CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ANÁLISE DA REDE DE TRANSPORTE DE ÔNIBUS DO RIO DE JANEIRO COM BASE EM MODELOS TOPOLÓGICOS UTILIZANDO REDES SOCIAIS

Louise Carrullo Pumar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Rafael Garcia Barbastefano
Coorientador: Diego Moreira de Araujo Carvalho

Rio de Janeiro
Março/2017

ANÁLISE DA REDE DE TRANSPORTE DE ÔNIBUS DO RIO DE JANEIRO COM BASE EM MODELOS TOPOLÓGICOS UTILIZANDO REDES SOCIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Louise Carrullo Pumar

Banca Examinadora:

Presidente, Professor Dr. Rafael Garcia Barbastefano (CEFET/RJ) (orientador)

Professor Dr. Diego Moreira de Araujo Carvalho (CEFET/RJ) (coorientador)

Professor Dr. Eduardo Soares Ogasawara (CEFET/RJ)

Professor Dr. Marcio de Almeida D'Agosto (COPPE/UFRJ)

Rio de Janeiro
Março/2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P983 Pumar, Louise Carrullo
Análise da rede de transporte de ônibus do Rio de Janeiro com base em modelos topológicos utilizando redes sociais / Louise Carrullo Pumar.—2017.
118f. + apêndices : il. (algumas color.) , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2017.
Bibliografia : f. 113-118
Orientador : Rafael Garcia Barbastefano
Coorientador : Diego Moreira de Araujo Carvalho

1. Engenharia de transportes. 2. Política de transporte urbano - Planejamento. 3. Redes sociais. I. Barbastefano, Rafael Garcia (Orient.). II. Carvalho, Diego Moreira de Araujo (Coorient.). III. Título.

CDD 629.04

AGRADECIMENTOS

A Deus por guiar meus passos e, principalmente, por me conceder forças para concluir esta jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Barbastefano, por me conceder essa oportunidade. Obrigada por todo o suporte na pesquisa, pelo aprendizado adquirido, pela paciência e por depositar sua confiança em mim.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Diego Carvalho, por contribuir bastante nesta pesquisa e por compartilhar o seu conhecimento comigo.

Aos meus pais, Fernanda e Mauro, pelos conselhos, entusiasmo e suporte incondicional para a realização deste mestrado, por sempre acreditarem em mim e por serem exemplos na minha vida.

Ao meu namorado, Phellipe, por me incentivar a ir atrás dos meus sonhos, por me dar amor e carinho sempre que preciso, por me ouvir e por toda a paciência. Sou muito grata por você ter entrado na minha vida. Obrigada também pelas sugestões ao longo do trabalho e pela ajuda com o inglês técnico.

A minha avó, Aparecida, pelo apoio emocional e encorajamento em todos os momentos que precisei. Obrigada por estar sempre presente na minha vida.

Aos meus irmãos, Felipe e Clara, por todo carinho, pelos momentos de risada e por me ajudarem sempre, com vocês tenho a certeza de que sempre terei alguém para contar.

A todos os professores do mestrado que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Aos amigos, familiares e todas as pessoas que torceram e acreditaram em mim.

RESUMO

Nos últimos anos, estudos sobre redes de transporte público têm se intensificado no âmbito de Redes Sociais, especialmente em redes de ônibus. Isso tem ocorrido devido à relevância da mobilidade urbana para o bom funcionamento de uma cidade. A cidade do Rio de Janeiro, Brasil, passou por mudanças recentes em seu sistema de ônibus municipais, modificando diversas linhas e pontos de ônibus. Este trabalho propôs-se a analisar a estrutura da rede de transporte de ônibus dessa cidade, comparando a sua topologia em 2014 e 2016 – antes e depois da mudança. Para isso, foram investigadas as propriedades do sistema de ônibus com base nos modelos topológicos B-*space*, P-*space* e C-*space*. Alguns importantes parâmetros foram calculados, como densidade, componente gigante, distância, diâmetro, coeficiente de clusterização, grau, proximidade e intermediação. Os resultados mostraram que houve uma redução de 22,75% das linhas e 5,19% dos pontos de ônibus de 2014 para 2016. Também se verificou que são necessárias no máximo quatro linhas para se deslocar entre dois pontos de ônibus quaisquer dentro da cidade em ambos os anos, contudo com três linhas já é possível atingir mais de 99% dos pontos de ônibus. Outra observação foi que dado certo ponto de ônibus era possível ir para, em média, 549 pontos em 2014 e 462 em 2016, sendo que, a partir do ponto mais central, era permitido ir para mais de 3000 pontos em 2014 e mais 2750 em 2016, o que seria equivalente a 42,7% e 41,3% dos pontos, respectivamente. Além disso, esse estudo também sugere a exploração da rede C-*space* de acordo com certa quantidade mínima de pontos de ônibus em comum que as linhas possuíam. Com base na análise da propriedade da componente gigante dessas redes com muitos pontos em comum, é viável detectar possíveis corredores expressos de ônibus.

Palavras-chave: redes de transporte de ônibus; Redes Sociais; transporte público; B-*space*; P-*space*; C-*space*.

ABSTRACT

In recent years, studies regarding public transport networks have intensified the scope of social networks, especially in bus networks. This is taking place on account of the relevance of urban mobility for the proper functioning of a city. The city of Rio de Janeiro, Brazil, has recently undergone changes in its municipal bus system, reforming several routes and bus stops. This paper proposes an analysis at the structure of the bus transportation network of this city, comparing its topology in 2014 and 2016 - before and after the change. Thus, the properties of the bus system were investigated based on the topological models B-space, P-space and C-space. Several important parameters were calculated, such as density, giant component, distance, diameter, clustering coefficient, degree, closeness and betweenness. The results displayed a reduction of 22.75% of the routes and 5.19% of the bus stops from 2014 to 2016. It has also been found that a maximum of four routes are required to move between any two bus stops within the city in both years, however with three routes it is possible to reach more than 99% of the bus stops. Another remark was that given a certain bus stop it was possible to go for an average of 549 points in 2014 and 462 in 2016, and as of the most central point it was allowed to go to more than 3000 points in 2014 and another 2750 in 2016, equivalent to 42.7% and 41.3% of the points, respectively. In addition, this study also suggests exploring the C-space network according to a certain minimum number of common bus stops that the routes have. Based on the property analysis of the giant component of these networks with many points in common, it is viable to detect possible express bus lanes.

Keywords: bus transport network; Social Network; public transport; B-space; P-space; C-space.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo da componente gigante de uma rede de mundo pequeno 24
Figura 2 – Exemplo da rede L-*space* 28
Figura 3 – Exemplo da rede B-*space* 29
Figura 4 - Exemplo da rede P-*space* 30
Figura 5 – Exemplo da rede C-*space* 31
Figura 6 – Ilustração das redes *Cs*, *Bs* e *Ps* 32
Figura 7 – Exemplo de pontos de ônibus em imagem por satélite 32
Figura 8 – Exemplo de linhas de ônibus em imagem por satélite 33
Figura 9 – Exemplo da rede *Bs* em imagem por satélite 33
Figura 10 – Exemplo da rede *Ps* em imagem por satélite 34
Figura 11 – Exemplo da rede *Cs* em imagem por satélite 34
Figura 12 – Pirâmide do engajamento das decisões sobre transporte público 44
Figura 13 – Fluxograma do design da rede de transporte 47
Figura 14 – Fluxograma do desenvolvimento do cronograma de horário dos veículos 48
Figura 15 – Fluxograma da programação de veículos 50
Figura 16 – Fluxograma da programação da tripulação 51
Figura 17 – Perspectiva do passageiro sobre a viabilidade do transporte público 55
Figura 18 – Perspectiva da agência sobre a viabilidade do transporte público 56
Figura 19 – Consórcios de ônibus da cidade do Rio de Janeiro 63
Figura 20 – Fluxograma da metodologia 70
Figura 21 – Rede Cs^1 do exemplo da rede Cs^n 73
Figura 22 – Rede Cs^2 do exemplo da rede Cs^n 74
Figura 23 – Rede Cs^3 do exemplo da rede Cs^n 74
Figura 24 – Pontos de ônibus pertencentes a componente gigante da rede Cs^{100} em 2014 84
Figura 25 – Pontos de ônibus pertencentes a componente gigante da rede Cs^{100} em 2016 85
Figura 26 – Sistema do BRT no Rio de Janeiro 85
Figura 27 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* em 2014 89
Figura 28 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* em 2016 89
Figura 29 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* na região do centro da cidade em 2014 90
Figura 30 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* na região do centro da cidade em 2016 90
Figura 31 – Pontos de ônibus com grau acima de 2000 na rede *Ps* em 2014 94

Figura 32 – Pontos de ônibus com grau acima de 2000 na rede *Ps* em 2016 94
Figura 33 – Pontos de ônibus com proximidade acima de 0,59 na rede *Ps* em 2014 96
Figura 34 – Pontos de ônibus com proximidade acima de 0,59 na rede *Ps* em 2016 96
Figura 35 – Pontos de ônibus com intermediação acima de $420x10^{-5}$ na rede *Ps* em 2014 98
Figura 36 – Pontos de ônibus com intermediação acima de $420x10^{-5}$ na rede *Ps* em 2016 99
Figura 37 – Explicação da centralidade grau na rede *Cs* 100
Figura 38 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs*. (a) Cs^{1} em 2014. (b) Cs^{1} em 2016. (c) Cs^{30} em 2014. (d) Cs^{30} em 2016. (e) Cs^{50} em 2014. (f) Cs^{50} em 2016. (g) Cs^{100} em 2014. (h) Cs^{100} em 2016. 101
Figura 39 – Linha 2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA) em 2014 (em verde) e linha 358-COSMOS – CANDELÁRIA em 2016 (em vermelho) 105
Figura 40 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 129
Figura 41 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 130
Figura 42 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 132
Figura 43 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 133
Figura 44 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 135
Figura 45 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 136
Figura 46 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 138

Figura 47 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 139

Figura 48 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 141

Figura 49 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 142

Figura 50 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 144

Figura 51 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100} 145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis dos padrões de serviço do design da rota 52

Tabela 2 – Variáveis dos padrões de serviço do design do serviço 53

Tabela 3 – Agrupamento dos modais de transporte 61

Tabela 4 – Quantidade de viagens realizadas por escolha modal na cidade do Rio de Janeiro 62

Tabela 5 – Redução da produtividade de acordo com o tempo de viagem 66

Tabela 6 – Tempo de deslocamento casa-trabalho 67

Tabela 7 – Propriedades analisadas em cada modelo topológico utilizado 72

Tabela 8 – Significado das propriedades em relação aos ônibus para cada modelo topológico 75

Tabela 9 – Propriedades gerais das redes Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40} e Cs^{50} em 2014 77

Tabela 10 – Propriedades gerais das redes Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100} em 2014 78

Tabela 11 – Propriedades gerais das redes Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40} e Cs^{50} em 2016 79

Tabela 12 – Propriedades gerais das redes Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100} em 2016 80

Tabela 13 – Propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* em 2014 81

Tabela 14 – Propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* em 2016 81

Tabela 15 – Variação das propriedades gerais das redes *Cs* de 2014 para 2016 87

Tabela 16 – Variação das propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* de 2014 para 2016 87

Tabela 17 – Linhas com grau elevado na rede Cs^{100} em 2014 103

Tabela 18 – Linhas com grau elevado na rede Cs^{100} em 2016 104

Tabela 19 – Principais dados dos trabalhos utilizando a topologia estudada a partir de 2010 120

Tabela 20 – Pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2014 121

Tabela 21 – Pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2016 122

Tabela 22 – Linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2014 123

Tabela 23 – Linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2016 124

Tabela 24 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de grau 125

Tabela 25 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de proximidade 126

Tabela 26 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de intermediação 127

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de estudos dos modelos topológicos por escolha modal 38
Gráfico 2 – Quantidade de estudos dos modelos topológicos por ano 39
Gráfico 3 – Divisão modal da cidade do Rio de Janeiro 62
Gráfico 4 – Evolução da quantidade de veículos por ano 64
Gráfico 5 – Evolução do custo dos congestionamentos na RMRJ (R$ bilhões) 66
Gráfico 6 – Arestas no *Cs* em 2014 e 2016 82
Gráfico 7 – Distribuição do grau, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Bs* 91
Gráfico 8 – Distribuição do grau, por intervalo, das linhas da rede *Bs* 92
Gráfico 9 – Distribuição do grau, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps* 93
Gráfico 10 – Distribuição da proximidade, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps* 95
Gráfico 11 – Distribuição da intermediação, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps* 97
Gráfico 12 – Distribuição da distância no *Ps* em 2014 e 2016 108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRS	*Bus Rapid Service*
BRT	*Bus Rapid Transit*
CTC	Companhia de Transportes Coletivos
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GPS	*Global Positioning System*
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
PIB	Produto Interno Bruto
PMUS	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PODD	Pesquisa Origem Destino Domiciliar
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RTO	Rede de transporte de ônibus
RTP	Rede de transporte público
VLT	Veículo leve sobre trilhos

SUMÁRIO

Introdução **16**

1 - Conceitos de Redes Sociais **20**

1.1 - Propriedades 21

1.1.1 - Grau de um vértice 21

1.1.2 - Densidade 22

1.1.3 - Componente gigante 23

1.1.4 - Distância 24

1.1.5 - Diâmetro 24

1.1.6 - Coeficiente de clusterização 25

1.1.7 - Proximidade 25

1.1.8 - Intermediação 25

2 - Topologia das Redes **27**

2.1 - Modelos topológicos 27

2.1.1 - L-*space* 27

2.1.2 - B-*space* 28

2.1.3 - P-*space* 29

2.1.4 - C-*space* 30

2.2 - Contexto 34

3 - Planejamento do Transporte Público **40**

3.1 - Fases do planejamento do transporte público 46

3.1.1 - Design da rede de transporte 46

3.1.2 - Desenvolvimento do cronograma de horário dos veículos 47

3.1.3 - Programação de veículos 49

3.1.4 - Programação da tripulação 50

3.2 - Padrões de serviço 51

3.3 - Viabilidade 54

4 - O transporte público na cidade do Rio de Janeiro **57**

4.1 - A história do transporte coletivo no Rio de Janeiro 57

4.2 - O transporte público nos dias atuais 60

4.3 - A mudança das linhas de ônibus 67

5 - Metodologia 69

5.1 - Rede Cs^n 72

5.2 - Propriedades relativas à RTO 74

6 - Análise dos Resultados 76

6.1 - Propriedades gerais 76

6.2 - Medidas de centralidade 88

6.2.1 - *Bs* 88

6.2.2 - *Ps* 92

6.2.3 - *Cs* 99

6.3 - Distribuição de distância 107

6.4 - Síntese dos resultados 108

Considerações Finais 110

Referências Bibliográficas 113

Apêndice A – Palavras-chave utilizadas para buscar, nas bases de dados, trabalhos sobre RTP utilizando os modelos topológicos estudados 119

Apêndice B – Tabela contendo um resumo com os principais dados dos estudos analisados 120

Apêndice C – Tabela contendo a latitude e a longitude dos pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2014 121

Apêndice D – Tabela contendo a latitude e a longitude dos pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2016 122

Apêndice E – Tabela contendo as linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2014 123

Apêndice F – Tabela contendo as linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2016 124

Apêndice G – Tabela contendo os valores de grau em 2014 e 2016 125

Apêndice H – Tabela contendo os valores de proximidade em 2014 e 2016 126

Apêndice I – Tabela contendo os valores de intermediação em 2014 e 2016 127

Apêndice J – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014 128

Apêndice K – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016 **131**

Apêndice L – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014 **134**

Apêndice M – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016 **137**

Apêndice N – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014 **140**

Apêndice O – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016 **143**

Introdução

Na sua forma mais simples, uma rede é uma coleção de pontos unidos em pares por linhas. Muitos objetos de interesse nas ciências física, biológica e social podem ser pensados como redes (NEWMAN, 2010).

