5. Todas as técnicas de clusterização foram aplicadas variando o número de cluster de 2 até 10. Cada uma das técnicas para cada valor de cluster foi realizada 3 vezes, visto que o centroide inicial de cada cluster é gerado randomicamente, pode haver diferenças nos cluster formados e no SI de cada cluster, sendo assim, as análises foram baseadas nos melhores resultados para cada uma das combinações.

A quarta etapa do trabalho consistiu na aplicação da técnica de seleção de variável “omite uma variável por vez” nos resultados obtidos na terceira etapa. A técnica foi aplicada 60 vezes e a frequência de aparição das variáveis nos resultados foi contabilizada. A partir da frequência em que constou no resultado nas 60 aplicações, foram consideradas as dez variáveis que mais apareceram, por terem constado em no mínimo 60% dos resultados. Após a seleção das variáveis foram calculados novos resultados de clusters e SI usando apenas as variáveis selecionadas.

## 5. ANÁLISES E RESULTADOS

A análise dos resultados foi separada em duas etapas. A primeira constando da avaliação dos clusters formados e a segunda focada na seleção de variáveis.

### 5.1 Análises e resultados das ferramentas de clusterização

Após realizar as interações de clusterização usando *Matlab*, a Tabela 1 apresenta o melhor resultado de SI para cada combinação de número de cluster e técnica de clusterização. Os t1 a t5 representam o número de componentes principais na aplicação do PCA.

TABELA 1 Resultados do SI para aplicação de técnicas de clusterização

| #<br>clusters | k-means |        |        |        |        |        | FCM    |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|               | PCA     |        |        |        |        |        |        |
|               | t1      | t2     | t3     | t4     | t5     |        |        |
| 2             | 0,3049  | 0,3005 | 0,3049 | 0,2825 | 0,3002 | 0,2862 | 0,2808 |
| 3             | 0,3756  | 0,3772 | 0,3653 | 0,3756 | 0,3653 | 0,3772 | 0,3591 |
| 4             | 0,3575  | 0,3373 | 0,3772 | 0,3676 | 0,3605 | 0,3574 | 0,3441 |
| 5             | 0,3556  | 0,3490 | 0,3561 | 0,3556 | 0,3556 | 0,3528 | 0,3437 |
| 6             | 0,3618  | 0,3505 | 0,3460 | 0,3676 | 0,3469 | 0,3580 | 0,2797 |
| 7             | 0,3435  | 0,3116 | 0,3185 | 0,3600 | 0,3607 | 0,3412 | 0,2847 |
| 8             | 0,3578  | 0,3181 | 0,3182 | 0,3683 | 0,3586 | 0,3612 | 0,3105 |
| 9             | 0,3506  | 0,3254 | 0,3217 | 0,3443 | 0,3553 | 0,3479 | 0,3004 |
| 10            | 0,3547  | 0,3757 | 0,3527 | 0,3220 | 0,3135 | 0,3415 | 0,2904 |

Baseado nos valores do SI, foram analisados detalhadamente as cinco formações dos clusters de maior valor de SI. Sendo eles: (i) k-means sem PCA com 3 clusters; (ii) k-means com PCA e um componente principal com 3 clusters; (iii) k-means com PCA e dois componentes principais com 4 clusters; (iv) k-means com PCA e três componentes principais com 3 clusters; e (iv) k-means com PCA e cinco componentes principais com

3 clusters. Os valores de SI para as cinco formações selecionadas foram respectivamente: 0,3756; 0,3772; 0,3772; 0,3756 e 0,3772. Uma síntese das informações a serem analisadas dos melhores valores de SI é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2 Síntese das informações para os maiores valores de SI

| identificação | # cluster | SI     | técnica de clusterização | # componentes principais |
|---------------|-----------|--------|--------------------------|--------------------------|
| i             | 3         | 0,3756 | k-means                  | não aplicável            |
| ii            | 3         | 0,3772 | k-means junto com PCA    | 1                        |
| iii           | 4         | 0,3772 | k-means junto com PCA    | 2                        |
| iv            | 3         | 0,3756 | k-means junto com PCA    | 3                        |
| v             | 3         | 0,3772 | k-means junto com PCA    | 5                        |

Para a escolha da melhor solução de clusterização foi feita uma análise das faixas de prioridade ao ônibus que compunham cada um dos grupos nas 5 soluções. Percebeu-se que as soluções i e iv, além de terem o mesmo valor de SI, apresentaram o mesmo agrupamento para as faixas segregadas, ou seja, os componentes de cada um dos clusters eram os mesmos nas duas soluções. O mesmo ocorreu com as soluções ii e v. A solução de número iii, apresentou um bom resultado e não coincidiu com nenhum outro agrupamento. Sendo assim, fez-se uma análise detalhada dos clusters gerados para essa solução, afim de verificar se as características físicas e operacionais de cada uma das faixas que compunham os agrupamentos eram justificáveis. Dois clusters tiveram a sua formação bem delimitada, sendo eles o 1 e 4.

O cluster de número um teve a alocação de 95 faixas para a sua formação. Todas as faixas prioritárias ao ônibus que compõem esse cluster são brasileiras. As características desses corredores contemplam basicamente uma infraestrutura física de prioridade de circulação para os ônibus. Como não existe uma reformulação do sistema, a operação continua sendo de um sistema convencional, sem a racionalização de serviços. É válido ressaltar que existem faixas de prioridade ao ônibus brasileiras que não estão alocadas a este cluster. Essas possuem características distintas, como contar com um sistema otimizado que além de melhorar a operação dentro do corredor permite menos linhas circulando no mesmo, o que acarreta melhor desempenho e maiores velocidades operacionais.

O segundo cluster é o maior deles, formado por 129 faixas de ônibus, aproximadamente a 34% do total das faixas em análise. Possui uma maior heterogeneidade em sua composição. As faixas de ônibus europeias em sua maioria (86%) foram alocadas a este cluster, bem como as da Oceania (75%) e da América do Norte (74%). Essas faixas se encaixam bem na definição de BHLS, que visa ofertar um nível mais elevado de conforto ao usuário do que o BRT enquanto opera de forma mais eficiente que o serviço convencional de ônibus (COST, 2011). São sistemas que operam com menores demandas que os BRT e ofertam um serviço de maior qualidade que sistemas convencionais em termos de tempo de viagem, confiabilidade, conforto e frequência.

O cluster de número três, composto por 91 faixas de prioridade ao ônibus também possui uma grande heterogeneidade, tendo faixas em todas as regiões abrangidas pelo banco de dados, sendo elas: África, Ásia, Europa, Oceania, América Latina e América do Norte. Comparando o resultado obtido com os do BRT Standard (ITDP, 2014), percebe-se que todos os corredores classificados como bronze foram alocados neste cluster, bem como sete corredores que foram ranqueados como prata.

O cluster de número quatro ficou composto de 59 faixas de prioridade ao ônibus no qual estão inseridos os principais sistemas BRT consagrados mundialmente. Entre eles constam os seis corredores de Curitiba, os 11 corredores de Bogotá, os novos corredores BRT brasileiros TransCarioca e TransOeste no Rio de Janeiro, bem como os corredores do MOVE em Belo Horizonte e o Expresso DF Sul em Brasília. Ainda, contempla os corredores da cidade do México Líneas 1, 2 e 3; o Expresso Tiradentes em São Paulo e; o corredor de Guangzhou.

Ao comparar os corredores do cluster quatro ao BRT Standard, 33 das faixas alocadas a este cluster estão classificadas como ouro ou prata pelo padrão. Todos os corredores classificados como ouro pelo BRT Standard fazem parte deste cluster, e dos 28 classificados como prata, 21 estão contidos neste cluster. Logo, evidencia-se uma similaridade do que seria um sistema BRT de alto desempenho atribuído pelo BRT Standard com os alocados ao cluster quatro. A Tabela 3 apresenta uma síntese das características de cada cluster.

TABELA 3 Síntese das informações de cada cluster

| Número do cluster | Características   |
|-------------------|---|
| 1                 | Faixas de prioridade brasileiras sem otimização dos serviços  |
| 2                 | Sistemas BHLS   |
| 3                 | Corredores com características físicas e operacionais que precisam de mais melhorias para virar BRT |
| 4                 | Sistemas BRT consagrados mundialmente   |

## 5.2 Análises e resultados da seleção de variáveis

Através da seleção de variáveis foi possível identificar as dez principais variáveis para a formação dos clusters. O resultado obtido é apresentado na Tabela 4.

TABELA 4 Principais variáveis para a formação dos clusters

|  |
|--|
| Extensão do corredor em faixas de contra-fluxo |
| Velocidade operacional                         |
| Extensão total do corredor                     |
| Extensão do corredor em faixas segregadas      |
| Qualidade das estações                         |
| Demanda do corredor no pico                    |
| Extensão do corredor em faixas exclusivas      |
| Distância média entre estações                 |
| Existência de serviços expressos               |
| Prioridade semafórica em tempo real            |

Percebe-se que, dentre as variáveis selecionadas pela ferramenta, constam variáveis de características físicas (ex: extensão do corredor, distância entre estações) e operacionais (ex: velocidade operacional, demanda do corredor). Além delas constam características

híbridas, que são tanto operacionais como físicas, já que necessitam de infraestrutura física para poder existir (ex: serviços expressos requerem faixas de ultrapassagem nas estações). Conclui-se que é difícil pensar em agrupar faixas de prioridade ao ônibus sem considerar categorias distintas de variáveis específicas do corredor.

Além disso, se percebe que os elementos gerais da cidade não tiveram influência na alocação das faixas de prioridade ao ônibus a cada um dos clusters. A cidade do México evidencia isso, pois teve parte de seus corredores alocados no cluster três (Líneas 4 e 5) e parte no cluster quatro (Líneas 1, 2 e 3). A separação deve-se pela diferença de características que existe dentro do mesmo sistema. As Líneas 1, 2 e 3 possuem maiores demandas na hora pico, velocidades operacionais mais elevadas, distância entre estações diferentes das Líneas 4 e 5. Além disso, as Líneas 4 e 5, não possuem a priorização semafórica que existe nos demais corredores da cidade.