Existem muitos sistemas de interesse para os cientistas que são compostos por partes individuais ou por componentes ligados de alguma forma. Muitos aspectos desses sistemas são dignos de estudo. Algumas pessoas estudam a natureza dos componentes individuais, outras estudam a natureza das ligações e outras estudam o padrão dessas ligações. O padrão das ligações de certo sistema pode ser representado por uma rede, sendo os componentes do sistema chamados de vértices da rede e as ligações de arestas ou arcos. Além disso, a estrutura das redes pode ter um grande efeito sobre o comportamento do sistema, já que uma rede é uma representação simplificada de um sistema, capturando os conceitos básicos do padrão das ligações. Em uma ampla variedade de campos, cientistas têm desenvolvido um extenso conjunto de ferramentas matemáticas, computacionais e estatísticas para análise, modelagem e compreensão das redes ao longo dos anos (NEWMAN, 2010).

A análise das Redes Sociais é uma dessas ferramentas. Ela é amplamente utilizada nas ciências sociais e comportamentais, bem como em economia, marketing e engenharia de produção. A visão das Redes Sociais baseia-se nas relações entre as entidades sociais, como por exemplo, comunicações entre membros de um grupo, transações econômicas entre corporações, comércio ou tratado entre nações, entre outros (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Devido ao seu amplo campo, os métodos de análise das Redes Sociais têm atraído grande interesse e curiosidade científica social e comportamental nas últimas décadas. Grande parte desse interesse pode ser atribuída ao foco da análise de Redes Sociais, isto é, sobre as relações entre entidades sociais e sobre os padrões e implicações dessas relações. Muitos pesquisadores perceberam que a perspectiva da rede permite um novo recurso científico para questões sobre padrões sociais e comportamentais, fornecendo uma definição formal e precisa a aspectos do ambiente estrutural político, econômico ou social. Do ponto de vista da análise de Redes Sociais, o ambiente social pode ser expresso como padrões ou regularidades nas relações entre unidades que interagem (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Um dos campos de aplicação das Redes Sociais é a mobilidade urbana, já que essa ferramenta permite a construção e análise de redes de transporte. A mobilidade urbana é primordial para o bom funcionamento de uma cidade, pois a população precisa se deslocar diariamente para a realização de suas atividades, especialmente no que diz respeito à relação casa-trabalho. Com uma população crescente, a demanda por transporte também aumenta, causando mais tráfego nas ruas e, consequentemente, criando mais problemas relacionados à

mobilidade, como congestionamentos, poluição do ar, poluição sonora e acidentes, principalmente em centros urbanos, onde o nível de atividades humanas é elevado (FARAHANI et al., 2013).

Devido à importância da mobilidade e aos diversos problemas causados por ela, muitas cidades – especialmente cidades maiores – passaram a investir no desenvolvimento de transporte público, incentivando e melhorando a sua estrutura, a fim de torná-los mais atrativos, rápidos e eficientes. Como o transporte público da cidade pode ser disposto em uma rede, com quantidades significativas de vértices e ligações, diversos estudos com a aplicação de Redes Sociais em redes de transporte público passaram a surgir.

Este trabalho tem por objetivo aplicar modelos topológicos utilizados em Redes Sociais à rede de transporte público, avaliando especificamente a estrutura da malha do sistema de ônibus da cidade do Rio de Janeiro. As linhas e os pontos de ônibus dessa cidade passaram por modificações recentes, portanto, este trabalho visa comparar a topologia da rede antes e depois dessa mudança, confrontando as propriedades analisadas nas redes em 2014 e 2016.

A ideia principal ao analisar e comparar a rede de ônibus da cidade é que se possa compreender melhor como essa rede funciona, associando a teoria aplicada a essa modelagem com a necessidade prática dessa escolha modal, de modo a responder algumas perguntas, como: é possível ir de um ponto a outro qualquer dentro da cidade? Caso seja possível, quantas linhas serão necessárias para isso? Quais os pontos de ônibus que possuem uma maior importância para o funcionamento da cidade? Quais pontos são utilizados como pontos de transferências? E quais linhas são utilizadas como linhas de transferências? A mudança topológica da rede de ônibus foi significativa de 2014 para 2016?

Além disso, este trabalho também sugere uma modificação na aplicação de um dos modelos topológicos utilizados – o C-*space* – criando diferentes redes C-*space* de acordo com a quantidade de pontos de ônibus em comum que as linhas possuíam.

Para a realização deste trabalho, primeiramente realizou-se um estudo de Redes Sociais e dos modelos topológicos utilizados, compreendendo mais a fundo os modelos que seriam empregados e as propriedades que seriam analisadas nessas redes. Depois disso, foi investigada a literatura existente sobre planejamento do transporte público, para que fosse possível unir o conhecimento de Redes Sociais ao funcionamento do transporte público. Então, foram geradas as redes e analisados os resultados encontrados de acordo com as propriedades utilizadas. Por fim, verificaram-se as conclusões descobertas, identificando as limitações do trabalho.

Após esta breve introdução, o trabalho segue estruturado da seguinte forma. No primeiro capítulo encontram-se os conceitos de Redes Sociais, onde as propriedades utilizadas para a análise das redes foram definidas e explicadas, além de uma elucidação sobre os principais conceitos de Redes Sociais, como ator, ligação e rede.

O segundo capítulo apresentou os quatro principais modelos topológicos utilizados na análise de redes de transporte público, sendo eles o L-*space*, B-*space*, P-*space* e C-*space*. Também foi realizada uma contextualização sobre estudos nesta área, mostrando as pesquisas mais recentes, com os modelos topológicos e os modais utilizados.

O terceiro capítulo consistiu na apresentação da literatura sobre o planejamento do transporte público. Nessa etapa, foi demonstrada a importância da mobilidade dentro de uma cidade para o bom funcionamento da mesma, principalmente no que se refere ao transporte público, apontando consequências positivas e negativas do seu bom ou mau funcionamento. Também foram expostos trabalhos de outros autores envolvendo redes de transporte público, incluindo a explicação sobre as fases do planejamento do transporte público.

Uma contextualização sobre o transporte público na cidade do Rio de Janeiro foi apresentada no quarto capítulo. Nessa etapa, pesquisou-se sobre o transporte coletivo na cidade do Rio de Janeiro, que foi a cidade estudada neste trabalho, investigando a história do transporte público na cidade, como ele se encontra hoje e a recente mudança ocorrida nos últimos anos.

O capítulo seguinte apresentou a metodologia, onde se descreveu detalhadamente os passos necessários para a aquisição dos resultados, que foram: a obtenção dos dados brutos em ambos os anos estudados, o tratamento desses dados, a geração das redes B-*space*, P-*space* e C-*space*, a extração dos dados das propriedades no programa utilizado, o tratamento desses dados e, por fim, a análise e comparação dos resultados encontrados.

O sexto capítulo tratou da análise dos resultados. Nesse capítulo, os resultados observados foram distribuídos em tabelas, gráficos e figuras para que pudessem ser melhores interpretados. Além disso, os resultados foram divididos em três seções. A primeira compreendeu a maioria das propriedades estudadas, como vértices, arestas, densidade, componente gigante, diâmetro e coeficiente de clusterização. A seção seguinte abrangeu as três medidas de centralidade apresentadas – grau, proximidade e intermediação. A última seção analisou a propriedade de distância, enfatizando a sua distribuição na rede P-*space*.

Nesse capítulo será interessante observar alguns resultados encontrados, como a constatação da redução de 22,75% das linhas e 5,19% dos pontos de ônibus de 2014 para 2016. Também será verificado que são necessárias no máximo quatro linhas para se deslocar entre dois pontos de ônibus quaisquer dentro da cidade em ambos os anos, contudo com três linhas já é possível atingir mais de 99% dos pontos de ônibus. Além disso, será observado que dado certo ponto de ônibus era possível ir para, em média, 549 pontos em 2014 e 462 em 2016, sendo que, a partir do ponto mais central, era permitido ir para mais de 3000 pontos em 2014 e mais 2750 em 2016, o que seria equivalente a 42,7% e 41,3% dos pontos, respectivamente.

No último capítulo deste trabalho encontram-se as considerações finais sobre o trabalho, onde se verificou se os objetivos do trabalho foram atingidos, os desdobramentos futuros que este trabalho pode gerar, assim como suas principais limitações.

1 - Conceitos de Redes Sociais

Métodos para análise de Redes Sociais vêm atraindo bastante interesse nas últimas décadas. Grande parte desse interesse pode ser atribuída ao atraente foco da análise das redes sociais sobre as relações entre entidades sociais, considerando os padrões e as implicações dessas relações. Muitos pesquisadores têm percebido que a perspectiva de rede permite uma nova alavanca para alcançar respostas sobre padrões sociais e pesquisas científicas comportamentais, delimitando uma nova definição para estruturais ambientais nas áreas política, econômica ou social. Do ponto de vista da análise de Redes Sociais, o ambiente social pode ser expresso por padrões e regularidades nas relações entre as unidades que interagem (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Para entender Redes Sociais, alguns conceitos são fundamentais. Esses se encontram definidos a seguir.

- Ator social: são chamados de vértices na rede. Eles representam indivíduos específicos, empresas ou unidades sociais coletivas, cujo comportamento deseja ser estudado (WASSERMAN; FAUST, 1994). Nooy, Mrvar; Batagelj (2005) afirmam que ator social pode se referir a uma pessoa, organização ou nação que esteja envolvida em uma relação social. Neste trabalho, os atores sociais referem-se a linhas e pontos de ônibus, que são elementos constituintes de uma organização. Ademais, a maioria das aplicações de Redes Sociais foca em coleções de atores que sejam do mesmo tipo, como é o caso deste trabalho.
- Ligação: os atores são ligados uns aos outros por laços relacionais, que podem ser definidos por qualquer relação social. Uma ligação é delimitada pelas suas duas extremidades, que são os dois vértices incididos pela linha. A ligação pode ser direcionada, chamada de arco, ou não direcionada, denominada aresta (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005). Neste trabalho, a ligação utilizada será somente do tipo não direcionada, pois ambos os vértices estão igualmente envolvidos na relação.
- Rede: é também chamada de grafo na literatura matemática. Um grafo representa a estrutura de uma rede e contém um conjunto de vértices conectados por ligações (NEWMAN, 2010). Dependendo do tipo de ligação que um grafo possua, o mesmo pode ser dividido em dois tipos. Um grafo direcionado é composto por um ou mais arcos, enquanto que um grafo não direcionado é composto somente por arestas (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005).

A base de Redes Sociais surgiu por meio de uma ciência social denominada sociometria, que estuda as relações interpessoais. Essa ciência foi fundada por diversos pesquisadores, mas teve como principal nome Jacob Levy Moreno. Moreno argumentava que a sociedade não é um aglomerado de indivíduos e suas características e sim uma estrutura de laços interpessoais, isto é, no campo da sociometria, o indivíduo não é uma simples unidade social. Pode-se afirmar que um ator social é composto de um indivíduo e de suas relações sociais, econômicas ou culturais. Esses atores sociais são conectados em grupos, sendo a sociedade constituída por diversos grupos inter-relacionados (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005).

A sociometria é aplicada principalmente a grupos pequenos, ao contrário de Redes Sociais, que, apesar de também poder ser utilizada em pequenos grupos, é mais aplicada a grandes grupos (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005).

Outro pesquisador relevante nesta área foi Harrison White. Em conjunto com seus alunos, White produziu um grande número de contribuições importantes para a teoria e pesquisa de Redes Sociais, abordando a sociedade como redes e não como grupos de indivíduos. White acreditava que técnicas de amostragem comuns, como por exemplo, média de uma população, generalizavam os indivíduos, sem representar especificamente cada um deles, ou seja, ele argumentava que esse tipo de técnica não apresentava o conhecimento necessário para entender como as estruturas se sustentavam. Por isso, desenvolveu modelos que incorporassem os padrões de relacionamento em descrições de formações sociais (FREEMAN, 2004).

Portanto, Redes Sociais é uma ciência que estuda as ligações entre atores sociais, cujo principal objetivo é a realização de sua análise para detectar e interpretar padrões das relações entre eles (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005).

1.1 - Propriedades

As redes geradas em Redes Sociais possuem diversas propriedades para facilitar sua análise e entendimento. Neste trabalho, foram estudadas algumas delas para posterior aplicação ao analisar as redes criadas.

1.1.1 - Grau de um vértice

O grau de um vértice é definido como o número de arestas que estão incidindo sobre esse vértice. Em outras palavras, é o número de outros vértices que estão conectados a ele. Essa propriedade varia de um valor mínimo de zero, caso não exista nenhum vértice adjacente a um dado vértice e possui o valor máximo igual ao número total de vértices menos um, caso o

vértice em questão esteja conectado com todos os demais vértices da rede. Um vértice que possua grau igual a zero é chamado de vértice isolado (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Pode-se dizer que essa é uma medida da atividade do vértice, já que mostra diretamente se esse vértice possui relação com os demais (WASSERMAN; FAUST, 1994). Quanto maior o grau de um nó, mais vértices estão conectados a ele (LIU; TAN, 2013), isso significa que o grau de um vértice reflete a importância dele como um vértice central (YANG et al., 2014). Portanto, caso certo vértice possua grau alto, ele provavelmente terá mais visibilidade dentro da rede, devendo passar a ser reconhecido como um principal canal de informação relacional, ocupando uma localização central na rede. Em contraste, atores com grau baixo possuem uma posição mais periférica na rede (WASSERMAN; FAUST, 1994). Já o grau médio de um nó é a média dos graus de todos os vértices da rede.

Considerando um grafo *G* com m arestas e n vértices, o grau médio desse grafo $d_m(G)$ é definido por:

$$\mathrm{d}_m(G) = \frac{2 \times m}{n}$$

Por ser de fácil obtenção e bastante relevante, o grau médio acaba sendo muito utilizado na Análise de Redes Sociais.

1.1.2 - Densidade

A densidade de uma rede é o número de arestas existentes nessa rede em relação ao número máximo de ligações possíveis (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005). Ela varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo for este valor de 1, mais densa é a rede. Uma rede densa significa que os vértices desta rede possuem muitas ligações uns com os outros.

Considerando um grafo simples *G* com m arestas e n vértices, Newman (2010) afirma que o número máximo possível de arestas que estão presentes nesse grafo é dado por:

$$\frac{1}{2} \times n \times (n-1)$$

e que a densidade $\rho(G)$ é definida como a fração dessas arestas que estão realmente presentes. Logo, a densidade é expressa por:

$$\rho(G) = \frac{m}{\frac{1}{2} \times n \times (n-1)} = \frac{2 \times m}{n \times (n-1)}$$

Combinando a equação da densidade com a equação do grau médio, obtém-se:

$$\rho(G) = \frac{d_m(G)}{n-1}$$

Como a maior parte das redes analisadas é suficientemente grande, a equação da densidade pode ser seguramente aproximada para:

$$\rho(G) = \frac{d_m(G)}{n}$$

A densidade é inversamente proporcional ao tamanho da rede, ou seja, quanto maior for a rede social, menor a densidade desta rede. Isso ocorre porque o número de linhas possíveis aumenta rapidamente com o número de vértices, enquanto o número de ligações que cada vértice pode manter é limitado. Por isso, algumas vezes essa medida acaba não apresentando muita utilidade na análise de redes (NOOY; MRVAR; BATAGELJ, 2005).