Dentro de cada cluster foi possível identificar que os corredores que os compõem possuem a maior parte das dez variáveis comum entre si. Porém, nem todas as faixas de prioridade têm as mesmas características nas principais variáveis selecionadas dentro do cluster. Verificou-se que em pelo menos cinco das variáveis cada uma das observações é comum às demais faixas do mesmo cluster e difere das alocadas aos outros clusters.

Após a identificação das variáveis uma nova clusterização considerando apenas estas variáveis, resultou na mesma formação dos mesmos clusters, mas aumentou significativamente os valores de SI, conforme Tabela 5. Observa-se que usando apenas as principais variáveis, a solução iii, passou a apresentar um valor de SI superior às demais, elevando de 0,3772 para 0,7774. Evidenciando, ainda mais, ser a melhor solução de clusterização para o conjunto de dados em estudo.

TABELA 5 Valores de SI apenas com as variáveis selecionadas

| identificação | # cluster | SI todas variáveis | SI apenas com as dez variáveis selecionadas |
|---------------|-----------|--------------------|---|
| i             | 3         | 0,3756             | 0,6595                                      |
| ii            | 3         | 0,3772             | 0,7682                                      |
| iii           | 4         | 0,3772             | 0,7774                                      |
| iv            | 3         | 0,3756             | 0,7682                                      |
| v             | 3         | 0,3772             | 0,7682                                      |

Uma analogia que pode ser feita em relação ao estudo de Anzanello *et al.* (2014) que com a mesma técnica de seleção de variáveis identificou as variáveis relevantes para classificar medicamentos em falsos ou verdadeiros seria de que o cluster quatro apresenta os verdadeiros sistemas BRT. O cluster três tem os sistemas com menos características, mas que podem ser verdadeiros BRT com mais algum investimento e melhorias. Os corredores do segundo cluster seriam uma classificação separada por ser sistemas BHLS, já que almejam atributos diferentes dos sistemas BRT. E o primeiro cluster evidenciou uma realidade diferente vivenciada pela maioria das faixas de prioridade em cidades brasileiras, que não se encaixam nos sistemas BRT nem nos BHLS.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo agrupar corredores prioritários ao ônibus catalogados no BRTData.org baseado em características físicas e operacionais. Além disso, buscou identificar quais as variáveis que mais influenciaram para tal agrupamento.

O resultado classificou os 374 corredores de ônibus em quatro clusters com características diferentes. O primeiro cluster é composto apenas por corredores compostos de faixas prioritárias ao ônibus em cidades brasileiras que não possuem racionalização dos serviços que operam. Apenas beneficiam a operação dos ônibus por meio de provisão de infraestrutura específica, no caso uma faixa de ônibus.

O cluster dois é composto por diversos sistemas BHLS e por outros sistemas que não possuem este nome, mas que em suas características se encaixam na definição. O terceiro cluster é predominantemente composto por faixas de ônibus que possuem características físicas específicas, mas não o suficiente para ser um BRT. Ao comparar comparando os resultados obtidos com a classificação do BRT Standard, percebe-se que todos os corredores ranqueados como bronze ficaram neste grupo e que sete corredores que receberam prata também ficaram no cluster três.

Os corredores prioritários ao ônibus com mais características de infraestrutura própria e com serviços diferenciados em termos de velocidade operacional ficaram alocados no quarto cluster. Pode-se perceber que todos os corredores ranqueados como ouro pelo BRT Standard constam neste cluster, bem como, a grande maioria dos que receberam prata. Sendo assim, é possível perceber que os BRT consagrados internacionalmente pertencem a este cluster, podendo ser chamado de o cluster dos “verdadeiros” BRT.

Considerando as análises do presente trabalho, as variáveis com maior peso para a definição dos clusters, que podem estar atreladas ao que definiria um BRT seriam: extensão do corredor em faixas de contra-fluxo; velocidade operacional; extensão total do corredor; extensão do corredor em faixas segregadas; qualidade das estações; demanda do corredor no pico; extensão do corredor em faixas exclusivas; distância média entre estações; existência de serviços expressos e prioridade semafórica em tempo real.

## REFERÊNCIAS

- ALC-BRT (2014) – *About us*. Across Latitude and Cultures – Bus Rapid Transit, Santiago, Chile. Disponível em: <http://Acessado em.brt.cl/about-us/> .Acessado em: Jul. 4, 2014.
- ANTP (2010) *Conceitos e elementos de custos de sistemas BRT*. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. Brasília.
- Anzanello, M. e F. Fogliatto, F. (2011) *Selecting the best clustering variables for grouping mass-customized products involving workers learning* Int. J. Prod. Econ. 130 268–276.
- Anzanello, M.; R. Ortiz; R. Limberger e P. Mayorga (2013) *A multivariate-based wavenumber selection method for classifying medicines into authentic or counterfeit classes* J. Pharm. Biomed. Anal. 83 pg. 209–214.
- Anzanello, M.; R. Ortiz; R. Limberger; P. Mayorga e K. Mariotti (2014) *Selecting relevant Fourier transform infrared spectroscopy wavenumber for clustering authentic and counterfeit drug sample* Science and Justice. Anal54 pg. 363-368.
- BRT Center of Excellence; EMBARQ; IEA e SIBRT (2014). *Global BRT Data*: version 2.4, última modificação em: out. 07, 2014. Disponível em: [brtdata.org](http://brtdata.org) . Acessado em: Out. 29, 2014.
- Carrigan, A.; R. King; J.M. Velasquez; M. Raifman e N. Duduta (2013) *Social, Environmental And Economic Impacts of BRT Systems Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World*. EMBARQ, Washington D.C, 2013.
- Duduta, N.; Adiazola, C.; Wass, C.; Hidalgo, D.; Lindau, L.A. (2012) *Traffic Safety on Bus Corridors Guidelines for integrating pedestrian and traffic safety into the planning, design, and operation of*

- BRT, Busways and bus lanes*. EMBARQ Washington D.C.
- EMBARQ (2011). *De cá para lá: um guia criativo de marketing BRT para atrair e cativar usuários*. EMBARQ, Washington D.C, 2013.
- Everitt, B. S.; S. Landau; M. Leese e D. Stahl. (2011) *Cluster Analysis 5th Edition* King's College London, UK.
- FTA (2009a). *Quantifying the Importance of Image and Perception to Bus Rapid Transit*. Federal Transit Administration, Washington, DC, USA.
- FTA (2009b). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Disponível em: < > Acesso em: 21/08/2011. Federal Transit Administration, Washington, DC, USA.
- Gardner, G.; P.R. Cornwell e J.A. Cracknell, (1991) *The performance of busway transit in developing cities*. Transportation and Road Research Laboratory.
- Hair, J.; R. Anderson; R. Tatham e W. Black (1995). *Multivariate Data Analysis with Readings fourth ed.* Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Härdle, W. K. e S. Léopold (2012) *Applied Multivariate Statistical Analysis Third Edition*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
- Hensher, D.A. e Z. Li (2012) *Ridership drivers of bus rapid transit systems*. Transportation, vol. 39 pg. 1209-1221.
- Hidalgo, D.; G. Lleras e E. Hernández. (2011) *Passenger capacity in Bus Rapid Transit Systems - Formula development and application to the TransMilenio System in Bogota, Colombia*. Thredbo 12 Conference, 2011, Durban. Workshop 2 BUS RAPID TRANSIT. Sydney : Thredbo Conference, 2011. v. 1. p. 80-86.
- Highway Capacity Manual (2000) Transportation Research Board.
- ITDP (2014) *The BRT Standard 2014 Edition*. Institute for Transportation and Development Policy. New York.
- ITF (2012) *Transport Outlook 2012: Seamless Transport for Greener Growth*. International Transportation Forum, Paris, France.
- Jain, A. e R. Dubes (1988) *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Kaufman, L. e P. Rousseeuw (2005). *Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis*. Wiley Interscience, New Jersey.
- Kharas, H. (2010). *The Emerging Middle Class in Developing Countries*. OECD Development Centre, Paris, France.
- Kittlenson & Associates, Inc.; Kfc Group, Inc.; Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc; Hunter-Zaworski, K.(2003) *Transit capacity and quality of service manual*. Transit Cooperative Research Program: Report 100 2nd Edition, Washington, DC, USA.
- Levinson, H.; S. Zimmerman; J. Clinger; J. Gast; S. Rutherford e E. Bruhn (2003b) *Bus rapid transit, Volume 2: Implementation Guidelines*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA.
- Levinson, H.; S. Zimmerman; J. Clinger; S. Rutherford; R.L. Smith; J. Cracknell e R. Soberman (2003a) *Bus rapid transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA.
- Lindau, L.A.; B.M. Pereira; R.A. Castilho e M.C. Diógenes (2011) *Impacto de elementos de projeto no desempenho operacional de sistemas BRT de faixa única sem ultrapassagem*. XXV ANPET, 2011, Belo Horizonte. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes.
- Lopes, M. e J. Wolff (2009) *Investigation into classification/sourcing of suspect counterfeit Heptodin tablets by near infrared chemical imaging* Anal. Chim. Acta. 633 (2009) 149–155.
- Montgomery, D.C; G.C. Runger (2007) *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Nova Iorque: A John Wiley & Sons, inc.
- NTU (2013) *Faixas Exclusivas de Ônibus Urbano Experiências de Sucesso*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, DF, Brasil.
- Ortiz, R.S.; K.C. Mariotti; R.P. Limberger e P. Mayorga (2012) *Physical profile of counterfeit tablets Viagra and Cialis Braz*. J. Pharm. Sci. 48 (2012) 1–9.
- Pereira, B. M. (2011) *Avaliação do desempenho de configurações físicas e operacionais de sistemas BRT*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Rencher, A. (2002) *Methods Of Multivariate Analysis (2ª Ed.)*. John Wiley & Sons, New York.
- UN (2012) *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. United Nation, Department of Economic and Social Affairs, New York, USA.
- VTPI (2013a) *Transportation Cost and Benefit Analysis II*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.

- VTPI (2013b) *Smart Transportation Emission Reductions*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Vuchic, V. (2007) *Urban Transit: Systems and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Weinstock, A.; W. Hook; M. Replogle e R. Cruz. (2011) Recapturing Global Leadership in Bus Rapid Transit: A Survey of Select U.S. Cities. *New York: Institute for Transport and Development Policy*.
- World Bank. (2014) *The World Bank Open Data*. <http://data.worldbank.org/The World Bank Open Data>. Acessado em: Jul. 17, 2014.
- Wright, L. e Hook W. (2007) *Bus Rapid Transit Planning Guide* (3<sup>a</sup> ed.). Institute for Transport and Development Policy, New York.

## **Relação de características físicas e operacionais de corredores de prioridade ao ônibus e velocidade operacional**

**Cristina Albuquerque Moreira da Silva**

**Luis Antonio Lindau**

**Michel Anzanello**

Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
EMBARQ Brasil

### **RESUMO**

Apresenta-se a relação encontrada entre características de projeto e de desempenho de corredores de prioridade ao ônibus com a velocidade operacional. O banco de dados usado para encontrar a relação tem informações de 374 corredores em 41 países do mundo; juntos eles somam 4.757km e beneficiam diariamente mais de 31 milhões de pessoas. A variável dependente no modelo é a velocidade operacional e buscou-se a relação com 44 variáveis independentes. As variáveis independentes abordaram desde características gerais da cidade a elementos de projeto e desempenho de cada corredor. O modelo encontrado resultou da aplicação de PCR (*Principal Component Regression*), pois reteve apenas dez variáveis na equação, incluindo: existência de pré-pagamento, distância média entre estações, tipo pavimento nas estações, posição das portas dos veículos, existência de ultrapassagem, extensão de faixas exclusivas, nível de embarque entre veículo e estação, número de linhas troncais, extensão do corredor e existência de informação em tempo real.

### **ABSTRACT**

This paper aims to find the relationship between design and performance characteristics of bus priority corridors and operating speed. The database used to find this relationship has information from 374 corridors in 41 countries, together adding up to 4,757 km and that transport more than 31 million passengers per day. The model considered operating speed as the dependent variable and sought to make a relationship with 44 independent variables. The independent variables ranged from general characteristics of the city to design elements and performance of each corridor. The model found came from the application of PCR (Principal Component Regression), it retained only ten variables in the equation, all of which were related to corridor characteristics such as: existence of prepayment, average distance between stations, pavement at stations, position of the vehicle doors, the existence of overtaking, extension of exclusive lanes, level boarding between vehicles and stations, number of trunk lines, corridor extension and existence of real time information.

### **1.INTRODUÇÃO**

Por algumas décadas, cidades ao redor do mundo, enfrentaram os congestionamentos aumentando a oferta de espaço viário aos veículos motorizados. Entretanto, o crescimento da frota urbana e da mobilidade resultou maior que a possibilidade de aumentar a oferta de capacidade viária e o congestionamento acabou se alastrando no espaço e no tempo. Existem expectativas de que a frota mundial de veículos possa aumentar em até 330% até 2050 (ITF,2012). O crescimento desenfreado da motorização mundial também impacta a poluição local e a qualidade de vida das cidades (Carrigan *et al.* 2013; VTPI, 2013a; VTPI, 2013b).

É preciso adotar um uso mais racional do espaço viário urbano. Como uma faixa dedicada aos ônibus apresenta uma capacidade de transporte, em média, dez vezes superior a uma dedicada ao transporte privado (Lindau, 2013a), cada vez mais cidades investem em corredores que priorizam a circulação dos ônibus. Os corredores prioritários ao transporte coletivo apresentam interferência limitada dos demais veículos na sua operação, permitindo que os ônibus alcancem maiores velocidades operacionais (Weinstock *et al.*, 2011).

É importante entender a relação dos elementos de projetos e desempenho dos sistemas de prioridade ao ônibus com a velocidade operacional proporcionada pelos corredores. Na visão dos usuários do transporte coletivo, menores tempos de viagem representam um fator decisivo na escolha modal para realizar os deslocamentos (Kittelson & Associates, Inc *et al.*, 2003). Logo, os corredores de ônibus, sejam eles BRT (*Bus Rapid Transit*), BHLS (*Bus with High Level of Service*) ou apenas faixas segregadas são importantes para fidelizar e atrair usuários.

Neste trabalho serão apresentadas análises que buscam a relação de elementos de projeto e desempenho de corredores de prioridade ao ônibus - que abrangem BRT, BHLS ou corredores com segregação viária - com a velocidade operacional. Nas análises foi usado um banco de dados mundial com informações de sistemas de prioridade ao ônibus.

## **2. RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS COM VELOCIDADE**

Poucos estudos conseguiram estabelecer relação dos elementos de projetos e operação dos corredores de ônibus com a velocidade operacional. Encontrar informações precisas sobre cada uma das características dos corredores de ônibus é a principal dificuldade para desenvolver tais estudos.

Gardner *et al.* (1991) realizaram estudos de caso em oito corredores de ônibus do mundo, localizados em sete cidades: Abidjan, Ankara, Belo Horizonte, Curitiba, Istanbul, São Paulo e Porto Alegre. Através de regressão linear múltipla encontraram relação entre velocidade e tempo de viagem - consideradas como variáveis dependentes - e as variáveis independentes: extensão (km), direção predominante de embarques e desembarques, fluxos de ônibus e de passageiros em intervalos de 15 minutos, número de interseções, número de estações com altos e baixos volumes de passageiros e faixas de ultrapassagem. Com as informações coletadas *in loco* para cada um dos corredores obtiveram a equação de relação entre as variáveis com um valor de  $R^2$  de 0,96, uma forte relação entre as informações coletadas, na velocidade e no tempo de viagem.

Lindau *et al.* (2013b) estimaram através de regressão linear múltipla, e com dados originados de simulação microscópica um modelo para explicar a influência dos elementos na velocidade operacional. Os elementos abordados no estudo foram: a distância entre estações, a taxa de passageiros embarcando no veículo, o fator de ocupação dos veículos, o número de baias na plataforma, a posição do semáforo em relação à estação e a demanda. Foram feitas combinações através da multiplicação das variáveis em diferentes níveis; pela multiplicação de dois, três ou todos os elementos. Observou-se que os modelos com variáveis combinadas representaram melhor o comportamento da velocidade operacional. O modelo combinado em três níveis apresentou o maior coeficiente de determinação,  $R^2$  igual a 0,82.

## **3. CARACTERÍSTICAS DO BANCO DE DADOS**

O BRTData (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014) é um banco de dados disponibilizado na internet para disseminar informações globais sobre sistemas prioritários para ônibus. O BRTData é um dos projetos desenvolvidos pelo *Across Latitudes and Cultures - Bus Rapid Transit* (ALC-BRT), o Centro de Excelência em BRT(ALC-BRT, 2014).

O BRTData abrange informações sobre corredores que priorizam a circulação de ônibus, incluindo:

- BRT (*Bus Rapid Transit*), um transporte rápido de massa que alia a qualidade do transporte ferroviário à flexibilidade do sistema ônibus (Levinson *et al.*, 2003; Wright e Hook, 2007; FTA, 2009);
- BHLS (*Bus with High Level of Service*), que visa ofertar um nível mais elevado de conforto ao usuário do que o BRT enquanto opera de forma mais eficiente que o serviço convencional de ônibus (COST, 2011);
- corredores de ônibus com segregação viária, incluindo qualquer tipo de faixa viária dedicada, desde as localizadas no centro da pista até as paralelas ao meio fio delimitadas por pintura.

O BRTData não é uma fonte de informação exaustiva, mas está em constante atualização. Atualmente tem informação de 116 indicadores e atributos de 374 corredores prioritários ao ônibus, localizados em 186 cidades de 41 países ao redor do mundo. Todos os dias, mais de 31 milhões de passageiros são beneficiados por esses corredores, que cobrem uma extensão de 4.757 quilômetros (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014).

#### 4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico adotado no trabalho constou de duas etapas principais. A primeira foi de seleção das variáveis e da preparação do banco de dados. A segunda etapa pode ser subdividida em duas: aplicação da regressão linear múltipla nos dados originais e aplicação de regressão nas variáveis resultantes da análise de componentes principais (PCA), também conhecida por *Principal Component Regression* (PCR). O objetivo com as regressões é encontrar um modelo que minimize o erro de predição da velocidade operacional, selecionada como variável dependente.

##### 4.1 Definição dos elementos

A primeira etapa do trabalho consistiu em separar as variáveis independentes a serem usadas nos modelos e a variável dependente (velocidade operacional). Os elementos selecionados para a análise por agrupamento estão separados em dois grupos, o de indicadores gerais da cidade e o de características físicas e operacionais de cada faixa prioritárias. Os elementos são originários do banco de dados do BRTData.org (BRT Centre of Excellence *et al.*, 2014), e foram selecionados com o objetivo de abranger a maior quantidade de informação. Além disso, a seleção também se baseou na incidência de preenchimento das informações no banco de dados. Os elementos inseridos como características gerais são: (i) nome do país e da cidade onde opera a faixa; (ii) população da cidade e da região metropolitana; (iii) densidade populacional da região metropolitana; (iv) divisão modal na cidade; (v) existência de integração tarifária com o sistema alimentador; (vi) existência de integração tarifária com outros modos no âmbito da cidade; (vii) existência de marca e logo do sistema; (viii) identificação visual nos veículos do sistema e; (ix) existência de centro de controle operacional.

Já os elementos abordados como características físicas e operacionais de cada corredor são os seguintes: (i) ano de inauguração; (ii) tipo de serviço que opera; (iii) existência de linhas troncais; (iv) demanda na hora pico e diária; (v) extensão da faixa; (vi)

localização da faixa; (vii) posição das portas dos veículos; (viii) pavimento de concreto ou asfalto; (ix) existência de separação em nível nas interseções; (x) existência de prioridade semafórica; (xi) número de estações e distância média entre as estações; (xii) qualidade das estações; (xiii) existência de ultrapassagem nas estações; (xiv) existência de estações com pré-pagamento; (xv) característica do embarque; (xvi) frequência operacional; (xvii) existência de linhas expressas; (xviii) existência de integração física com os alimentadores e; (xix) existência de informação em tempo real para os usuários.