1.1.3 - Componente gigante

Em redes com números muito pequenos de ligações entre indivíduos, os indivíduos pertencem a apenas pequenas ilhas de colaboração ou comunicação. No entanto, à medida que o número total de ligações aumenta, uma componente gigante se forma, isto é, forma-se um grande número de indivíduos conectados uns aos outros por caminhos de conhecidos intermediários (NEWMAN, 2001). Isso ocorre na maioria das redes sociais, o que corrobora com a hipótese do mundo pequeno, criada por Milgram (1967).

Em 1967, Milgram realizou um experimento que originou a hipótese do mundo pequeno. O experimento foi realizado com a intenção de se responder duas perguntas. A primeira delas foi: “Dadas duas pessoas quaisquer no mundo, qual é a probabilidade delas se conhecerem por intermédio de conhecidos?”. E a segunda, como consequência da primeira, foi: “Dadas duas pessoas quaisquer no mundo, quantos conhecidos intermediários são necessários para conectá-las?”. O experimento consistiu na escolha de pessoas aleatórias para iniciar o processo, chamadas de pessoa inicial, e de pessoas aleatórias para serem alcançadas, chamadas de pessoa alvo. Essas pessoas poderiam ser qualquer uma das 200 milhões de pessoas que viviam nos Estados Unidos. Então, todas as pessoas iniciais escolhidas recebiam uma mensagem com o nome e o endereço da mesma pessoa alvo. Cada um dos participantes deveria encaminhar a mensagem para algum amigo ou conhecido que eles acreditavam que pudesse conhecer a pessoa alvo e, assim sucessivamente. Isso pode ser representado como uma rede com 200 milhões de vértices, representando cada cidadão americano, sendo que cada um desses vértices está conectado a outro se essas pessoas se conhecerem. O número de conhecidos intermediários encontrados variou entre dois e dez, com uma média de cinco intermediários. Esse valor encontrado foi muito menor do que o esperado (MILGRAM, 1967).

Esse experimento surgiu para provar que a maior parte dos indivíduos encontra-se conectados de alguma forma. Antigamente, preconizava-se que as pessoas viviam em pequenas comunidades, isoladas umas das outras. Porém, a partir da hipótese do mundo pequeno, verificou-se que algumas poucas ligações conectam essas pessoas, ou seja, apesar das pessoas viverem em comunidades separadas umas das outras, alguns indivíduos conectam essas comunidades, tornando o mundo, como um todo, conexo. A Figura 1 apresenta um exemplo disso. Nessa figura existem dezenove vértices dispersos em três

comunidades, porém são necessárias apenas duas ligações para que toda a rede torne-se conexa, formando uma componente gigante.

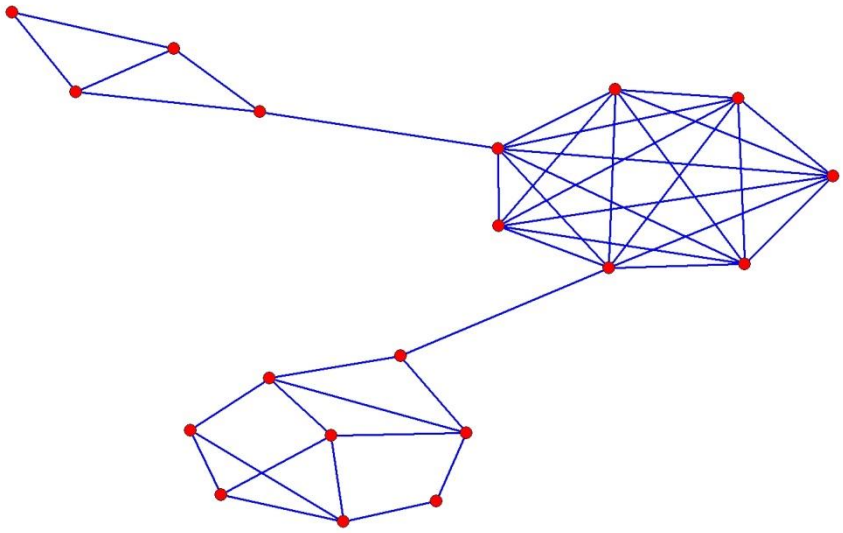


Figura 1 – Exemplo da componente gigante de uma rede de mundo pequeno
Fonte: Elaboração própria

1.1.4 - Distância

A distância geodésica entre dois vértices é o comprimento do caminho mais curto que exista entre eles, ou seja, é a quantidade de arestas mínimas existentes entre esses dois vértices. Se não existir um caminho entre dois nós, isto é, se eles não são alcançáveis, então a distância entre eles é considerada infinita ou indefinida (WASSERMAN; FAUST, 1994). Já a distância, é o comprimento do caminho entre dois pontos quaisquer dentro de uma rede, podendo não ser necessariamente o caminho mais curto entre esses dois vértices e, sim, um caminho qualquer que os conecte. Para facilitar, ao longo deste trabalho, quando for mencionada a propriedade de distância, essa se referirá à distância geodésica.

Conhecer as distâncias de uma rede é muito importante para a análise de Redes Sociais, pois elas quantificam o quão longe está cada par de vértices, mostrando se, mesmo com muitos vértices, os nós dessa rede se alcançam facilmente ou não. A distância média da rede é explicada como a média entre todas as distâncias de cada par de vértices.

1.1.5 - Diâmetro

Ainda com base na definição de distância descrita acima, o diâmetro de uma rede é o comprimento da maior distância entre um par de vértices dessa rede (WASSERMAN; FAUST, 1994). Ou melhor, de todos os valores dos comprimentos dos caminhos mais curtos entre dois nós de certa rede, o diâmetro é o maior desses valores encontrados. Essa é uma medida

interessante porque quantifica o quão longe estão os dois vértices mais distantes dessa rede (WASSERMAN; FAUST, 1994).

1.1.6 - Coeficiente de clusterização

O coeficiente de clusterização é definido como a probabilidade de que as ligações existentes entre três vértices forme um triângulo. Em termos de Redes Sociais, considerando os vértices como atores, o coeficiente de clusterização mede a probabilidade de que dois atores que tenham um colaborador mútuo também sejam colaboradores um do outro (STROGATZ, 2001). Por medir a tendência de associação com apenas grupos pequenos, essa medida é considerada uma propriedade local (WATTS; STROGATZ, 1998).

Newman et al. (2001) definiram o coeficiente de clusterização *C* como:

$$C = \frac{3 \times N_{\Delta}}{N_3}$$

sendo N_{Δ}, o número de triângulos no grafo e N_3, o número de conexões existentes entre três vértices. A constante 3 presente no numerador da equação acima existe porque cada triângulo contribui para cada um dos três vértices considerados. Logo, devido a essa constante, o coeficiente de clusterização possui seu valor variando entre 0 e 1, sendo considerado mais agrupado quanto mais próximo for este valor de 1.

1.1.7 - Proximidade

Proximidade é uma medida de centralidade que considera o quão perto um vértice está dos demais em uma rede, isto é, um vértice é considerado central de acordo com essa medida se ele consegue interagir rapidamente com outros vértices (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Hakimi (1964) e Sabidussi (1966) desenvolveram essa propriedade ao quantificar a ideia de que vértices centrais são vértices próximos, afirmando que vértices centrais possuem pequenas distâncias ao se relacionar com os demais. Logo, a distância geodésica conectando eles em relação ao restante da rede será a menor possível. Com essa explicação, os pesquisadores começaram a equiparar a proximidade com a distância mínima. A ideia principal é que a centralidade é inversamente proporcional à distância, ou seja, quanto mais um vértice se afasta em termos de distância dos outros nós, mais a sua centralidade diminuirá, já que existirão mais arestas conectando esse vértice aos demais (WASSERMAN; FAUST, 1994).

1.1.8 - Intermediação

A intermediação também é uma medida de centralidade onde a ideia principal é que um vértice é central se esse se situa entre as distâncias geodésicas dos outros atores (WASSERMAN; FAUST, 1994). Isto é, a intermediação é definida pela frequência com a qual

um ponto se encontra no caminho mais curto que conecta um par de vértices dentro da rede em relação a todos os caminhos mais curtos existentes entre os pares de vértices, que seria a intermediação máxima que um vértice poderia possuir. Em termos de Redes Sociais, essa medida é útil para determinar o potencial que um ator possui de exercer o controle da comunicação entre os demais atores (FREEMAN, 1978).

2 - Topologia das Redes

2.1 - Modelos topológicos

Uma rede de transportes de ônibus (RTO) consiste em pontos de ônibus e suas rotas. Ela geralmente pode ser descrita por quatro modelos topológicos como L-*space*, P-*space*, C-*space* e B-*space* (VON FERBER et al., 2009), que são modelos bastante utilizados para análises de RTO.

2.1.1 - L-*space*

No modelo topológico L-*space*, os vértices da rede representam os pontos de ônibus. Uma aresta entre os vértices existe se esses vértices são adjacentes em uma dada sequência (VON FERBER et al., 2009). Nesse caso, a sequência é a ordem cronológica dos pontos em que um ônibus de certa rota irá parar.

Para um melhor entendimento dos diferentes modelos topológicos de rede, foi desenvolvido um exemplo. Foram consideradas três rotas de ônibus diferentes. A rota A passa pelos pontos 1, 2, 3, 4 e 5, nesta ordem. Já a rota B contém os pontos 2, 3, 5, 6, 7 e 8, também nessa sequência. Por último, a rota C utiliza os pontos 3, 4, 5, 8, 9 e 10. A partir destes dados criados foi produzida a rede L-*space* no formato NET. O desenho dessa rede encontra-se na Figura 2. Nessa figura é possível perceber que a rede é conexa. Isso ocorre porque algumas rotas possuem pontos em comum. Alguns desses vértices são facilmente identificados por possuírem grau maior do que dois, como é o caso do vértice 3, 5 e 8. Outros já são mais difíceis discernir por não ser possível verificá-los visualmente na rede, como os vértices 2 e 4, dado que cada um deles possui o mesmo antecessor e/ou sucessor em ambas as rotas que aparecem.

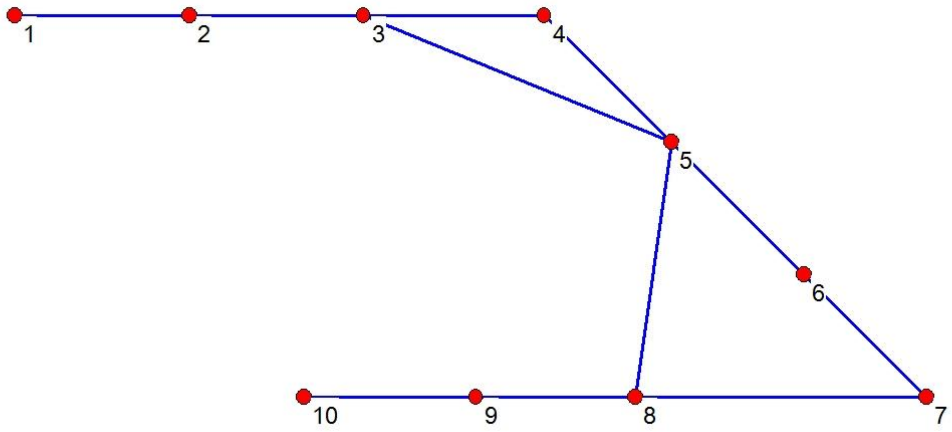


Figura 2 – Exemplo da rede L-*space*
Fonte: Elaboração própria

Apesar da vantagem na análise proporcionada por esse tipo de modelo topológico, o mesmo não pode ser utilizado neste trabalho, visto que de acordo com os arquivos utilizados para a geração das redes não é possível definir uma sequência única e correta dos pontos de ônibus em cada rota.

Ainda assim, quando for mencionada a rede L-*space* neste trabalho, a mesma será representada por *Ls*.

2.1.2 - B-*space*

O modelo topológico B-*space* é um tipo um pouco diferente dos demais por ser uma rede bipartida. Segundo Wasserman e Faust (1994), uma rede bipartida é definida como um grafo em que todos os vértices dessa rede podem ser divididos em dois subconjuntos, cada uma contendo uma partição dos vértices, sendo que todas as relações existentes entre os pares de vértices só existem se esses vértices pertencerem a partições diferentes, isto é, não é permitido que vértices do mesmo subconjunto possuam ligações entre si.

Nesse modelo topológico, as rotas e os pontos de ônibus são considerados como vértices, sendo cada considerado como uma partição. Cada vértice de rota é conectado a todos os vértices de pontos de ônibus pertencentes a ela. Como citado anteriormente, nenhuma aresta direta entre vértices do mesmo tipo (rota ou ponto de ônibus) acontece. Logicamente, na rede B-*space* os vizinhos de certo vértice de rota são todos os pontos de ônibus dessa mesma rota, enquanto os vizinhos de certo vértice de ponto de ônibus são todas as rotas em que ele se encontra (VON FERBER et al., 2009).

Foi desenvolvido o mesmo exemplo da seção anterior para a rede B-*space*. O desenho dessa rede encontra-se na Figura 3. Os vértices das rotas A, B e C possuem uma forma diferente dos vértices dos pontos de ônibus para uma melhor visualização da partição a que

cada pertence. Diferentemente do L-*space*, é possível verificar na imagem todos os pontos de ônibus que compõe cada rota e quais pontos pertencem a mais de uma rota. A partir disso já se confirma a importância desse modelo topológico.

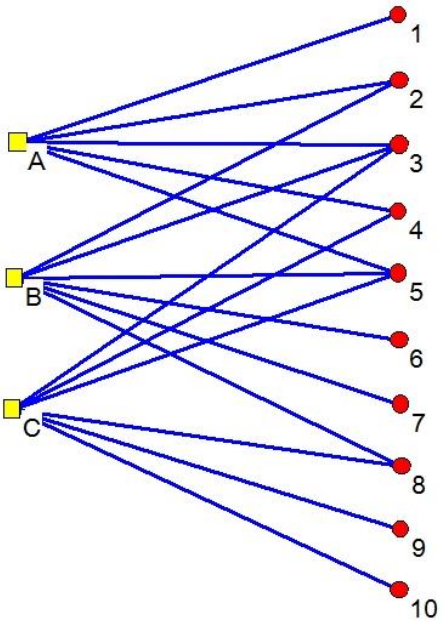


Figura 3 – Exemplo da rede B-*space*
Fonte: Elaboração própria

Para facilitar, quando for mencionada a rede B-*space* neste trabalho, a mesma será apontada como *Bs*.

2.1.3 - P-*space*

A rede P-*space* é uma das redes obtidas a partir da *Bs*, já que ela é a rede bipartida transformada somente para uma partição, nesse caso, para a partição dos pontos de ônibus. Nesse modelo topológico, os vértices representam os pontos de ônibus e uma aresta existe entre quaisquer dois pontos ao longo da mesma rota (VON FERBER et al., 2009).

O mesmo exemplo anterior foi realizado para o modelo topológico P-*space*, obtendo-se o desenho da Figura 4. Esse tipo de modelo é de difícil inferência visual, já que por conectar cada ponto de ônibus dentro de uma rota, a rede torna-se demasiadamente densa. Portanto, esse modelo ser analisado em algum programa próprio para isso, como por exemplo, o Pajek, utilizado neste trabalho.

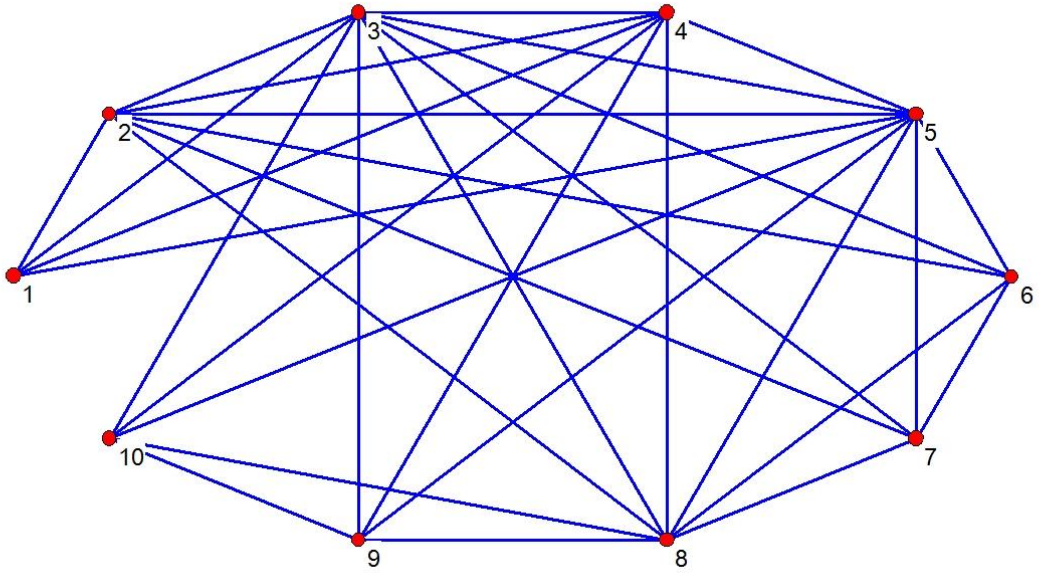


Figura 4 - Exemplo da rede P-*space*
Fonte: Elaboração própria

Para facilitar, quando for mencionada a rede P-*space* neste trabalho, a mesma será indicada como *Ps*.

2.1.4 - C-*space*

O modelo topológico C-*space* é a outra rede obtida a partir do *Bs*, com base na partição das rotas. Ele contém vértices de rota e esses vértices estão conectados se possuírem um ponto de ônibus em comum (VON FERBER et al., 2009).

Da mesma forma, foi criada a rede C-*space* para o exemplo anterior, sendo essa apresentada na Figura 5. Somente visualizando a rede, para esse exemplo, é possível verificar que todas as rotas possuem pontos de ônibus em comum. Logo, esse modelo topológico é bastante útil para checar, a partir de certa rota, para quais outras rotas é permitido ir. Outra função principal do C-*space* é mostrar a semelhança entre as linhas de ônibus. Porém, esse grafo não possibilita saber quais são os exatos pontos de ônibus que duas rotas quaisquer possuem em comum e, menos ainda, saber a quantidade desses pontos.

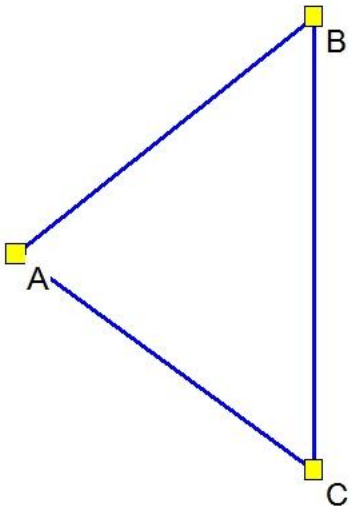


Figura 5 – Exemplo da rede C-*space*
Fonte: Elaboração própria

Neste trabalho, sugeriu-se uma modificação da rede C-*space*, de acordo com a quantidade de pontos de ônibus que as linhas possuíam em comum. Ou seja, foram criadas novas redes C-*space*, removendo-se suas arestas quando estas possuíam valores inferiores a certo número de pontos de ônibus em comum. Portanto, a rede C-*space* foi definida como Cs^n, sendo n igual ao número mínimo de pontos de ônibus em comum que as linhas possuem. Além disso, a rede *Cs* original, que é a rede Cs^1, foi considerada como *Cs* neste trabalho. O desenvolvimento da rede Cs^n será melhor explicado na seção 5.1, onde será detalhada a metodologia utilizada.

Resumidamente, *Ls* é uma rede de pontos de ônibus ligados se uma linha liga um ponto a outro, *Bs* é uma rede bipartida de pontos e linhas, *Ps* é uma rede de pontos que compartilham linhas e *Cs* é uma rede de linhas que compartilham pontos.

Sobre os modelos topológicos utilizados neste trabalho – *Bs*, *Ps* e *Cs* –, a Figura 6 apresenta uma ilustração conjunta desses modelos. Nessa figura, os ônibus representam as linhas e os pontos na parte inferior da imagem representam os pontos de ônibus. Como se verifica pela imagem, a rede *Cs* conecta apenas linhas (em rosa), já a rede *Bs* liga pontos de ônibus a linhas (em verde) e a rede *Ps* conecta apenas pontos de ônibus (em azul).

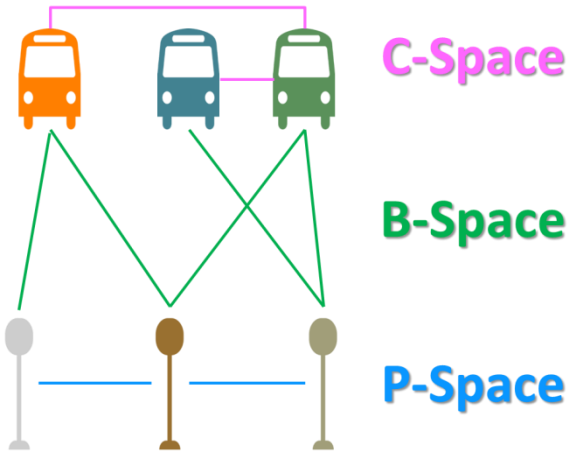


Figura 6 – Ilustração das redes *Cs*, *Bs* e *Ps*
Fonte: Elaboração própria

Para uma melhor visualização do que representa cada rede no sistema de ônibus real da cidade, foram desenvolvidas algumas figuras. A Figura 7 e a Figura 8 mostram exemplos de pontos de ônibus e de linhas em uma parte do mapa do Rio de Janeiro de acordo com imagens de satélites. Já a Figura 9, a Figura 10 e a Figura 11 exibem a conexão desses pontos e linhas de ônibus de acordo com cada modelo topológico utilizado, sendo eles, o *Bs*, *Ps* e *Cs*, respectivamente.



Figura 7 – Exemplo de pontos de ônibus em imagem por satélite
Fonte: Dados do Google Earth (2017)



Figura 8 – Exemplo de linhas de ônibus em imagem por satélite
Fonte: Dados do Google Earth (2017)



Figura 9 – Exemplo da rede *Bs* em imagem por satélite
Fonte: Dados do Google Earth (2017)



Figura 10 – Exemplo da rede *Ps* em imagem por satélite
Fonte: Dados do Google Earth (2017)

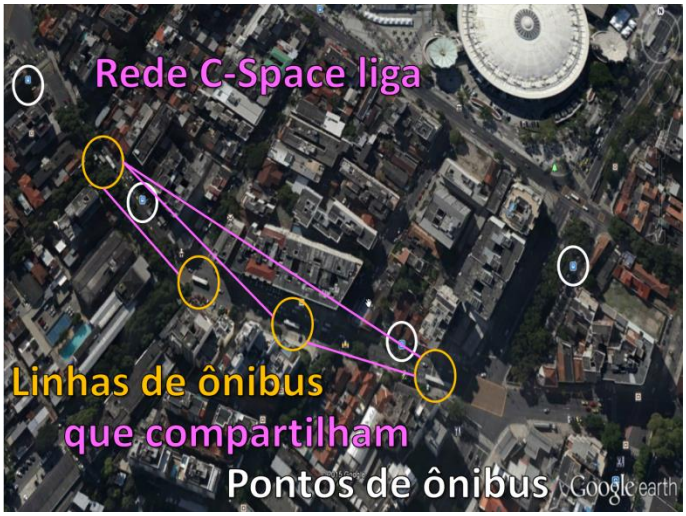


Figura 11 – Exemplo da rede *Cs* em imagem por satélite
Fonte: Dados do Google Earth (2017)

2.2 - Contexto

Alguns pesquisadores estudaram características da topologia de redes de transportes públicos (RTP) utilizando a teoria de Redes Sociais. Sen et al. (2003) investigaram as propriedades estruturais da rede ferroviária indiana, para verificar se, de maneira geral, essa rede também se comportava como a maioria das redes sociais. Para isso, as estações ferroviárias foram consideradas como vértices e existia uma ligação entre um par de estações quaisquer se pelo menos um trem parasse em ambas as estações. Com isso, os autores verificaram que essa rede se comportava como uma rede de mundo pequeno. Esse estudo foi considerado um diferencial para a aplicação dos conceitos de Redes Sociais a redes de transporte público.

Porém, somente em 2009, von Ferber et al. publicaram o artigo "*Public transport networks: empirical analysis and modeling*", onde estabeleceram quatro principais modelos topológicos de grande utilidade para a análise de RTP, sendo eles, Ls, Ps, Bs e Cs, já explicados anteriormente. Nesse artigo, os autores analisaram a RTP de quatorze cidades – Berlim, Dallas, Düsseldorf, Hamburgo, Hong Kong, Istambul, Londres, Los Angeles, Moscou, Paris, Roma, São Paulo, Sidney e Taipé. As RTP analisadas variaram de acordo com a cidade, porém, de um modo geral, foram considerados os seguintes tipos de modais: ônibus, ônibus elétrico, barca, metrô, veículo leve sobre trilhos (VLT) e trem. Para as diferentes redes geradas foram investigadas algumas propriedades das mesmas, como grau médio dos vértices, distância média e máxima, a medida de centralidade de intermediação e o coeficiente de clusterização. Segundo os autores, esse trabalho foi conduzido por dois objetivos principais para a análise de RTP. O primeiro foi a apresentação de algumas propriedades para as redes das cidades que possuíam um tamanho de rede até então inexplorado. O segundo foi o desenvolvimento de modelos topológicos que possibilitassem, de uma forma simplificada, a obtenção dessas propriedades. Após a publicação desse artigo, os modelos topológicos desenvolvidos passaram a ser estudados por diversos autores e aplicados em diferentes modalidades do transporte público. Os principais trabalhos encontrados a respeito desse tema a partir de 2010 situam-se descritos sucintamente a seguir. Esses trabalhos foram pesquisados nas bases de dados *Scopus* e *Science Direct*, utilizando as palavras-chave contidas no Apêndice A.

Em 2010, Yu et al. aplicaram os modelos topológicos *Ls* e *Ps* à rede de ônibus da cidade de Nanquim, na China. Para a análise dessas redes os autores utilizaram as propriedades de grau, distância média e coeficiente de clusterização. No mesmo ano, Zou et al. analisou a malha ferroviária da região central da China em conjunto com a rede de ônibus das cidades de Pequim, Hangzhou e Yangzhou, também na China. Para isso, eles compararam as propriedades de grau e coeficiente de clusterização nos métodos *Ps* e *Ls*. O objetivo principal dos autores era verificar se uma estação central do *Ls* também seria central no *Ps*, assim como se uma estação remota em um também seria remota em outro. Similarmente, os autores tiveram por propósito constatar se existiria uma relação entre os coeficientes de clusterização, averiguando se uma estação em uma região mais densa do *Ls* também estaria em uma parte mais densa do *Ps*.

Wang e Yang (2011) focaram na rede de transporte de ônibus da cidade de Hangzhou, China, encontrando rotas de transferência de um ponto de ônibus para outro. Para isso, propuseram um novo método inserindo diversos pesos nas arestas das redes. Todo esse processo foi realizado com base nos modelos topológicos *Ls* e *Ps*. Barberillo e Saldaña (2011) compararam a rede de metrô de quatro cidades – Nova Iorque, Paris, Barcelona e Moscou – para investigar o que faz com que seja difícil a navegação por essas redes. Os autores

utilizaram a estrutura do *Ls* e do *Ps* para realizar essa análise, explorando as propriedades de grau, coeficiente de clusterização e distância. Yu, Ma e Zhang (2011) continuaram o estudo iniciado em 2010 sobre a cidade de Nanquim, China. Além da rede de transporte de ônibus já analisada em 2010, foi inserida a rede de metrô nesse novo artigo, tornando o estudo do transporte público dessa cidade mais completo. Foram utilizados, novamente, os modelos topológicos *Ls* e *Ps*. A finalidade principal desse novo artigo era checar se a inserção do sistema de metrô da cidade possibilitaria um aumento na acessibilidade à rede de transporte público urbano.

Em 2012, Yang et al. analisaram a evolução dinâmica da propagação de uma epidemia através da rede de ônibus. Para averiguar a propagação da epidemia, considerou-se a rede de ônibus das três maiores cidades da China – Pequim, Xangai e Hangzhou. Dentre outros métodos, os autores utilizaram a propriedade de densidade do *Ps*. Ainda nesse ano, Qiao, Zhao e Yao compararam, utilizando o modelo topológico *Ls*, a estrutura da rede de trem planejada com a que estava em operação na cidade de Pequim, China. Foram analisadas as propriedades de grau, distância média, coeficiente de clusterização e intermediação. O objetivo principal desse artigo foi comparar os valores das propriedades obtidas para verificar se a conectividade e a eficiência aumentaram ou diminuiu da rede planejada para a rede operacional. Também foi apurada a influência da falha de uma estação e da linha em cada rede.

No ano de 2013, Liu e Tan realizaram um estudo de caso da rede de metrô da cidade de Wuhan, China. Esse artigo teve a finalidade de investigar a estabilidade da rede em condições de falha, com base nos modelos topológicos *Ls* e *Ps*. As propriedades analisadas foram grau, coeficiente de clusterização e distância. Zhang et al. (2013c) examinaram a rede de ônibus da cidade de Tai'an, na província de Shandong, na China. Os autores utilizaram uma nova topologia para a análise da rede, comparando com os modelos *Ps*, *Ls* e *Cs*. Diferentemente dos outros estudos realizados na China até então, Xu et al. (2013) inovaram ao explorar a rede de ônibus de trezentos e trinta cidades da China utilizando o *Ps*, ao invés de se limitarem somente as maiores cidades chinesas, como fizera a maioria dos autores. Dispondo da distribuição de graus da rede, os autores puderam observar que uma rede grande como essa foi randomicamente conectada, ao invés de ordenadamente anexada.

Ainda em 2013, Zhang et al. (2013a) realizaram um estudo de caso da rede de ônibus da cidade de Pequim, China, para que pudessem entender melhor as propriedades da rede de ônibus de uma cidade com milhões habitantes. Segundo os autores, na época da publicação dos artigos, Pequim possuía 722 linhas de ônibus e 5421 pontos de ônibus, o que já mostra a importância do referente artigo para a área estudada. Eles utilizaram o modelo topológico *Ls* para identificar o grau dos vértices e, com isso, verificar se a sua distribuição está uniformemente difundida entre os vértices e para checar os agrupamentos formados de acordo

com o coeficiente de clusterização. Também foi utilizado o modelo *Ps* para analisar a transferência entre as rotas, aplicando a propriedade de distância para isso.