Nesta etapa foi também necessário preencher os valores faltantes para as informações do banco de dados. Para realizar o preenchimento, verificou-se os valores máximos e mínimos para cada uma das variáveis em cada país. Depois fez-se um preenchimento aleatório obtendo valores entre os máximos e mínimos existentes no país, com maior incidência na média. Para países em que consta apenas um corredor considerou-se os valores máximos e mínimos encontrados na região, sendo a divisão de regiões: América do Norte, América Latina e Caribe, Ásia, África, Europa e Oceania. Ainda nesta etapa, os dados com resposta em texto foram transformados para escala numérica, conforme Tabela 1.

TABELA 1 valores numéricos correspondentes para variáveis em texto

|  | opções de resposta e valor correspondente | opções de resposta e valor correspondente | opções de resposta e valor correspondente | opções de resposta e valor correspondente |
|--|---|---|---|---|
| indicadores de resposta sim ou não                 | sim - 1                                   | não - 2                                   | -   | -   |
| indicadores de resposta nenhum, parcial ou em todo | em todo - 1                               | parcial - 0,5                             | nenhum - 0                                | -   |
| indicador de localização das portas                | esquerda - 1                              | esquerda & direita - 0,5                  | direita - 0                               | -   |
| indicador tipo de pavimento                        | concreto - 1                              | asfalto & concreto - 0,5                  | asfalto 0                                 | -   |
| indicador tipo de serviço que opera                | linhas troncais - 1                       | linhas troncais com alimentador - 0,66    | linhas troncais & convencional - 0,33     | serviço convencional - 0                  |
| indicador localização do corredor                  | via separada - 1                          | centro - 0,66                             | lateral & centro - 0,3                    | lateral - 0                               |

#### 4.2 Geração dos modelos de regressão

Nas proposições deste artigo, a regressão linear múltipla foi aplicada na definição de um modelo que explique a relação entre a velocidade operacional (variável dependente) e as características físicas e operacionais dos corredores de ônibus (variáveis independentes). Para identificação das variáveis independentes mais relevantes a serem inseridas no modelo de regressão, utilizou-se uma sistemática de seleção do tipo omita uma variável por vez. De tal forma, um primeiro modelo é gerado utilizando todas as variáveis

independentes com exceção da primeira; o erro de predição do modelo gerado é então computado através da diferença entre o valor predito e o valor real. Na sequência, a primeira variável é devolvida ao banco de dados, a segunda variável é momentaneamente removida do banco, e um segundo modelo de regressão é gerado; o erro é então novamente calculado. Esse processo é repetido até que todas as variáveis independentes tenham deixado uma vez o banco. O modelo que conduziu ao menor erro tem sua variável removida em definitivo.

O processo de eliminação e predição acima descrito é então novamente conduzido para as variáveis remanescentes, de forma que uma segunda seja então eliminada em definitivo. Perceba que esse processo gera um perfil associando erro de predição e número de variáveis retidas em cada modelo. O modelo responsável pelo menor erro é o recomendado. Alternativamente, pode-se aliar o menor erro de predição a um modelo com poucas variáveis retidas (o que, em tese, simplifica a interpretação dos elementos constituintes do modelo).

Abordagem de seleção similar é realizada via PCR. Nesta, aplica-se a PCA nas variáveis independentes originais (com exceção da primeira variável) e, de posse dos escores, gera-se o primeiro modelo de regressão. Tal procedimento é repetido para todas as variáveis, até que seja identificado o modelo PCR com menor erro de predição. Neste artigo, variou-se o número de componentes retidos de 1 a 10. O processo iniciou com 44 variáveis independentes.

#### 4.2.1. Detalhamento das ferramentas utilizadas

Na regressão linear múltipla, diversas variáveis independentes ( $X$ ) são responsáveis pela determinação do nível de uma variável de resposta ( $Y$ ), conforme equação (1) (Sartoris, 2003).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

O modelo possui, atrelado a si, um erro aleatório  $\varepsilon_i$  oriundo da diferença entre os  $Y$  observados e os  $Y$  gerados pela equação (1); tais erros são independentes e apresentam distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$  desconhecida (Barros et al, 2008). A regressão linear múltipla está relacionada a  $k$  variáveis e os parâmetros  $\beta_i$ ,  $i=0,1,\dots,k$ , são denominados coeficientes de regressão. Tais coeficientes são desconhecidos, devendo ser estimados pelos dados amostrais (Werkema e Aguiar, 1996).

O coeficiente de determinação é usado como uma estatística global para verificar a qualidade de ajuste do modelo aos dados, medindo a porcentagem da variação da variável dependente explicada pela regressão. O valor do  $R^2$  varia de 0 a 1. O  $R^2$  ajustado penaliza a adição de variáveis desnecessárias na regressão (Downing e Clark, 2006, Montgomery e Runger, 2007).

Além de usar a regressão múltipla nas variáveis originais do banco de dados, o presente estudo também explorou a *Principal Component Regression* (PCR), na qual gera-se uma regressão usando como variáveis independentes do modelo os escores gerados pela *Principal Component Analysis* (PCA). O PCA é uma técnica de redução dimensional de conjuntos de dados que combina linearmente as variáveis originais criando os chamados componentes principais. A redução dimensional de dados ocorre quando apenas um subconjunto dos componentes é considerado significativo para representar os dados originais. O número de componentes a serem retidos pode ser definido com base na quantidade de variância explicada pelos componentes retidos (Rencher, 2002).



## 5. ANÁLISES E RESULTADOS

Os dados encontrados para cada um dos modelos testados estão resumidos na Tabela 2. A primeira coluna define se foi gerado um modelo de regressão nas variáveis originais ou PCR (além do número de componentes retidos em cada modelo PCR). A segunda coluna apresenta o menor erro para cada modelo. As colunas três e quatro mostram o  $R^2$  e o número de variáveis que permaneceram no modelo para o erro correspondente.

TABELA 2 Resumo das informações de cada um dos modelos testados

| modelo de regressão  | erro      | $R^2$  | # de variáveis retidas |
|----------------------|-----------|--------|------------------------|
| Variáveis originais  | 1.021,00  | 0,5410 | 30                     |
| PCR c/1 componentes  | 1.249,90  | 0,1646 | 28                     |
| PCR c/2 componentes  | 1.281,30  | 0,1530 | 12                     |
| PCR c/3 componentes  | 1.279,40  | 0,1464 | 20                     |
| PCR c/4 componentes  | 1.198,83  | 0,1641 | 21                     |
| PCR c/5 componentes  | 1.221,53  | 0,2672 | 25                     |
| PCR c/6 componentes  | 1.201,12  | 0,3146 | 19                     |
| PCR c/7 componentes  | 1.1082,03 | 0,2892 | 26                     |
| PCR c/8 componentes  | 1.203,04  | 0,3246 | 24                     |
| PCR c/9 componentes  | 1.099,00  | 0,4717 | 10                     |
| PCR c/10 componentes | 1.128,20  | 0,4485 | 25                     |

O modelo de regressão mais preciso em termos de predição foi gerado utilizando as variáveis originais: erro de 1.021,00 e  $R^2 = 0,541$ . Este modelo reteve 30 das 44 variáveis independentes, sendo elas: (i) existência de ultrapassagem; (ii) distância entre estações; (iii) existência de pré-pagamento; (iv) existência de informação em tempo real; (v) divisão modal de transporte privado; (vi) extensão de faixas em contra-fluxo; (vii) população da região metropolitana; (viii) população da cidade; (ix) demanda na hora pico; (x) número de estações; (xi) extensão total do corredor; (xii) divisão modal de transporte público; (xiii) pavimento da via nas estações; (xiv) densidade populacional; (xv) posição das portas dos ônibus; (xvi) existência de centro de controle operacional; (xvii) existência de integração física; (xviii) nível de embarque entre veículo e estação; (xix) divisão modal de não motorizados; (xx) extensão das faixas em contra-fluxo; (xxi) existência de integração tarifária; (xxii) posição das faixas; (xxiii) tipo de serviço operante no corredor; (xxiv) existência de prioridade semafórica autuada; (xxv) existência de serviços expressos; (xxvi) existência de separação de nível das interseções; (xxvii) número de linhas troncais no corredor; (xxviii) demanda diária; (xxix) qualidade das estações e; (xxx) existência de prioridade semafórica off-line. Ao avaliar-se as variáveis retidas no modelo, percebe-se que foram mantidas características físicas e operacionais dos corredores, além de características gerais da cidade.

Buscou-se então um modelo que apresentasse menor número de variáveis retidas. Para tanto, gerou-se uma regressão PCR que considerou 9 componentes principais no modelo. Este apresentou o segundo menor erro (1.099,00) e maior  $R^2$  (0,4717) e reteve apenas 10 variáveis, sendo elas: (i) existência de pré-pagamento; (ii) distância média entre estações; (iii) pavimento nas estações; (iv) posição das portas dos veículos; (v) existência de ultrapassagem; (vi) extensão de faixas exclusivas; (vii) nível de embarque entre veículo e estação; (viii) número total de linhas troncais; (ix) extensão do corredor; (x) existência de informação em tempo real.

Todas as variáveis retidas neste modelo são informações específicas dos corredores. Este modelo apresenta uma perda na precisão em relação ao modelo com as variáveis originais (1.021 com as variáveis originais versus 1.099 com os escores do PCA), mas a diferença na precisão é menos relevante do que o número de variáveis retidas no entendimento de especialistas de processo. O modelo é mais usual e fácil de replicar, o que justifica sua recomendação.

A relação e os coeficientes encontrados para o modelo estão apresentados na Equação 2. O modelo apresenta nove das dez variáveis com sinal positivo, o que significa que quanto maior o seu valor maior a velocidade operacional. A variável dependente do modelo tem seu valor em quilômetros por hora. Percebe-se que as cinco variáveis com maior coeficiente positivo, são respectivamente: a existência de pré-pagamento, distância média entre estações, tipo de pavimento nas estações, posição das portas dos veículos e faixas de ultrapassagem. As duas primeiras variáveis citadas tem seus coeficientes significativamente superiores aos demais, sendo as com maior influência na velocidade operacional alcançada e, além disso, são reconhecidas na literatura como elementos importantes para obter sistemas de alto desempenho com velocidades operacionais mais elevadas (Weinstock *et al.*, 2011).

$$\begin{aligned}
 \textit{Velocidade operacional} = & 15.9646 + 2.3416 * \textit{Prépagamento} \\
 & + 2.3395 * \textit{Distância média entre estações} \\
 & + 1.6607 * \textit{Pavimento nas estações} \\
 & + 1.1026 * \textit{Posição das portas dos veículos} \\
 & + 0.9303 * \textit{Faixas de ultrapassagem} \\
 & + 0.8446 * \textit{Extensão de faixas exclusivas} \\
 & - 0.2821 * \textit{Nível de embarque entre veículo e estação} \\
 & + 0.1681 * \textit{Linhas troncais} \\
 & + 0.0213 * \textit{Extensão do corredor} \\
 & + 0.00436 * \textit{Informação em tempo real}
 \end{aligned} \tag{2}$$

A existência de pré-pagamento diminui os tempos de embarque em um terço, justificando o aumento da velocidade operacional. A distância média entre estações está atrelada ao número de estações presentes no corredor, o que se conecta aos tempos de aceleração e desaceleração perdidos em cada parada. Consequentemente quanto maior a distância entre estações, maior a velocidade operacional, os valores devem ser usados em quilômetros. O pavimento utilizado nas estações de concreto, garante a mais longo prazo, um embarque em nível entre estação e veículo, por ter maior durabilidade. Além disso, facilita o processo de aceleração e desaceleração, fatores que minimizam os tempos de parada em cada estação, permitindo maiores velocidades operacionais. A variável relacionada ao posicionamento das portas apresenta maior valor quando as portas são a esquerda, o que aumenta a velocidade operacional. Portas à esquerda estão atreladas a melhores ângulos de entrada dos veículos nas estações, que são melhores para aproximação. A quinta variável com maior influência positiva na velocidade operacional é a existência de faixas de ultrapassagem, que permite a operação de diferentes serviços no corredor, como serviços expressos, o que gera um aumento na velocidade média operacional desenvolvida no corredor.

A existência de faixas exclusivas também têm impacto positivo na velocidade operacional, o que é esperado, visto que faixas exclusivas não apresentam cruzamentos

com outros veículos ou pedestres. Logo, minimizam as paradas necessárias para cruzamentos. O valor deve ser usado em quilômetros no modelo.

A única variável com coeficiente negativo na equação é o nível de embarque do veículo com a estação. Acredita-se que a influência negativa na velocidade operacional exercida pelo nível de embarque está relacionada ao fato de muitos corredores não possuírem embarque em nível. Ainda, em alguns sistemas que tem embarque em nível os motoristas não fazem a docagem de maneira correta e o vão entre veículo e estação não é adequado. Sendo assim, o efeito negativo do embarque em nível é devido, provavelmente, a problemas de docagem e de muitos sistemas não possuírem o embarque em nível.

As três variáveis com menor influência na velocidade operacional de acordo com o modelo são: número de linhas troncais, extensão do corredor e existência de informação em tempo real. As três variáveis apresentam relação positiva com a velocidade operacional. O número de linhas troncais aumentar a velocidade operacional deve-se ao fato de que nos corredores estudados um maior número de linhas troncais está atrelado a operação de diferentes serviços, como convencionais, semi-expressos e expressos. O efeito da extensão do corredor ser positivo, deve-se ao fato que os corredores mais longos, apresentam trechos interurbanos na maioria dos casos. Por apresentar essa característica têm poucas estações e permitem que os veículos alcancem por mais tempo velocidades mais elevadas, sem interrupções o que acarreta em maiores velocidades operacionais. No modelo a variável de extensão do corredor está em quilômetros. A variável de informação em tempo real com relação à velocidade dos corredores não havia sido abordada em estudos prévios. O único efeito que se acredita ser possível de influenciar é que o usuário ao saber ao certo o horário em que o veículo irá chegar, pode se posicionar no local com antecedência e minimizar o tempo do veículo parado na estação para o embarque e desembarque, aumentando a velocidade operacional.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhor resultou da aplicação do PCR com nove componentes principais. Neste modelo 10 variáveis ficaram retidas, todas elas dizem respeito a características de projeto e de desempenho dos corredores de ônibus. Ele perde pouco em precisão para o modelo gerado com as variáveis originais, mas é mais usual e de fácil replicabilidade, o que o justifica como solução.

As dez variáveis de projeto encontradas no modelo são: (i) existência de pré-pagamento; (ii) distância média entre estações; (iii) pavimento nas estações; (iv) posição das portas dos veículos; (v) existência de ultrapassagem; (vi) extensão de faixas exclusivas; (vii) nível de embarque entre veículo e estação; (viii) número total de linhas troncais; (ix) extensão do corredor; (x) existência de informação em tempo real. O erro de predição do modelo é de 1.099 e o  $R^2$  é de 0,4717.

Os modelos encontrados, no presente trabalho, apresentaram valores de  $R^2$  inferiores a estudos anteriores que buscaram a mesma relação. Acredita-se que as diferenças são justificadas por nos estudos anteriores os dados serem coletados *in loco* ou por serem simulações que consideram diferentes cenários. Os dados do presente trabalho são em sua maioria informações oficiais dos sistema de transporte em análise, mas não foram comprovadas na prática. Sendo assim, pode existir diferenças nas medições para cada um dos corredores, o que explicaria um modelo não tão robusto.

## REFERÊNCIAS

- ALC-BRT (2014) – *About us*. Across Latitude and Cultures – Bus Rapid Transit, Santiago, Chile. Disponível em: <http://Acessado em.brt.cl/about-us/> .Acessado em: Jul. 4, 2014.
- BRT Center of Excellence; EMBARQ; IEA e SIBRT (2014). Global BRT Data: version 2.4, última modificação em: out. 07, 2014. Disponível em: [brtdata.org](http://brtdata.org) . Acessado em: Out. 08, 2014.
- Carrigan, A.; R. King; J.M. Velasquez; M. Raifman e N. Duduta (2013) *Social, Environmental And Economic Impacts of BRT Systems Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World*. EMBARQ, Washington D.C, 2013.
- COST (2011). *Buses with High Level of Service*. European Cooperation in Science and Technology, Paris, France.
- Downing, D; J. Clark (2006) *Business Statistics*. Nova Yorque, Barron’s Educational Series, inc.
- FTA (2009). *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Federal Transit Administration, Washington, DC, USA.
- Gardner, G.; P.R. Cornwell e J.A. Cracknell, (1991) *The performance of busway transit in developing cities*. Transportation and Road Research Laboratory.
- ITF (2012) Transport Outlook 2012: *Seamless Transport for Greener Growth*. International Transportation Forum, Paris, France.
- Kittlenson & Associates, Inc.; Kfc Group, Inc.; Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc; Hunter-Zaworski, K.(2003) *Transit capacity and quality of service manual*. Transit Cooperative Research Program: Report 100 2nd Edition, Washington, DC, USA.
- Levinson, H.; S. Zimmerman; J. Clinger; S. Rutherford; R.L. Smith; J. Cracknell e R. Soberman (2003). *Bus rapid transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA.
- Lindau L. A; B. M. Pereira; R. A. Castilho; M. C. Diogenes e J. C. Herrera (2013b). *Exploring the performance limit of a single lane per direction Bus Rapid Transit Systems*. In: TRB 92nd Annual Meeting, 2013, Washington D.C.
- Lindau, L. A. (2013a) O papel do transporte coletivo na visão estratégica de cidades competitivas. In: NTU, Mobilidade Sustentável para um Brasil Competitivo novembro 2013. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília.
- Montgomery, D.C; G.C. Runger (2007) *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Nova Iorque: A John Wiley & Sons, inc.
- Rencher, A. (2002) *Methods Of Multivariate Analysis* (2ª Ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Rencher, A. (2002) *Methods Of Multivariate Analysis* (2ª Ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Sartoris, A. (2003) *Estatística e Introdução à Econometria*. São Paulo: Saraiva.
- VTPI (2013a) *Transportation Cost and Benefit Analysis II*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- VTPI (2013b) *Smart Transportation Emission Reductions*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Weinstock, A.; W. Hook; M. Replogle e R. Cruz. (2011) Recapturing Global Leadership in Bus Rapid Transit: A Survey of Select U.S. Cities. *New York: Institute for Transport and Development Policy*.
- Werkema, M.C.C; S. Aguiar (1996) *Análise de Regressão: Como Entender o Relacionamento entre as Diversas Variáveis de um Processo*. Fundação Christiano Ottoni, Minas Gerais.
- Wright, L. e W. Hook (2007) *Bus Rapid Transit Planning Guide* (3ª ed.). Institute for Transport and Development Policy, New York.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualificação do transporte coletivo é necessária tanto para a atração de novos usuários quanto para a manutenção da demanda atual. Hoje, 186 cidades de 41 países contam com corredores prioritários ao ônibus, incluindo sistemas BRT, BHLS e faixas segregadas. Juntos esses corredores somam 4.757 km e beneficiam mais de 31 milhões de pessoas diariamente. Os corredores estão presentes nas regiões: América Latina, América do Norte, África, Ásia, Europa e Oceania. Este estudo teve como objetivo principal realizar análises que permitissem encontrar tendências e similaridades em corredores prioritários ao ônibus incluindo BRT, BHLS e faixas segregadas ao redor do mundo e verificar a relação entre variáveis que mais impactam no desempenho operacional em termos de velocidade operacional.