Guo et al. (2013) pesquisaram a rede de ônibus de quatro cidades chinesas – Pequim, Wuhan, Tianjin e Taiyuan – por meio do modelo topológico *Ls*. Esse artigo difere-se dos demais da área por analisar a rede considerando a localização geográfica dos pontos de ônibus. Ademais, os autores atribuíram pesos nas arestas, que foram definidos como a quantidade de rotas de ônibus que passam pelo ponto de ônibus correspondente. Com isso, analisaram-se a densidade e a distribuição dos pesos dos vértices para que fosse obtida a atividade humana por meio do fluxo de migração das cidades.

Em 2014, Zhang, Zhang e Qiao aplicaram o *Ls* e o *Ps* à rede de metrô da cidade de Guangzhou, na China, para analisar essa rede por meio de propriedades como grau, distribuição de graus, coeficiente de clusterização e distância. Yang et al. (2014) analisaram as redes de ônibus de três cidades chinesas – Pequim, Xangai e Hangzhou – utilizando um modelo desenvolvido por eles a partir do *Ls* e *Ps*, comparando entre si as propriedades das três redes.

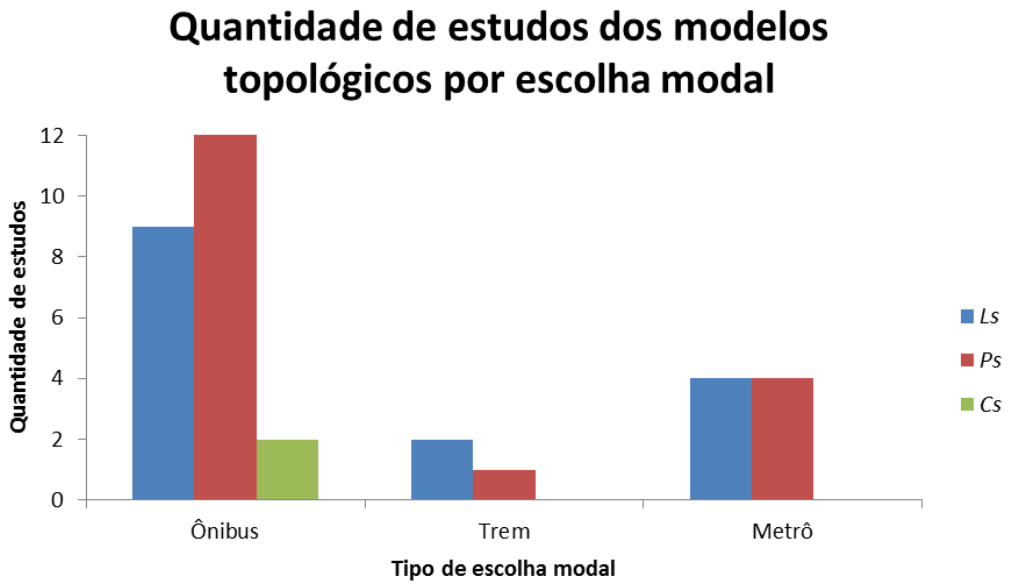
Zhang et al. (2015) averiguaram as redes de ônibus de quatro cidades de médio porte na China – Baoding, Jinan, Shijiazhuang e Suzhou – com a utilização do *Ps*. O artigo teve por finalidade a remoção e adição de linhas para checar quais possuíam uma maior influência no tempo de transferência entre as rotas. Para a adição dessas linhas foram propostos quatro métodos diferentes (escolha aleatória, maior tempo de transferência, maior grau e menor grau) e testados a fim de avaliar qual gerava o melhor efeito em comparação com os demais. An, Zhang, Zhang (2015) estudaram a junção para a transferência de rotas de ônibus. Eles estabeleceram um novo método, atribuindo pesos a rede, com base no *Ls*, *Ps* e *Cs*.

Em 2016, Feng et al. propuseram um novo modelo topológico baseado no *Ps*, ao analisar a rede de ônibus da cidade de Harbin, na China. A finalidade do trabalho era comparar as redes contendo a rota de ida do ônibus com a sua volta.

No Apêndice B encontra-se uma tabela contendo um resumo dos estudos citados anteriormente, apresentando o ano em que tal estudo foi desenvolvido, o modelo topológico utilizado e em qual escolha modal o mesmo foi aplicado.

Esses dados também são apresentados no Gráfico 1 e Gráfico 2. O Gráfico 1 mostra que os estudos sobre as redes de ônibus são bem maiores que os demais modais. Isso ocorre, provavelmente, pela ampla utilização do ônibus como meio de transporte nas cidades, tornando o estudo aprofundado desse tema uma importante questão para um melhor desenvolvimento da sociedade. Além disso, esse é um sistema de baixo custo de implantação e, por isso, atende a cidades de pequeno à grande porte.

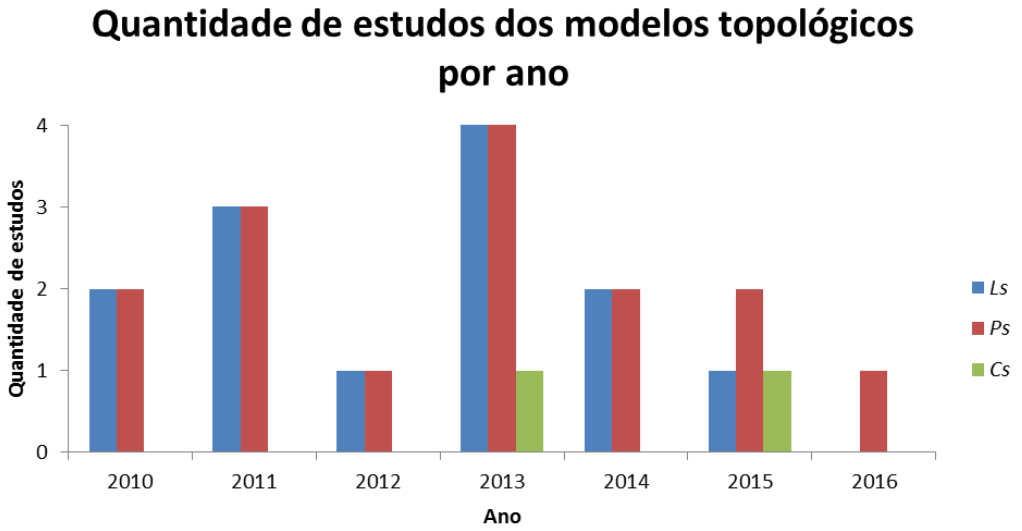
Gráfico 1 – Quantidade de estudos dos modelos topológicos por escolha modal



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 2 apresenta a quantidade de estudos realizados com os modelos topológicos por ano, desde 2010. Pela imagem é possível perceber que os modelos *Ls* e *Ps* foram os mais utilizados ao longo dos anos, e que trabalhos utilizando o modelo *Cs* surgiram depois, somente em 2013, sendo esses em menor quantidade que os demais. Além disso, a utilização do modelo *Ls* está decrescendo nos últimos anos. Este processo vem ocorrendo, supostamente, devido à tendência natural de se propor novas ideias nos artigos, tentando ao máximo analisar redes por ângulos diferentes para que se possam observar novos resultados e realizar novas inferências.

Gráfico 2 – Quantidade de estudos dos modelos topológicos por ano



Fonte: Elaboração própria

Outra questão interessante desta revisão literária foi a verificação de diversos estudos de RTP sobre cidades chinesas. Considerando que a China possui cerca de 1,37 bilhões de habitantes e que essas pessoas precisam se deslocar todos os dias, é evidente que seja necessário um estudo maior sobre RTP, a fim de que se obtenha a melhor forma de realizar esse deslocamento, com o menor transtorno possível para a população.

3 - Planejamento do Transporte Público

A mobilidade dentro de uma cidade é fundamental para o funcionamento da mesma. O transporte é considerado como a “força vital de cidades”, pois fornece o elo entre as atividades, colaborando, no longo prazo, para moldar a estrutura da cidade (SALIARA, 2014).

O setor de transportes é um dos principais utilizadores de energia fóssil, que provoca a poluição do ar e também contribui para o aquecimento global. Os impactos negativos, tanto sociais quanto ambientais, causados pelo transporte impõem grandes custos para a sociedade. Estima-se que os custos relacionados à poluição do ar, ruído e acidentes representam pelo menos 5% do PIB nos países industrializados. Portanto, devido aos significantes impactos ambientais, sociais e econômicos, o setor de transporte é um elemento essencial para a sustentabilidade urbana (REISI et al., 2016).

A população das cidades tem aumentado cada vez mais. Isso faz com a demanda por transporte para a locomoção das pessoas que nelas vivem também aumente, gerando tráfegos cada vez mais intensos nas vias, que, por sua vez, ocasionam mais problemas como congestionamentos, poluição sonora e do ar e acidentes, especialmente nos centros urbanos, onde o nível de atividades humanas é elevado. Uma crescente população também ocasiona um aumento no valor imobiliário dos centros urbanos, fazendo com que pessoas passem a morar em novas cidades ou nos subúrbios, o que exige novas infraestruturas de transporte para servir as novas cidades ou melhoria das estruturas de transporte existentes para lidar com o aumento da população nos subúrbios (FARAHANI et al., 2013).

O carro privado ainda é a escolha modal de transporte mais utilizada, já que atende as crescentes necessidades de individualidade, independência e flexibilidade, nas áreas de atividades profissionais e de lazer. E seu uso ainda está aumentando cada vez mais devido a suburbanização, crescendo, assim, as inter-relações dentro da região metropolitana, resultando em um aumento do tráfego e do uso do carro (SCHUPPAN et al., 2014).

Como consequência, o tráfego de automóveis afeta o ambiente natural e social devido ao risco de acidentes na via, corte de paisagens, emissões de ruído, poluição do ar, grande consumo de energia e contribuição para alterações climáticas. Em geral, as cidades sofrem bastante com os efeitos que o alto uso do carro implica, como por exemplo, o congestionamento e a falta de locais para estacionar. Assim, estratégias vêm sendo utilizadas para diminuir o uso dos automóveis nos centros urbanos e para apoiar modais de transporte alternativos (SCHUPPAN et al., 2014).

Cada vez mais cidades tem se esforçado para desenvolver e implementar estratégias para reduzir o uso de automóveis. A gestão da demanda dos deslocamentos tem como alvo uma mudança de comportamento, que pode ser restringindo ou desativando o comportamento

habitual (“*push-measures*”) ou atraindo uma mudança dando incentivos e informações (“*pull-measures*”) (SCHUPPAN et al., 2014).

Todos os fatores citados acima demonstram a importância do investimento em transporte público, pois o transporte público é considerado um pilar essencial para o desenvolvimento urbano sustentável, já que ele propicia deslocamentos mais eficientes pela cidade (IBARRA-ROJAS et al., 2015). Além disso, o transporte público pode reduzir o uso dos automóveis privados e o consumo de combustível e aliviar o congestionamento do tráfego. Portanto, o planejamento do transporte público, principalmente o transporte de ônibus, tem recebido mais atenção em muitas partes do mundo, pois constantemente passageiros precisam fazer escolhas relativas ao seu modo de transporte baseado em restrições como tempo de chegada ao destino, entre outros (ZHOU et al., 2016).

Recentemente, pesquisas sobre a previsão do tempo de chegada do ônibus tem atraído atenção das agências de trânsito e dos pesquisadores. No entanto, os passageiros de ônibus também se importam bastante com a lotação do ônibus. Ônibus excessivamente cheios podem afastar potenciais passageiros, tornando-os relutantes em pegar ônibus novamente. Logo, o equilíbrio entre as demandas dos passageiros e os interesses das agências de ônibus é fundamental para maximizar o lucro. Uma falta de equilíbrio pode levar a um dos dois cenários: (1) excesso de veículos vagos e menor confiabilidade do passageiro ou (2) maior tempo de espera dos passageiros e ônibus excessivamente cheios (ZHOU et al., 2016).

A previsão da demanda de passageiros de maneira confiável e em tempo real pode ajudar a determinar o intervalo entre os ônibus e a redução do tempo de espera dos passageiros. Entretanto, devido ao número de variáveis que influenciam essa demanda, sua previsão pode ser complicada, especialmente devido a sua não homogeneidade, picos sazonais e outras periodicidades. A demanda dos passageiros por transporte de ônibus variam significantemente em diferentes momentos do dia, diferentes dias da semana e, até mesmo, em diferentes épocas do ano (ZHOU et al., 2016).

Por isso, vários pesquisadores vêm estudando o planejamento de transporte público nas cidades. Alguns pesquisadores focaram seus estudos em uma visão mais macro do planejamento, como pesquisas contendo variáveis que influenciam no bom funcionamento da RTP, já outros focaram seus trabalhos no design das rotas de trânsito, a primeira e mais complexa fase do planejamento do transporte público.

Em 2007, os autores Desaulniers e Hickman publicaram um livro chamado “*Public Transit*” em que afirmaram que problemas de redes de transportes públicos são grandes e complexos e, por isso, devem ser divididos em subproblemas, dispersos em níveis estratégico, tático e operacional. No nível estratégico, é onde se concentra os problemas relacionados à concepção de rotas e redes de trânsito, visando maximizar a qualidade do serviço sob restrições orçamentárias. Os subproblemas do nível tático dizem respeito às decisões

relacionadas com o serviço oferecido ao público, ou seja, a frequência e o cronograma de horários de cada rota. Já no nível operacional, os subproblemas são relacionados à forma como as operações devem ser realizadas para oferecer o serviço proposto a um custo mínimo. Eles incluem uma ampla variedade de questões, como programação de veículos, programação da tripulação, estacionamento para ônibus e agendamento da manutenção. Em contraste com os objetivos dos problemas anteriores, o objetivo dos subproblemas do nível operacional é simplesmente o de minimizar o custo total.

Da mesma forma, Farahani et al. (2013) e Ibarra-Rojas et al. (2015) realizaram revisões de literatura sobre os problemas relacionados ao desenho da rede de transporte público, onde também dividiram esses problemas em estratégico, tático e operacional, de acordo com a hierarquia existente no processo da tomada de decisão.

Com uma abordagem parecida, Imran e Matthews (2015) afirmaram que transporte público de boa qualidade possui potencial para mitigar problemas sociais, econômicos e ambientais causados pelo uso de veículos privados nas áreas urbanas e que para alcançar isso é necessário considerar alguns fatores, que podem ser divididos em fatores de longo e curto prazo. Os fatores considerados de longo prazo são: características físicas, sociais e econômicas de uma cidade, seu povo, sistema político e arranjos institucionais. Já os fatores de curto prazo incluem as correções do serviço de transporte já existente, isto é, questões relacionadas à frequência, confiabilidade, transferências, tarifas, dentre outros.