O primeiro artigo cumpre o objetivo de desenvolver um panorama geral de sistemas de prioridade para ônibus e realizar análises comparativas variando de aspectos gerais (ex: localização, extensão e demanda) até características físicas e de desempenho em termos de demanda e velocidade operacional. Percebe-se uma prevalência de faixas segregadas em relação às exclusivas, respectivamente 80% e 6%. A América do Sul além de ser onde o BRT foi criado, também é um lugar de contínuas inovações. Após a virada do milênio, o número de cidades com sistema de prioridade ao ônibus passou a crescer exponencialmente. O Brasil lidera as estatísticas com 117 corredores que totalizam 828 km e beneficiam 12 milhões de passageiros por dia. Existe uma necessidade de expandir a utilização de características de projeto que tem impacto direto no desempenho dos corredores em termos de capacidade e velocidade.

O segundo artigo buscou encontrar similaridades entre os 374 corredores através de ferramentas de clusterização. O agrupamento formado usando clusterização combinada com PCA (*Principal Component Analysis*), considerando dois componentes principais, apresentou a melhor solução. Resultou na formação de quatro clusters com características diferentes. O primeiro cluster ficou composto apenas de faixas de prioridade ao ônibus em cidades brasileiras que não possuem racionalização dos serviços. O cluster dois é composto por diversos sistemas BHLS e por outros sistemas que não possuem este nome, mas que em suas características se encaixam na definição.

O terceiro cluster ficou predominantemente composto por faixas de ônibus que possuem características físicas específicas, mas não o suficiente para ser um BRT. Os corredores de prioridade ao ônibus com mais características de infraestrutura própria e com serviços diferenciados em termos de velocidades operacionais ficaram alocadas no quarto cluster, o qual pode ser definido como o cluster dos “verdadeiros” BRT. Além da clusterização o segundo artigo identificou quais as dez variáveis mais importantes para a formação de cada cluster.

O terceiro artigo cumpre o objetivo de buscar a relação de características físicas que impactam na velocidade operacional alcançada pelos sistemas. O melhor modelo encontrado, visto que um dos objetivos era minimizar o número de variáveis presente no mesmo, resultou do modelo do PCR (*Principal Component Regression*) com nove componentes principais. O modelo contempla 10 variáveis, todas elas dizendo respeito a características de projeto dos corredores de ônibus. As variáveis são: existência de pré-pagamento, distância média entre estações, pavimento nas estações, posição das portas dos veículos, existência de ultrapassagem, extensão de faixas exclusivas, nível de embarque entre veículo e estação, número total de linhas troncais, extensão do corredor e existência de informação em tempo real.

## REFERÊNCIAS

BRT Centre of Excellence; EMBARQ; IEA e SIBRT (2013) **Global BRTData**: version 2.4, última modificação Outubro 7, 2014. Disponível em: <<http://www.brtdata.org>>. Acesso em: 10 out. 2013.

COST (2011) **Buses with High Level of Service**. European Cooperation in Science and Technology, Paris, France.

FTA (2009) **Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making**. Federal Transit Administration, Washington, DC, USA.

ITF (2012) **Transport Outlook 2012: Seamless Transport for Greener Growth**. International Transportation Forum, Paris, France.

KHARAS, H. (2010). **The Emerging Middle Class in Developing Countries**. OECD Development Centre, Paris, France.

LEVINSON, H.; S. ZIMMERMAN; J. CLINGER; S. RUTHERORD; R.L. SMITH; J. CRACKNELL E R. SOBERMAN (2003) **Bus rapid transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit**. Transit Cooperative Research Program: Report 90, Washington, DC, USA.

LINDAU, L. A. (2013) **O papel do transporte coletivo na visão estratégica de cidades competitivas**. In: NTU, Mobilidade Sustentável para um Brasil Competitivo novembro 2013. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília.

SCHRANK, D.; B. EISELE E T. LOMAX (2012) **2012 Urban Mobility Report**. Texas A&M Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA.

UN (2012) **World Urbanization Prospects: The 2011 Revision**. United Nation, Department of Economic and Social Affairs, New York, USA.

WRIGHT, L. e W. HOOK (2007) **Bus Rapid Transit Planning Guide (3ª ed.)**. Institute for Transport and Development Policy, New York, USA.

## **Apêndice A**

**Valores usados na transformação de variáveis em texto para escala  
numérica**



## Indicadores com resposta sim e não

|     |   |
|-----|---|
| Não | 0 |
|-----|---|

|     |   |
|-----|---|
| Sim | 1 |
|-----|---|

## Indicadores com resposta nenhum, parcial ou em todo

|        |   |
|--------|---|
| Nenhum | 0 |
|--------|---|

|         |     |
|---------|-----|
| Parcial | 0,5 |
|---------|-----|

|         |   |
|---------|---|
| Em todo | 1 |
|---------|---|

## Indicador de localização das portas em relação ao motorista

|         |   |
|---------|---|
| Direita | 0 |
|---------|---|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Esquerda & Direita | 0,5 |
|--------------------|-----|

|          |   |
|----------|---|
| Esquerda | 1 |
|----------|---|

## Indicadores de pavimento ao longo do corredor e nos trechos das estações

|         |   |
|---------|---|
| Asfalto | 0 |
|---------|---|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Asfalto & Concreto | 0,5 |
|--------------------|-----|

|          |   |
|----------|---|
| Concreto | 1 |
|----------|---|

## Indicador de tipo de serviço que opera no corredor

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Serviço de ônibus convencional | 0 |
|--------------------------------|---|

|  |     |
|--|-----|
| Linhas troncais & Serviço de ônibus convencional | 0,3 |
|--|-----|

|   |      |
|---|------|
| Linhas troncais com rotas alimentadoras | 0,66 |
|---|------|

|                 |   |
|-----------------|---|
| Linhas troncais | 1 |
|-----------------|---|

## Indicador de localização do corredor em relação a caixa viária

|         |   |
|---------|---|
| Lateral | 0 |
|---------|---|

|                  |     |
|------------------|-----|
| Lateral & Centro | 0,3 |
|------------------|-----|

|        |      |
|--------|------|
| Centro | 0,66 |
|--------|------|

|              |   |
|--------------|---|
| Via separada | 1 |
|--------------|---|

## **Apêndice B**

### **Distribuição dos corredores no cluster correspondente**

| <b>Região</b>  | <b>País</b> | <b>Cidade</b>  | <b>Nome do corredor</b>           | <b># do cluster</b> |
|----------------|-------------|----------------|-----------------------------------|---------------------|
| América Latina | Brasil      | Belém          | Almirante Barroso                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | Nossa Senhora do Carmo            | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | Boulevard Arrudas                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | Amazonas                          | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | Pedro II                          | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua 7 de Setembro                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Avenida Martin Luther             | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Avenida Presidente Castelo Branco | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua 2 de Setembro                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua São Paulo - Iguçu (Henrique   | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua São Paulo - Antônio da Veiga  | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua Eng Paul Werner               | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Blumenau       | Rua das Palmeiras                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | Estrada Parque Núcleo Bandeirante | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | W3 Norte                          | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | W3 Sul                            | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | Setor Policial                    | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | Estrada Parque Taguatinga-Guará   | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campinas       | Avenida Amoreiras                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campinas       | Avenida João Jorge                | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campinas       | Corredor Central                  | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campo Grande   | Duque de Caxias                   | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campo Grande   | Rui Barbosa                       | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campo Grande   | Av. Calógeras                     | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Campo Grande   | Rua 26 de Agosto                  | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Pinheiro Machado                  | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Marechal Floriano                 | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Moreira Cesar - Centro Bairro     | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Pio 12 - Moreira                  | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | 18 do Forte                       | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Sinimbu                           | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Caxias do Sul  | Bento                             | 1                   |
| América Latina | Brasil      | Criciúma       | Avenida Centenário                | 1                   |

|                |        |                  |                                   |   |
|----------------|--------|------------------|-----------------------------------|---|
| América Latina | Brasil | Feira de Santana | Av. Senhor dos Passos             | 1 |
| América Latina | Brasil | Fortaleza        | Av. João Pessoa                   | 1 |
| América Latina | Brasil | Fortaleza        | Av. Bezerra de Menezes            | 1 |
| América Latina | Brasil | Goiânia          | 80-90 Goiás                       | 1 |
| América Latina | Brasil | Goiânia          | Universitário                     | 1 |
| América Latina | Brasil | Guarulhos        | Guarulhos                         | 1 |
| América Latina | Brasil | Jaboatão         | Av. Ayrton Senna                  | 1 |
| América Latina | Brasil | João Pessoa      | R. Miguel Couto - Av Sanhaua      | 1 |
| América Latina | Brasil | Joinville        | Avenida JK                        | 1 |
| América Latina | Brasil | Joinville        | João Colim                        | 1 |
| América Latina | Brasil | Joinville        | Blumenau                          | 1 |
| América Latina | Brasil | Joinville        | Santa Catarina                    | 1 |
| América Latina | Brasil | Joinville        | São Paulo                         | 1 |
| América Latina | Brasil | Juiz de Fora     | Avenida Visconde do Rio Branco    | 1 |
| América Latina | Brasil | Londrina         | Rua João Cândido                  | 1 |
| América Latina | Brasil | Londrina         | Rua Duque de Caxias               | 1 |
| América Latina | Brasil | Londrina         | Winston Churchill                 | 1 |
| América Latina | Brasil | Maceió           | Avenida Fernandes Lima            | 1 |
| América Latina | Brasil | Natal            | Avenida Bernardo Vieira           | 1 |
| América Latina | Brasil | Niterói          | Corredor Metropolitano Alameda    | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Farrapos                      | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Assis Brasil                  | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Sertório                      | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Baltazar Garcia               | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | III Perimetral                    | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Aureliano de Figueiredo Pinto | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. João Pessoa                   | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Azenha - Av. Bento            | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Bento Gonçalves               | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Osvaldo Aranha - Av. Protásio | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Cristóvão Colombo             | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Independência                 | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Teresópolis - Av. Nonoai      | 1 |
| América Latina | Brasil | Porto Alegre     | Av. Brasil                        | 1 |
| América Latina | Brasil | Recife           | Avenida Sul                       | 1 |