Daganzo (2010) analisou a estrutura dos sistemas de transporte público, de modo que essa proporcione um nível de acessibilidade que possa competir com o automóvel. A RTP deve prestar um bom serviço entre cada par de pontos na cidade durante todo o dia, além de ser facilmente compreendida pelo público. Somente dessa forma, é possível incentivar os usuários de automóveis a deixarem seus carros em casa quando seus planos diários incluem cadeias de viagens complexas com ligações improvisadas e não rotineiras. Ele afirma que para atingir esses padrões é preciso cumprir alguns critérios:

- abranger uniformemente a região de serviço no espaço e no tempo, com paradas bem espaçadas e serviço confiável frequente;
- possuir uma boa cobertura espacial, limitando o tempo de caminhada de/para cada ponto dentro da região do serviço e proporcionando tempo de espera e tempo de transferência razoáveis. Ademais, a cobertura deve ser densa o suficiente para assegurar que a soma de todos esses tempos quando comparado à soma dos tempos que um usuário de automóvel gasta andando de/para seus carros, procurando local para estacionar, dentre outros, não seja superior a cerca de dez minutos;
- ter uma estrutura que permita que o tempo de viagem dentro do veículo de transporte público seja competitivo em relação ao tempo gasto pelo automóvel;

- possuir um custo competitivo e confiável.

Segundo o autor, se todos esses critérios forem cumpridos, o transporte público pode se tornar uma alternativa viável em relação ao automóvel.

Saliara (2014) destacou a importância da integração intermodal. Transferências são inevitáveis, já que é inviável fornecer um serviço direto entre todos os pontos. Para minimizar a interrupção das transferências, a integração intermodal visa coordenar e promover serviços suaves e de alta qualidade. Ela é necessária quando existem várias transferências e a existência de mais de uma modalidade e/ou ligação possível, permitindo uma melhor coordenação, cooperação e interação entre o sistema de transporte público, garantindo a imagem de um sistema unificado. A integração do transporte público pode ser dividida em três níveis: organizacional, operacional e integração física. A integração organizacional deve considerar a existência de uma autoridade independente para a coordenação das funções e para a cooperação dos operadores, incluindo os acordos entre eles. A integração operacional contempla o layout da rede, horários, transferências, informações, tarifas e bilhetes. Enquanto a integração física analisa o acesso e a localização das instalações, o design dos pontos e o controle dos movimentos dos veículos.

Hu et al. (2016) desenvolveu e aplicou um modelo que relaciona o número de passageiros e o uso da terra em determinada área de Cingapura. Por um lado, as características e os designs do uso da terra têm sido utilizados para construir redes de transporte, já que as particularidades do uso da terra impõem restrições espaciais específicas. Por outro lado, a demanda por transporte dentro de uma área influencia o preço da terra e a distribuição das conveniências propiciadas pela inclusão do transporte na região, que, então, afeta a evolução futura do design do uso da terra. Em termos do planejamento e do desenho do uso da terra, as implicações possuem duas vertentes: (1) tomar medidas para um mapeamento mais estratégico dos setores do uso da terra para determinada região e (2) tomar medidas para um mapeamento mais tático das localizações das conveniências proporcionadas pelo transporte na área. Isso permite a utilização do modelo para o desenvolvimento urbano ou para o redesenho de um já existente.

Le Pira et al. (2016) propuseram uma abordagem diferente sobre o transporte público, focando seu estudo nas partes interessadas no planejamento do transporte público. O planejamento do transporte exige uma participação direta e contínua do público e das partes interessadas (*stakeholders*), dada a natureza das decisões, geralmente complexas, e o impacto que essas decisões podem ter sobre a sociedade. Existem diferentes tipos de atores envolvidos, como por exemplo, cidadãos, governantes, instituições públicas, comunidades locais, organizações governamentais, ONGs, operadores de transporte público, setor privado e terceiro setor. Esses atores podem ser divididos em três categorias (Figura 12): especialistas (ou seja, profissional técnico), partes interessadas (por exemplo, instituições, grupos,

associações ambientais, empresas de transportes) e cidadãos. Os especialistas possuem alta competência e baixo interesse, enquanto as partes interessadas têm competência e alto interesse. Já os cidadãos possuem baixa competência, mas atuam no interesse público. Todas as categorias estão incluídas no processo de engajamento e estão diretamente relacionados com os tomadores de decisão.



Figura 12 – Pirâmide do engajamento das decisões sobre transporte público
Fonte: Adaptado de Le Pira et al. (2016)

Também foram verificados alguns estudos de caso sobre RTP de algumas cidades. Aljoufie (2016) realizou um estudo de caso para explorar a preferência e prioridade das pessoas sobre o sistema de planejamento do transporte público em Jeddah, Arábia Saudita, uma cidade que contém características socioeconômicas, religiosas e culturais únicas, além de ser altamente dependente de carro. Já Solecka e Zak (2014) aplicaram modelos de simulação para desenvolver soluções para a integração do sistema de transporte público na cidade de Cracow, Polônia. Reisi et al. (2016) explorou três cenários de planejamento urbano para Melbourne, Austrália, em 2030 e suas implicações para a sustentabilidade dos transportes. O primeiro cenário avaliado foi baseado nos planos governamentais para a cidade; o segundo considerou que a cidade seria mais compacta futuramente, com novos centros de atividade próximos às infraestruturas já existentes; o terceiro considerou que a cidade em questão seria mais descentralizada, com uma expansão espacial, criando subúrbios. Os autores concluíram que o desenvolvimento compacto em centros projetados, o controle da expansão urbana e o fornecimento de transporte público adequado permitem uma mobilidade mais sustentável.

Outro tema muito abordado nos estudos foi o design das redes de transporte, a primeira e mais complexa fase do planejamento do transporte público, onde as rotas e os pontos de parada são definidos. Essa fase é apresentada em maior detalhe na seção seguinte.

Guihaire e Hao (2008) analisaram este tema por meio de uma extensa revisão de literatura, reunindo sessenta e nove trabalhos e destacando seus principais pontos e

tendências futuras. Com base nessa pesquisa, os autores sugeriram que fosse dada mais atenção a trabalhos envolvendo subproblemas específicos, sendo esses: gerenciamento da sincronização dos veículos, intermodalidade e transporte intermunicipal. Kepaptsoglou e Karlaftis (2009) também realizaram uma revisão de literatura sobre o tema, utilizando sessenta estudos para essa análise. Eles sugerem que, além da análise das redes em si, também sejam examinados as políticas de transferências e itens relacionados ao comportamento dos passageiros, como tempo de espera e distância caminhada, já que não existiam muitos estudos voltados para esses assuntos.

Lee e Vuchic (2005) realizaram uma abordagem mais matemática, propondo um processo iterativo que procurava melhorar uma rede de transporte por meio do realinhamento das rotas e da eliminação das rotas menos eficientes, considerando a transferência entre modais. Essa rede de transporte foi construída a partir de um conjunto inicial de rotas compostas pelos caminhos mais curtos para todos os pares de origem-destino.

Utilizando dados da cidade de Dalian, China, Yu et al. (2012) também focaram mais na parte matemática do tema, propondo um modelo que visava maximizar a densidade da demanda da rota sob algumas restrições de recurso, dividindo o problema do design das redes de trânsito em três fases: design do esqueleto da rota, design da rota principal e design das ramificações da rota.

Cipriani, Gori e Petrelli (2012) realizaram um estudo de caso para a cidade de Roma, Itália, construindo uma rede de transporte multimodal ótima (ou quase ótima) por meio de modelos matemáticos a fim de minimizar uma função objetiva que representa os custos totais envolvidos com o sistema de transporte público.

Bagloee e Ceder (2011) elaboraram uma metodologia para o design das redes de transporte rodoviário de tamanho real. Para isso, eles dividiram a reestruturação das rotas de transporte público em duas abordagens: (1) no nível da rota ou de um pequeno grupo de rotas e (2) no nível da rede. Na primeira abordagem, a reestruturação adequada envolve os processos de simplificar rotas, acomodar novos padrões de viagem, facilitar ou eliminar as transferências, reduzir os circuitos da rota ou alterar a configuração do percurso. Já na segunda abordagem, uma reestruturação adequada envolve as fases do planejamento de transporte (mais detalhadas na seção seguinte): design da rede de transporte, desenvolvimento do cronograma de horário dos veículos, programação dos veículos e programação da tripulação, especialmente a primeira, que representa o planejamento estratégico do transporte público. Os autores ressaltam que as funções objetivo da fase do design da rede de transporte envolvem as seguintes considerações: custo do operador, tamanho da frota, tempo de espera dos passageiros, tempo de viagem, número de transferências conhecidas, número de viagens diretas, tempo de transferência e lucro. Essas variáveis mostram que as perspectivas do usuário e da agência são comumente usadas no

design das redes de transporte, pois os usuários buscam um melhor nível de serviço e a agência precisa fornecer o serviço pelo menor custo possível, sendo necessária uma constante busca pelo equilíbrio. No entanto, na prática, a autoridade local (governo) é restringida por um orçamento limitado que nem sempre permite a implementação de um projeto de rede de transporte ótimo. Assim, além das variáveis citadas acima, os autores também consideraram esse orçamento limitado no processo do design das redes de transporte.

3.1 - Fases do planejamento do transporte público

Geralmente, o processo de planejamento de transporte é composto de quatro atividades básicas: design da rede de transporte, configuração das frequências da rede, desenvolvimento do cronograma de horários, programação de veículos e programação da tripulação.

As atividades devem ser realizadas, preferencialmente, de forma simultânea, já que a decisão tomada em uma delas trará algum efeito para as demais. Esse processo de planejamento pode ser extremamente trabalhoso e complexo, especialmente para frotas com um tamanho de médio a grande porte. Por isso, inúmeros programas de computador vêm se desenvolvendo para a automação, ainda que parcial, do tratamento quantitativo das atividades (CEDER, 2007).

De um modo geral, este processo de planejamento pode ser aplicado aos seguintes modais de operações de trânsito: linha aérea, barcas, trens e metrô e ônibus (CEDER, 2007). Porém, como o foco deste trabalho é o transporte de ônibus, as fases serão descritas de acordo com essa escolha modal, já que pequenos detalhes sobre cada fase podem variar de acordo com a divisão modal utilizada.

3.1.1 - Design da rede de transporte

Essa é a primeira fase do planejamento de transporte público. Nessa fase, a rede do transporte público é desenhada, sendo que é possível realizar o planejamento de transportes futuro ou realizar a manutenção dos já existentes. Para isso, são geradas todas as rotas viáveis, incluindo os pontos de transferências que conectam cada rota. Depois, são criados subconjuntos menores desta rede gerada, mantendo sempre a conectividade da rede. Para cada um desses subconjuntos é calculada a demanda de transporte com base na frequência adequada de cada rota. Após essa etapa, são calculados os parâmetros de otimização para cada subconjunto. Geralmente, essa etapa é realizada por meio de ferramentas e métodos estatísticos. Com base no padrão de otimização desejado pelo utilizador, é possível selecionar o subconjunto mais adequado (CEDER, 2007).

A Figura 13 reitera o que foi explicado acima. Nela, observa-se que as atividades de planejamento desta fase são a elaboração das rotas e dos pontos de parada e a determinação

de pontos de transferência e pontos terminais, a partir das características de uso do solo, restrições das autoridades e demanda atual de passageiros por horário do dia e dia da semana.

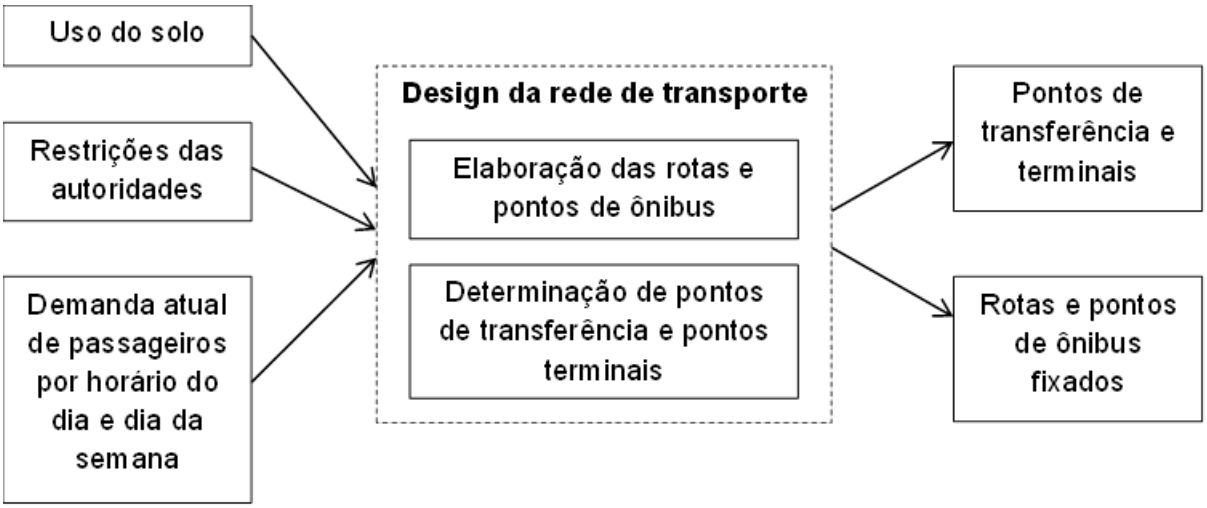


Figura 13 – Fluxograma do design da rede de transporte
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

Além disso, para o bom funcionamento desta fase, é preciso conciliar os interesses dos passageiros, da agência e da sociedade, examinando a RTP por essas três perspectivas. Para isso, quatros critérios devem ser considerados: (1) tempo mínimo de espera dos passageiros, (2) tempo mínimo de assentos/espaços vagos, (3) tempo mínimo de diferença para o caminho mais curto e (4) tamanho mínimo da frota. Os três primeiros critérios são medidos em passageiros-hora, já o último em número de veículos. O critério (1) representa a perspectiva dos passageiros, o critério (2) e (4), a perspectiva da agência e o critério (3), a perspectiva dos passageiros e da sociedade (CEDER, 2007).

3.1.2 - Desenvolvimento do cronograma de horário dos veículos

Nesta fase, ocorre o estabelecimento dos horários e as frequências alternativas de funcionamento. O objetivo da determinação dos horários é atender a demanda geral do transporte público. Essa demanda varia de acordo com a hora do dia, com o dia da semana, com a estação e, até mesmo, de um ano para o outro, pois ela reflete as necessidades de transporte da população, envolvendo fatores profissionais, industriais, culturais, educacionais, sociais e de lazer. Portanto, o propósito desta atividade é definir horários alternativos para cada rota de transporte a fim de atender às variações na demanda do público. Isso é feito com base na contagem de passageiros, observando também as restrições das frequências do serviço de transporte (CEDER, 2007).

Como apresentado na Figura 14, na fase do desenvolvimento dos horários deve-se

analisar as frequências e os intervalos mínimos entre os veículos de um sistema de transporte, para então, analisar e construir horários alternativos. Isso deve ser realizado a partir das seguintes variáveis: rotas e pontos de ônibus estabelecidos na fase anterior, demanda atual de passageiros por horário do dia e dia da semana, padrões de serviço, horário da primeira e da última viagem, tempo entre paradas e medidas de comparação. Com isso, espera-se obter configurações alternativas de frequências e de intervalos mínimos entre veículos e a seleção dos horários dos mesmos.

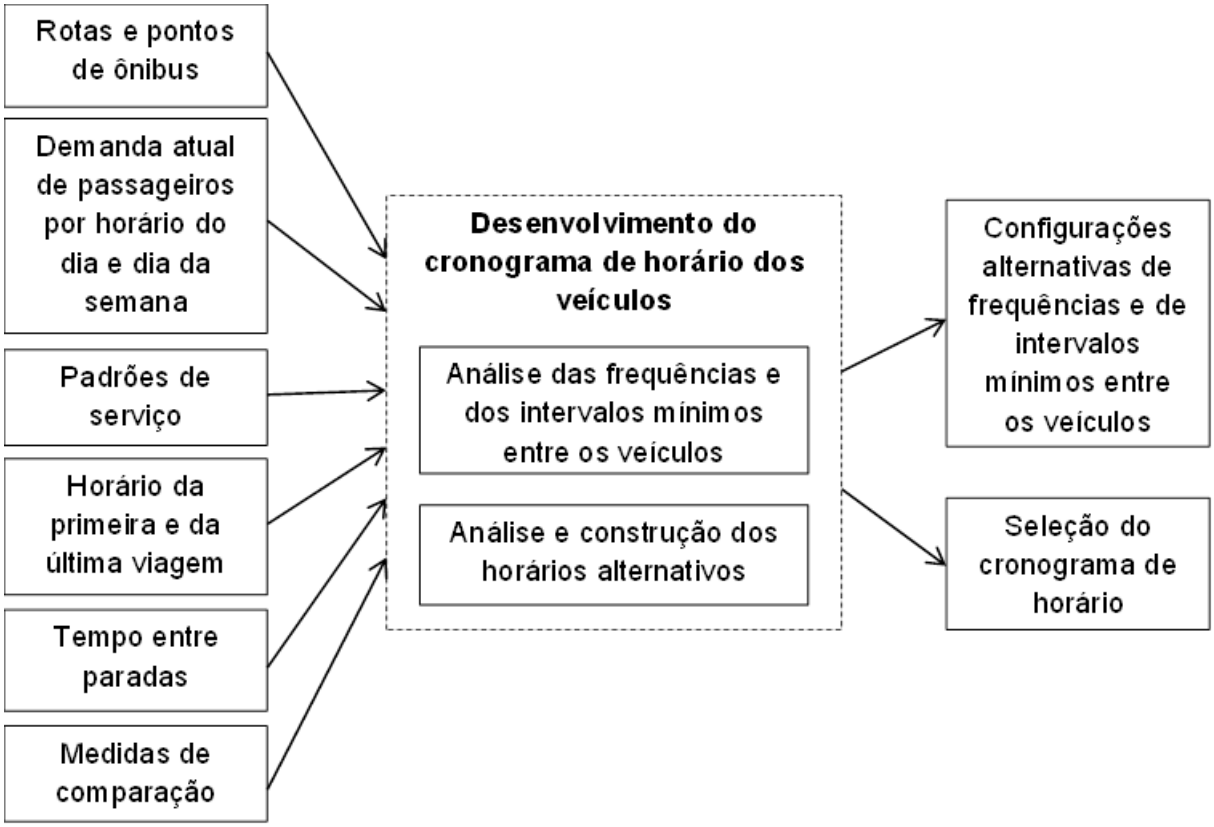


Figura 14 – Fluxograma do desenvolvimento do cronograma de horário dos veículos
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

Um cronograma de horários que reúna custo-benefício e eficiência deve possuir um compromisso com o conforto dos passageiros e o custo do serviço. Um bom equilíbrio entre a oferta de veículos e a demanda dos passageiros ocorre quando os horários são feitos de maneira que a demanda dos passageiros é atendida e o número de veículos utilizados é minimizado. Essa abordagem auxilia a minimizar os custos da agência em termos de salários dos motoristas e o próprio capital utilizado para compra dos veículos. Esse conceito de custo-benefício levou a elaboração dos cinco objetivos para criação dos horários dos veículos (CEDER, 2007):

- avaliar horários opcionais em relação aos recursos necessários;

- melhorar a relação entre os horários de partida dos veículos com a demanda dos passageiros, buscando minimizar os recursos utilizados;
- autorizar, dentro do processo de construção dos horários, mudanças diretas na frequência dos veículos devido a possíveis exceções (conhecidas pelo operador do horário dos veículos) que não dependam dos dados de demanda dos passageiros;
- permitir a construção de horários a partir de técnicas para a suavização do tempo de intervalos entre os veículos nos horários de transição entre os períodos de tempo adjacentes;
- integrar diferentes métodos de definição da frequência e dos procedimentos de construção dos horários.

3.1.3 - Programação de veículos

A programação de veículos visa à criação de cadeias de viagens, isto é, existe um cronograma pré-estabelecido dos horários de cada veículo que será utilizado nas viagens, proporcionando um intervalo mínimo entre as viagens que certo veículo consegue realizar. Essa cadeia de viagens é também chamada de "bloqueio de veículo" (um bloqueio é uma sequência de atividades com ou sem receitas para um veículo individual). Uma viagem pode ser planejada para transportar passageiros em suas rotas ou para deslocar veículos ou tripulação por questões logísticas, de modo a não obter receita, tornando o sistema mais eficiente. O trabalho do programador de veículos é listar todas as cadeias de viagens diárias (incluindo as possíveis viagens por questões logísticas) para cada veículo, de forma a assegurar o cumprimento dos horários dos veículos e dos requisitos necessários à operação (reabastecimento, manutenção, dentre outros). O principal objetivo desta fase é minimizar o número de veículos necessários (CEDER, 2007).

A Figura 15 mostra as atividades desta fase, sendo elas, determinação do limite inferior do tamanho da frota, redução da frota por utilização de viagens logísticas sem receita, redução da frota por mudança nos horários das partidas e análise e construção dos bloqueios. A partir dessas atividades, é elaborado o limite inferior e o tamanho mínimo da frota e a programação dos veículos. Isso tudo é feito com base no tempo das viagens de serviço e fora de serviço, no tempo de conexão e de recuperação, nas restrições e critérios da programação e nos custos por elemento.

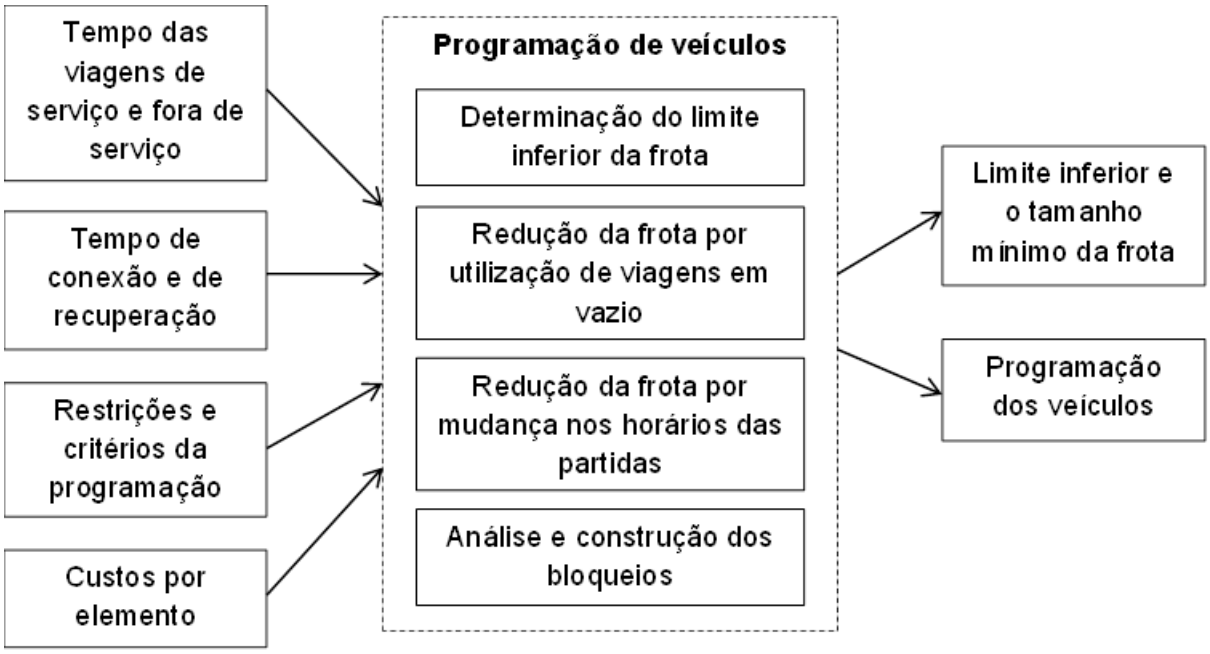


Figura 15 – Fluxograma da programação de veículos
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

3.1.4 - Programação da tripulação

O principal objetivo desta fase é distribuir os motoristas de acordo com o resultado da programação de veículo. Esta fase é também chamada de corte da viagem do motorista, ou seja, é a divisão e recombinação do bloqueio de veículos de acordo com os aspectos trabalhistas legais do condutor. Essa distribuição da equipe deve cumprir algumas restrições, que normalmente dependem do contrato de trabalho estabelecido. Qualquer agência de trânsito que deseja utilizar seus recursos de forma mais eficiente, precisa lidar com problemas relativos a tabelas salariais (regular, hora extra, final de semana, etc.) e com a insatisfação humana diante de alguma situação. A etapa da programação da tripulação é muito sensível a fatores internos e externos, o que poderia facilmente levar a uma solução que fosse ineficiente para o processo (CEDER, 2007).

De acordo com a Figura 16, as principais atividades desta fase são: análise e construção das tarefas da tripulação e estabelecimento das escalas da tripulação, realizadas a partir de dados como lista da tripulação, pontos de alívio (pontos onde é possível realizar a troca de motorista) e regras do trabalho da tripulação (regras das escalas, restrições). Com isso, obtêm-se os horários da tripulação e as escalas do serviço.

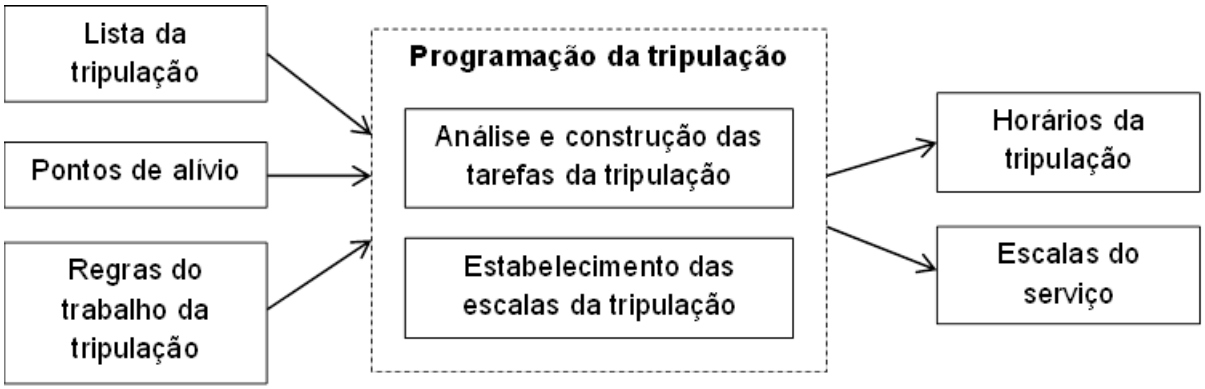


Figura 16 – Fluxograma da programação da tripulação
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

3.2 - Padrões de serviço

Ceder (2007) também ressaltou a necessidade de padrões de serviço para o bom funcionamento do transporte público, sugerindo diversas variáveis com seus respectivos valores-padrões que são considerados ideais por eles. As variáveis foram divididas em duas categorias, design da rota (apresentada na Tabela 1) e design do serviço (apresentada na Tabela 2). A categoria referente ao desenho da rota foi subdividida em dois grupos, rota e rede. Já a categoria do design do serviço foi subdividida em planejamento e monitoração.

Tabela 1 – Variáveis dos padrões de serviço do design da rota

Categoria	Grupo	Variável-padrão	Critérios da variável-padrão	Observação
Design da rota	Rota	Comprimento da rota	Máximo 40-100 minutos por viagem	Comprimentos maiores para agências grandes
		Espaçamento entre os pontos	120-400 m (áreas urbanas)	Depende da densidade da população e uso da área
		Variação da rota	Limite superior de 20-50% de desvio do caminho mais curto de carro	Busca por maior produtividade nos segmentos com desvio do caminho mais curto
		Trajeto menor	Somente nos períodos de pico	Visa reduzir os custos operacionais
		Cobertura da rota	Mínimo 800-1000 m de espaçamento de rota (área urbana) Máximo 400-800 m de caminhada para o ponto	Mínimo 50-95% dos moradores tem que possuir a distância máxima até um ponto
	Rede	Rotas sobrepostas	Sobreposição de rotas é permitida apenas nas proximidades de centros empresariais	Evitar confusão e balancear a dispersão da rota
		Estrutura da rota	Máximo de 2-3 ramificações por rota em torno de terminais	Reduzir confusão em relação a diferentes números de rotas
		Conectividade da rota	Mínimo de 1-3 rotas que interceptam certa rota (pontos de transferências)	Especialmente para uma nova rota em uma rede já existente

Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

Tabela 2 – Variáveis dos padrões de serviço do design do serviço

Categoria	Grupo	Variável-padrão	Critérios da variável-padrão	Observação
Design do serviço	Planejamento	Período de serviço	Horário mínimo de funcionamento em dias de semana: entre 5-6h da manhã e 22-2h da noite	Horários de funcionamento mais tardios para agências maiores
		Nível de carregamento	Taxa de ocupação máxima de 125-150% da capacidade de assentos em horário de pico; 100% nos demais horários	Taxa de ocupação maior (150-175%) para rotas menores ou para expresso
		Passageiros em pé	Máximo de 50% do número de assentos	Depende da configuração interior do veículo
		Intervalo máximo	Intervalo máximo de 15-30 minutos nos horários de pico; 20-60 minutos nos demais horários	Varia com o tipo de serviço e o dia da semana
		Intervalo mínimo	Intervalo mínimo de 2-3 minutos	Mais utilizado em agências pequenas
		Transferências	Máximo de 1-3 transferências para qualquer origem-destino	Agências maiores permitem mais transferências
		Pontos com cobertura	Mínimo de 65-100 embarques diários	Atenção a locais de idosos e centros, como hospitais
	Monitoração	Aderência ao cronograma	Mínimo de 80% pontuais (0-5 minutos de atraso) nos horários de pico; 90% nos demais horários	Essa orientação é geralmente relaxada para intervalos curtos

Categoria	Grupo	Variável-padrão	Critérios da variável-padrão	Observação
		Intervalo entre transferências	Máximo de 3-8 minutos de espera em um ponto de transferência	Mais utilizado em agências pequenas
		Jornadas perdidas	Mínimo de 90-95% das viagens programadas está correto	Viagens perdidas podem prejudicar o critério de confiabilidade das viagens
		Segurança do passageiro	Máximo de acidentes com passageiros por 10^6 passageiros; Máximo de 4-8 acidentes por $1,6x10^5$ veículos-km	Depende de dados de segurança atualizados
		Reclamações de passageiros	Limites no número de reclamações por motorista/ passagem/ período de tempo	Sempre receber comentários públicos e reclamações

Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

3.3 - Viabilidade

A viabilidade do transporte público pode ser visto pela perspectiva do passageiro e da agência. Constância é a chave para o sucesso. A Figura 17 mostra três casos em que os passageiros utilizarão o serviço de transporte público (CEDER, 2007):

- quando não há alternativa;
- quando o serviço de transporte público oferece um maior conforto que o automóvel próprio;
- quando o serviço de transporte público é aceitável.