|                |         |                |  |   |
|----------------|---------|----------------|--|---|
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Copacabana                         | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Copacabana - Ribeiro               | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Ipanema/Leblon - Rua Visconde      | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Ipanema/Leblon - Rua Prudente      | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Antônio Carlos                     | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Rio Branco                         | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Presidente Vargas                  | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Estácio                            | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Tijuca                             | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS 24 de maio                         | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Carioca                            | 1 |
| América Latina | Brasil  | Rio de Janeiro | BRS Marechal Rondon                    | 1 |
| América Latina | Brasil  | Salvador       | Av Tancredo Neves - Av Luis Viana      | 1 |
| América Latina | Brasil  | Salvador       | Av Vasco da Gama                       | 1 |
| América Latina | Brasil  | Salvador       | Av Mario Leal Ferreira (Bonoco)        | 1 |
| América Latina | Brasil  | Santos         | Ana Costa                              | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Campo Limpo - Rebouças - Centro        | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Inajar - Rio Branco - Centro           | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Itapecerica - João Dias - Santo Amaro  | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Paes de Barros                         | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Parelheiros - Rio Bonito - Santo Amaro | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Pirituba - Lapa - Centro               | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Santo Amaro - Nove de Julho - Centro   | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Ver. José Diniz - Ibirapuera - Santa   | 1 |
| América Latina | Brasil  | São Paulo      | Jd. Ângela - Guarapiranga - Santo      | 1 |
| América Latina | Brasil  | Sorocaba       | Hermelino Matarazzo                    | 1 |
| América Latina | Brasil  | Sorocaba       | Comendador Oeterer                     | 1 |
| África         | Nigéria | Lagos          | Lagos BRT                              | 2 |
| Ásia           | China   | Changde        | Line 1                                 | 2 |
| Ásia           | China   | Chongqing      | Chongqing BRT                          | 2 |
| Ásia           | China   | Dalian         | Dalian BRT                             | 2 |
| Ásia           | China   | Hangzhou       | Line 1                                 | 2 |
| Ásia           | China   | Hangzhou       | Line 2                                 | 2 |
| Ásia           | China   | Hangzhou       | Line 3                                 | 2 |
| Ásia           | China   | Hefei          | Changjiang Lu                          | 2 |

|        |                   |             |                        |   |
|--------|-------------------|-------------|------------------------|---|
| Ásia   | China             | Kunming     | 0                      | 2 |
| Ásia   | China             | Lianyungang | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Urumqi      | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Urumqi      | Line 2                 | 2 |
| Ásia   | China             | Urumqi      | Line 3                 | 2 |
| Ásia   | China             | Urumqi      | Line 4                 | 2 |
| Ásia   | China             | Xiamen      | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Xiamen      | Line 2                 | 2 |
| Ásia   | China             | Xiamen      | Line 3                 | 2 |
| Ásia   | China             | Yancheng    | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Yinchuan    | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Zaozhuang   | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | China             | Zhengzhou   | Line 1                 | 2 |
| Ásia   | India             | Bhopal      | 0                      | 2 |
| Ásia   | India             | Indore      | 0                      | 2 |
| Ásia   | India             | Rajkot      | 0                      | 2 |
| Ásia   | Irã               | Tabriz      | 0                      | 2 |
| Ásia   | Japão             | Kesenuma    | Kesenuma Line          | 2 |
| Ásia   | Japão             | Nagoya      | Yutorito Line          | 2 |
| Ásia   | Paquistão         | Lahore      | 0                      | 2 |
| Ásia   | Republic of Korea | Seoul       | 0                      | 2 |
| Ásia   | Taiwan            | Chiayi      | Chiayi BRT             | 2 |
| Ásia   | Taiwan            | Taichung    | Blue Line              | 2 |
| Ásia   | Taiwan            | Taipei      | 0                      | 2 |
| Ásia   | Thailand          | Bangkok     | Bangkok BRT            | 2 |
| Europa | Belgium           | Liège       | d'Avroy - Sauvenière   | 2 |
| Europa | Belgium           | Liège       | Cadran - Fontainebleau | 2 |
| Europa | Belgium           | Liège       | Quai Saint-Léonard     | 2 |
| Europa | República         | Prague      | Line 213               | 2 |
| Europa | França            | Belfort     | Optymo BHNS            | 2 |
| Europa | França            | Caen        | Twisto TVR             | 2 |
| Europa | França            | Cannes      | Ligne 1                | 2 |
| Europa | França            | Châlon-sur- | Flash                  | 2 |
| Europa | França            | Douai       | 0                      | 2 |

|        |          |               |                      |   |
|--------|----------|---------------|----------------------|---|
| Europa | França   | La Rochelle   | 0                    | 2 |
| Europa | França   | Lille         | 0                    | 2 |
| Europa | França   | Lorient       | The Triskell         | 2 |
| Europa | França   | Lyon          | C-Lines              | 2 |
| Europa | França   | Maubeuge      | BHLS - Viavil        | 2 |
| Europa | França   | Nancy         | TVR (GLT)            | 2 |
| Europa | França   | Nice          | 0                    | 2 |
| Europa | França   | Paris         | T Zen 1              | 2 |
| Europa | França   | Paris         | Ligne 393, RATP      | 2 |
| Europa | França   | Paris         | TVM                  | 2 |
| Europa | França   | Saint-Nazaire | Hélyce               | 2 |
| Europa | França   | Strasbourg    | Ligne G              | 2 |
| Europa | França   | Toulouse      | 0                    | 2 |
| Europa | França   | Evry          | Tice                 | 2 |
| Europa | Alemanha | Hamburg       | Line 5               | 2 |
| Europa | Alemanha | Oberhausen    | PT-way               | 2 |
| Europa | Irlanda  | Dublin        | 0                    | 2 |
| Europa | Itália   | Brescia       | LAM1                 | 2 |
| Europa | Itália   | Brescia       | LAM2                 | 2 |
| Europa | Itália   | Prato         | Blue Line            | 2 |
| Europa | Itália   | Prato         | Green Line           | 2 |
| Europa | Itália   | Prato         | Red Line             | 2 |
| Europa | Holanda  | Almere        | Line 1               | 2 |
| Europa | Holanda  | Amsterdam     | Zuidtangent          | 2 |
| Europa | Holanda  | Eindhoven     | Phileas              | 2 |
| Europa | Holanda  | Enschede      | Line 2               | 2 |
| Europa | Holanda  | Enschede      | Line3                | 2 |
| Europa | Holanda  | Utrecht       | 0                    | 2 |
| Europa | Portugal | Lisbon        | 24 de Julho Corridor | 2 |
| Europa | Espanha  | Castellon     | Line 1               | 2 |
| Europa | Suécia   | Gothenburg    | Stombus              | 2 |
| Europa | Suécia   | Jonkoping     | Line1                | 2 |
| Europa | Suécia   | Jonkoping     | Line2                | 2 |
| Europa | Suécia   | Jonkoping     | Line3                | 2 |
| Europa | Suécia   | Stockholm     | 0                    | 2 |

|                  |                |                            |                                 |   |
|------------------|----------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| Europa           | Suíça          | Zurich                     | Line 31                         | 2 |
| Europa           | Turquia        | Istanbul                   | TUYAP - Sogutluceme Metrobus    | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Bradford                   | Manchester Road                 | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Crawley                    | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Edinburgh                  | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Ipswich                    | Ipswich Rapid Transit           | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Kent                       | Fastrack                        | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Leeds                      | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | London                     | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Luton                      | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Swansea                    | 0                               | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | York                       | FTR                             | 2 |
| Europa           | Reino Unido    | Runcorn                    | 0                               | 2 |
| América Latina   | Argentina      | Rosario                    | Santa Fé - Maipú                | 2 |
| América Latina   | Argentina      | Rosario                    | San Lorenzo - Laprida           | 2 |
| América Latina   | Argentina      | Rosario                    | Córdoba                         | 2 |
| América Latina   | Brasil         | Sumaré                     | Corredor Metropolitano Noroeste | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Brampton                   | Queen                           | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Brampton                   | Main                            | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Halifax                    | 0                               | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Waterloo                   | 200 iXpress                     | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Waterloo                   | 201 iXpress                     | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Winnipeg                   | RT                              | 2 |
| América do Norte | Canadá         | York Regional Municipality | Line2                           | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Vancouver                  | 0                               | 2 |
| América do Norte | Canadá         | Gatineau                   | Rapibus                         | 2 |
| América do Norte | Estados Unidos | Kansas City                | Main Street                     | 2 |
| América do Norte | Estados Unidos | Kansas City                | Troost Avenue                   | 2 |
| América do Norte | Estados Unidos | Miami                      | South Miami-Dade Busway         | 2 |



|                  |              |                   |                     |  |   |
|------------------|--------------|-------------------|---------------------|--|---|
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Oakland             | San Pablo Rapid                              | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Orlando             | LYNX Lymmo                                   | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Phoenix             | 0  | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Snohomish<br>County | 0  | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Stockton            | Route #40 Metro Express: Pacific<br>Corridor | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Stockton            | Route #43 Metro Express: Hammer<br>Corridor  | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Stockton            | Route #44 Metro Express: Airport<br>Corridor | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Boston              | Silver Line Waterfront                       | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Boston              | Silver Line Washington Street                | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Chicago             | Jeffery Jump                                 | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Everett             | 0  | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | Las Vegas           | SX (Sahara Express)                          | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | New York            | Fordham Road - Pelham Pkwy                   | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | New York            | M15 SBS (1st/2nd Ave)                        | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | San Bernardino      | sbX  | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | San Diego           | UTC Transit Center – UCSD                    | 2 |
| América<br>Norte | do<br>Unidos | Estados<br>Unidos | San Diego           | UTC East Loop                                | 2 |
| Oceania          |              | Austrália         | Brisbane            | Northern Busway                              | 2 |
| Oceania          |              | Austrália         | Brisbane            | Eastern Busway                               | 2 |
| Oceania          |              | Austrália         | Sydney              | Liverpool-Parramatta T-Way                   | 2 |
| Oceania          |              | Austrália         | Sydney              | Parramatta to Rouse Hill (North-West         | 2 |
| Oceania          |              | Austrália         | Sydney              | Blacktown to Rouse Hill (North-West          | 2 |
| Oceania          |              | Nova Zelândia     | Auckland            | Northern Busway                              | 2 |
| África           |              | África do Sul     | Cape Town           | 0  | 3 |
| Ásia             |              | China             | Beijing             | BRT 1  | 3 |
| Ásia             |              | China             | Beijing             | BRT 2  | 3 |
| Ásia             |              | China             | Beijing             | BRT 3  | 3 |

|                |             |              |                                  |   |
|----------------|-------------|--------------|----------------------------------|---|
| Ásia           | China       | Beijing      | BRT 4                            | 3 |
| Ásia           | China       | Changzhou    | Line 1                           | 3 |
| Ásia           | China       | Changzhou    | Line 2                           | 3 |
| Ásia           | China       | Jinan        | Line 1                           | 3 |
| Ásia           | China       | Jinan        | Line 2                           | 3 |
| Ásia           | China       | Jinan        | Line 3                           | 3 |
| Ásia           | China       | Jinan        | Line 4                           | 3 |
| Ásia           | Índia       | Ahmedabad    | 0                                | 3 |
| Ásia           | Índia       | Jaipur       | 0                                | 3 |
| Ásia           | Índia       | New Delhi    | 0                                | 3 |
| Ásia           | Índia       | Pune         | 0                                | 3 |
| Ásia           | Índia       | Surat        | Udhna Darwaza to Sachin GIDC     | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 1                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 2                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 3                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 4                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 5                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 6                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 7                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 8                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 9                        | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 10                       | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 11                       | 3 |
| Ásia           | Indonésia   | Jakarta      | Koridor 12                       | 3 |
| Europa         | França      | Nantes       | BusWay                           | 3 |
| Europa         | França      | Rouen        | T1                               | 3 |
| Europa         | França      | Rouen        | T2                               | 3 |
| Europa         | França      | Rouen        | T3                               | 3 |
| Europa         | Alemanha    | Essen        | The Spurbus                      | 3 |
| Europa         | Reino Unido | Cambridge    | The Busway                       | 3 |
| América Latina | Argentina   | Buenos Aires | Sur - Ramal Coronel Roca         | 3 |
| América Latina | Argentina   | Buenos Aires | Sur - Ramal Fernández de la Cruz | 3 |
| América Latina | Argentina   | Buenos Aires | 9 de Julio                       | 3 |
| América Latina | Argentina   | Buenos Aires | Juan B. Justo                    | 3 |

|                |           |                     |  |   |
|----------------|-----------|---------------------|--|---|
| América Latina | Brasil    | Diadema - São Paulo | Extensão Diadema - São Paulo (Morumbi Berrini) | 3 |
| América Latina | Brasil    | Mauá - Diadema      | Corredor Metropolitano ABD                     | 3 |
| América Latina | Brasil    | Olinda              | Av. Pan Nordestina - PE 15                     | 3 |
| América Latina | Brasil    | Recife              | Via Livre Leste-Oeste                          | 3 |
| América Latina | Brasil    | Recife              | Via Livre Norte-Sul                            | 3 |
| América Latina | Brasil    | Recife              | Avenida Conde do Boa Vista                     | 3 |
| América Latina | Brasil    | Uberlândia          | Avenida João Naves de Ávila                    | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Avenida Grecia                                 | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Pajaritos Norte                                | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Santa Rosa Norte                               | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Blanco Encalada - Arica                        | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Santa Rosa Sur                                 | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Vicuña Mackenna Norte                          | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Anillo Intermedio Norte                        | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Las Industrias                                 | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Departamental Poniente                         | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Dorsal   | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Pedro Aguirre Cerda                            | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Suiza - Las Rejas                              | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Vicuña Mackenna Sur                            | 3 |
| América Latina | Chile     | Santiago            | Pajaritos Sur                                  | 3 |
| América Latina | Equador   | Guayaquil           | Guasmo - Río Daule                             | 3 |
| América Latina | Equador   | Guayaquil           | Bastión Popular - Centro                       | 3 |
| América Latina | Equador   | Guayaquil           | 25 de Julio - Río Daule                        | 3 |
| América Latina | Equador   | Quito               | Sur Oriental                                   | 3 |
| América Latina | Equador   | Quito               | Sur Occidental                                 | 3 |
| América Latina | Guatemala | Guatemala           | Ramal Central                                  | 3 |
| América Latina | Guatemala | Guatemala           | Ramal Sur                                      | 3 |
| América Latina | México    | Chihuahua           | ViveBús  | 3 |
| América Latina | México    | Ecatepec            | Línea I: Ciudad Azteca - Ojo de Agua           | 3 |
| América Latina | México    | Guadalajara         | Línea 1  | 3 |
| América Latina | México    | Guadalupe           | Guadalupe                                      | 3 |
| América Latina | México    | Cidade do           | Línea 4, Buenavista - San Lázaro -             | 3 |
| América Latina | México    | Cidade do           | Línea 5, Río de los Remedios - San             | 3 |

|                  |                |                 |                                     |   |
|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|---|
| América Latina   | México         | Monterrey       | Ecovia                              | 3 |
| América Latina   | México         | Nezahualcoyotl  | Línea III: Chimalhuacán - Pantitlán | 3 |
| América Latina   | México         | Puebla          | Chachapa - Tlaxcalancingo           | 3 |
| América Latina   | Panamá         | Panamá          | 0                                   | 3 |
| América Latina   | Trinidad e     | Port of Spain - | Priority Bus Route                  | 3 |
| América Latina   | Uruguay        | Montevideo      | Corredor Garzón                     | 3 |
| América Latina   | Venezuela      | Caracas         | Línea 7                             | 3 |
| América Latina   | Venezuela      | Merida          | Trolebús de Mérida - Línea 1        | 3 |
| América do Norte | Canadá         | Ottawa          | 0                                   | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Cleveland       | Healthline                          | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Eugene          | Green Line                          | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Eugene          | Gateway Line                        | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Pittsburgh      | MLK East Busway                     | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Pittsburgh      | South Busway                        | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Pittsburgh      | West Busway                         | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Las Vegas       | MAX (Metropolitan Area Express)     | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Las Vegas       | SDX (Strip & Downtown Express)      | 3 |
| América do Norte | Estados Unidos | Los Angeles     | Orange Line                         | 3 |
| Oceania          | Austrália      | Adelaide        | North East Busway                   | 3 |
| África           | África do Sul  | Johannesburg    | 1A                                  | 4 |
| África           | South Africa   | Johannesburg    | 1B                                  | 4 |
| Ásia             | China          | Guangzhou       | Zhongshan Avenue                    | 4 |
| Ásia             | China          | Lanzhou         | Line 1                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 1                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 2                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 3                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 4                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 5                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 7                              | 4 |
| Ásia             | Irã            | Tehran          | Line 8                              | 4 |

|                |             |                |                                    |   |
|----------------|-------------|----------------|------------------------------------|---|
| Ásia           | Irã         | Tehran         | Line 10                            | 4 |
| Ásia           | Israel      | Haifa          | The Red Line                       | 4 |
| Ásia           | Israel      | Haifa          | The Blue Line                      | 4 |
| Ásia           | Israel      | Haifa          | The Green Line                     | 4 |
| Europa         | França      | Metz           | Ligne A                            | 4 |
| Europa         | França      | Metz           | Ligne B                            | 4 |
| Europa         | Reino Unido | Fareham        | Eclipse                            | 4 |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | MOVE - Antônio Carlos              | 4 |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | MOVE - Cristiano Machado           | 4 |
| América Latina | Brasil      | Belo Horizonte | MOVE - Área Central                | 4 |
| América Latina | Brasil      | Brasília       | Expresso DF Sul                    | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Linha Verde                        | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Boqueirão                          | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Leste                              | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Oeste                              | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Norte                              | 4 |
| América Latina | Brasil      | Curitiba       | Sul                                | 4 |
| América Latina | Brasil      | Goiânia        | Leste Oeste (Eixo Anhanguera)      | 4 |
| América Latina | Brasil      | Rio de Janeiro | TransOeste                         | 4 |
| América Latina | Brasil      | Rio de Janeiro | TransCarioca                       | 4 |
| América Latina | Brasil      | São Paulo      | Expresso Tiradentes (Eixo Sudeste) | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Barranquilla   | Troncal Murillo                    | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Barranquilla   | Troncal Olaya                      | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Calle 80                           | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Caracas                            | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Caracas Sur                        | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Eje Ambiental                      | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Norte                              | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Américas                           | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | NQS Central                        | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | NQS Sur                            | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Suba                               | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Calle 26                           | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bogotá         | Carrera 10                         | 4 |
| América Latina | Colômbia    | Bucaramanga    | 0                                  | 4 |

|                |           |                       |  |   |
|----------------|-----------|-----------------------|--|---|
| América Latina | Colômbia  | Cali                  | Mio  | 4 |
| América Latina | Colômbia  | Medellín              | Línea 1                                    | 4 |
| América Latina | Colômbia  | Medellín              | Línea 2                                    | 4 |
| América Latina | Colômbia  | Pereira               | 0  | 4 |
| América Latina | Equador   | Quito                 | Ecovía (North Eastern Corridor)            | 4 |
| América Latina | Equador   | Quito                 | TroleBús                                   | 4 |
| América Latina | Equador   | Quito                 | Central Norte                              | 4 |
| América Latina | México    | León de los<br>Aldama | Sistema Integrado de Transporte<br>Optibus | 4 |
| América Latina | México    | Cidade do             | Línea 1, Indios Verdes - Caminero          | 4 |
| América Latina | México    | Cidade do             | Línea 2, Tacubaya - Tepalcates             | 4 |
| América Latina | México    | Cidade do             | Línea 3, Tenayuca - Etiopia II             | 4 |
| América Latina | Peru      | Lima                  | COSAC I                                    | 4 |
| Oceania        | Austrália | Brisbane              | South East Busway                          | 4 |