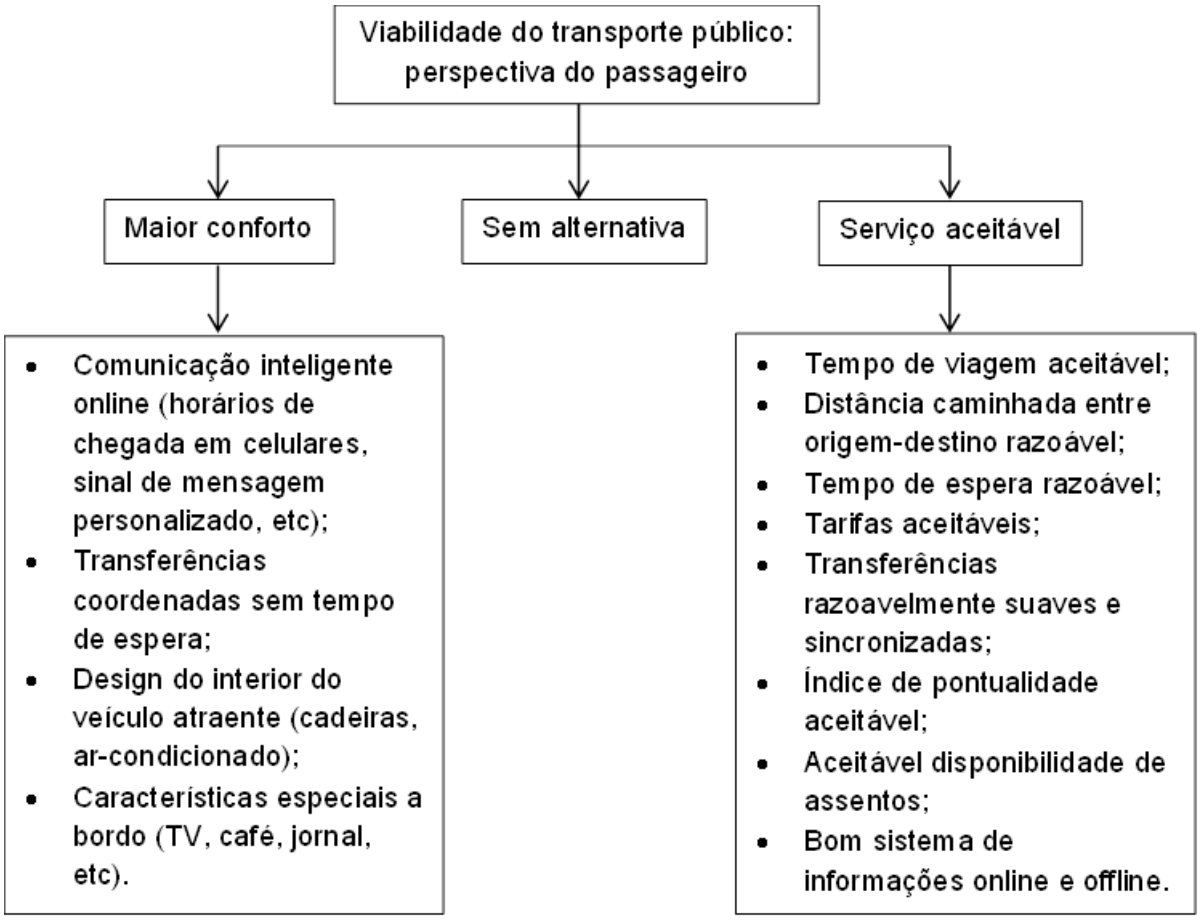


Figura 17 – Perspectiva do passageiro sobre a viabilidade do transporte público
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

Como mostra a Figura 17, serviços de transporte público aceitáveis dependem basicamente de tempo de viagem aceitável e razoável, da distância caminhada para ir e vir do ponto, tempo de espera, tarifa, transferências, aderência ao horário, disponibilidade de assentos e confiabilidade e disponibilidade de informação. Já serviços de transporte público com maior conforto referem-se aos passageiros que utilizam regularmente os seus automóveis, mas que estariam dispostos a utilizar o transporte público se o mesmo apresentasse algumas características especiais de conforto, como comunicação inteligente online, transferências coordenadas sem tempo de espera, design interior do veículo atraente, dentre outras características que não poderiam ser obtidas em seu automóvel.

De modo geral, distância caminhada no trajeto de origem-destino e transferências confortáveis são aspectos fundamentais para entender o comportamento das viagens realizadas pelos passageiros. Ou seja, deve existir uma integração do transporte público com os pontos de origem e de destino dos passageiros. Além disso, transferências devem ser realizadas de forma suave (com escada rolante, na mesma plataforma, etc.) e de forma sincronizada (os horários de chegada e saída devem ser praticados em conformidade com suas informações online) (CEDER, 2007).

A viabilidade sob a perspectiva da agência é apresentada na Figura 18. A agência depende de quatro variáveis essenciais para que a realização do transporte público seja viável para ela (CEDER, 2007):

- concessões comerciais;
- subsídios;
- aumento de clientes e receitas;
- redução dos custos operacionais (para uma mesma programação).

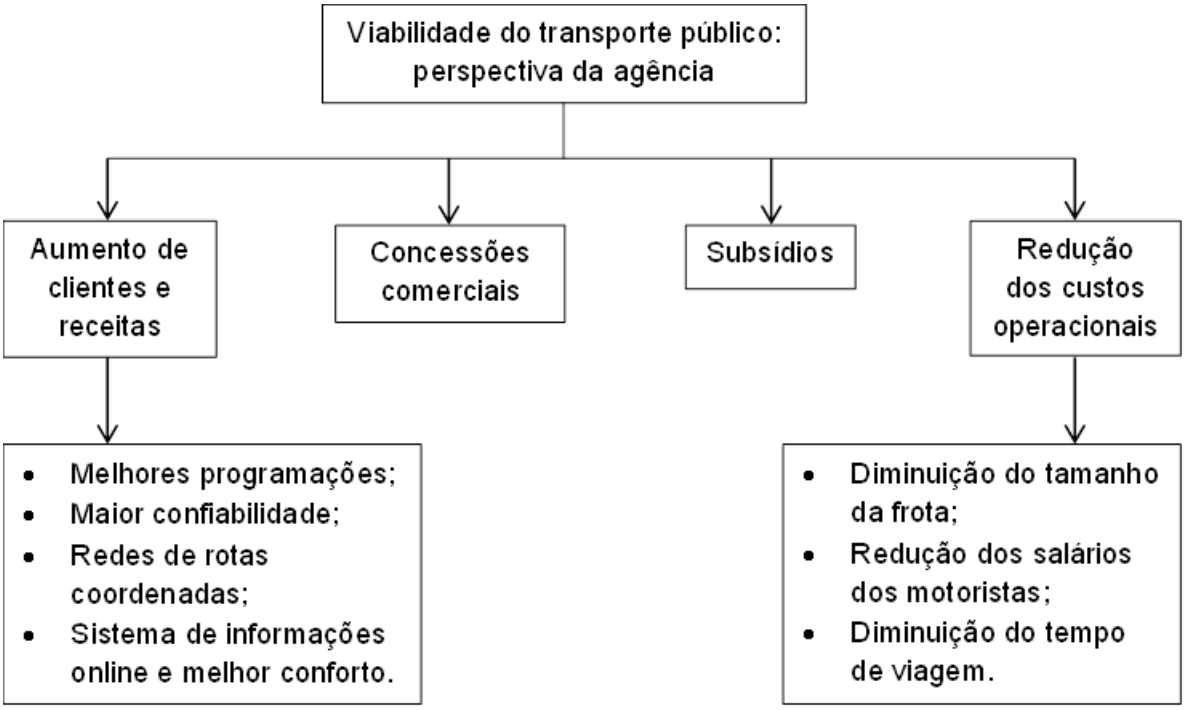


Figura 18 – Perspectiva da agência sobre a viabilidade do transporte público
Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

O aumento de clientes e receitas pode ser praticado ao analisar e melhorar o serviço de transporte público atual, isto é, encontrando o equilíbrio entre o serviço prestado e a procura por esse serviço, fornecendo um serviço confiável, com uma rede de transportes coordenada e melhorando o conforto e a informação. Já a redução dos custos operacionais pode ser obtida por meio da diminuição do tamanho da frota (menos custo de capital), do total dos salários dos motoristas e do tempo médio de viagem no sistema de rede de transporte público sem alterar os horários ofertados (CEDER, 2007).

4 - O transporte público na cidade do Rio de Janeiro

4.1 - A história do transporte coletivo no Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, o primeiro transporte coletivo surgiu em 1817 (chamado de diligência), quando D. João VI concedeu a Sebastião Fábregas de Suriguê, sargento-mor da Guarda Real e barbeiro do Rei, uma concessão da exploração de duas linhas de transporte de pessoas. As linhas faziam o percurso Praça XV-Quinta da Boa Vista e Praça XV- Fazenda de Santa Cruz, e tinham um itinerário, tarifa e horário previstos. A diligência possuía quatro rodas e era puxada por quatro cavalos ou mulas. O tempo de viagem entre Santa Cruz e o Centro durava mais de cinco horas e havia quatro mudas de animais durante o trajeto (COSTA, 2006).

Em 1837, foi fundada a Companhia de Omnibus, responsável pelas diligências. Em 1838, surgiram as gôndolas, apelido dado aos coches que, à maneira dos barcos de Veneza, transportavam poucos passageiros, quatro de cada lado e um no fundo, totalizando nove pessoas. As gôndolas eram puxadas por burros. Com o seu surgimento, originou-se a Companhia das Gôndolas Fluminenses, que se tornou a maior concorrente da Companhia de Omnibus (COSTA, 2006).

Em 1846, surgiram os tílburis. Os tílburis eram carrinhos de duas rodas, puxados por um animal, que corriam toda a cidade e arrabaldes[1]. Eram governados por um cocheiro, que se sentava ao lado do passageiro. Noronha (1934) afirma que o tílburi era considerado um veículo “dos pobres e remediados, o mais popular, o mais procurado meio de condução, rápido e barato” (DUTTON, 2012).

Com a chegada das diligências, gôndolas e tílburis inauguram-se as linhas, exploradas por empresas privadas, com preços e trajetos pré-determinados, aumentando também o número de passageiros transportados. Estes primeiros transportes coletivos representaram um primeiro passo na inclusão das classes populares no mundo dos transportes (DUTTON, 2012).

Embora seja possível reconhecer um avanço no acesso aos transportes, é preciso registrar que estes veículos ainda realizavam viagens com grande lentidão, eram irregulares com relação aos horários, transportavam um número muito pequeno de passageiros e sua circulação era muito concentrada na área central da cidade. Este precário desenvolvimento dos transportes coletivos, aliado ao fato de que até esse momento a imensa maioria dos postos de trabalho (o serviço público, as indústrias, os armazéns, etc.) concentrava-se na área central, tornava o acesso aos arrabaldes uma tarefa bastante árdua (DUTTON, 2012).

Os trens surgiram em 1858, com a inauguração do primeiro trecho da Estrada de Ferro D. Pedro II, entre a estação da Aclamação (atual Central do Brasil) e a estação de Queimados,

[1] subúrbio, região localizada em torno da cidade

com transporte para cargas e passageiros. Nos anos subsequentes, apareceram outras estações, incluindo a estação de Cascadura. No ano de 1861 iniciou-se o transporte regular de passageiros, da Aclamação até a estação de Cascadura. Posteriormente, com o capital privado e estímulos estatais, outras ferrovias de menor porte foram surgindo (DUTTON, 2012).

Santos (1977) afirma que o trem veio responder a uma necessidade de localização de pessoas de baixa renda (proveniente da classe operária) e de atividades menos nobres (indústrias, por exemplo) (DUTTON, 2012).

Os bondes começaram a funcionar em 1868, com a inauguração da primeira linha (linha Largo do Machado – Largo da Carioca), interrompendo a ascensão dos meios de transporte existentes até então. Inicialmente eram puxados por burros e, a partir de 1892, passaram a trafegar sobre linhas eletrificadas. As concessões foram dadas pelo governo a indivíduos e a empresas nacionais, que, na grande maioria dos casos, venderam-nas ao capital estrangeiro. De acordo com os contratos da época, as concessões obedeceram a um sistema chamado de "privilégios de zona", no qual as empresas dividiram sua atuação em determinadas áreas da cidade, garantindo, assim, a cada companhia uma determinada "fatia" da cidade. Os bondes se estenderam rapidamente pela cidade, penetrando lugares, até então, pouco habitados (DUTTON, 2012).

Segundo Weid (1994), as linhas de bonde abrangiam toda a zona urbana do Rio de Janeiro e seus subúrbios mais próximos, o que o fez, até as primeiras décadas do século XX, "o transporte coletivo por excelência, permitindo a qualquer pessoa ir, de qualquer ponto da cidade, aonde bem entendesse" (DUTTON, 2012).

Em 1963, o governador Carlos Lacerda propôs a rescisão do contrato dos bondes. O Estado recebeu uma indenização pela rescisão e providenciou com o dinheiro a compra de 300 ônibus diesel para substituir os bondes, chamados de auto-ônibus (COSTA, 2006).

Os trens e os bondes trouxeram aos transportes coletivos um aumento considerável no número de passageiros, dando-os a dimensão de transportes de massa. Além disso, DaMatta (2010) afirma que, ao contrário das cadeirinhas e carruagens, em que os nobres eram levados solitariamente ou na companhia de familiares e amigos, os bondes e trens permitiram ao transporte urbano a dimensão de viajar coletivamente, possibilitando aos indivíduos de diferentes camadas sociais conviverem em um mesmo espaço (DUTTON, 2012).

O auto-ônibus surgiu no Rio de Janeiro em 1908, três anos depois de circular pela primeira vez em Paris. Era um ônibus à gasolina e fazia o percurso Praça Mauá – Passeio Público. Logo surgiram outras linhas (COSTA, 2006).

Em 1917 foi aprovado o modelo de um novo tipo de auto-ônibus para o transporte de passageiros. Estes ônibus que eram movidos à bateria (eletricidade), foram construídos nos Estados Unidos e funcionaram até 1928 (COSTA, 2006).

O então prefeito da cidade do Rio de Janeiro mandou fazer um estudo de novos

modelos de auto-ônibus, e chegaram ao modelo fechado, com janelas de boa ventilação, dois acessos de entrada e saída, assentos de duas pessoas providos de molas, teto abaulado, dispondo de 20 lugares. A partir deste estudo, só foram concedidas licenças que respeitassem este modelo, e as que já tinham a licença, essas só seriam renovadas se passassem a usar o novo modelo. Estes veículos passaram a ser utilizados em 1926 (COSTA, 2006).

Em 1927, o Rio de janeiro recebeu, além de ônibus de dois eixos, 14 veículos de três eixos que possuíam dois andares. Neste mesmo ano, a Light (empresa responsável pelos bondes) e a prefeitura criaram a Viação Excelsior, sob a direção da empresa canadense. A Excelsior foi a precursora da colocação do regulador de velocidade nos ônibus e foi a responsável pela proibição do excesso de lotação. Em 1928, 19 empresas estavam licenciadas, transportando 88,1 milhões de passageiros por ano (COSTA, 2006).

Em pouco mais de uma década, o movimento de passageiros se firmou e o ônibus deixou de ser complemento de transporte de massa, como trem e bonde, e passou a alçar o status de principal meio de transporte público (COSTA, 2006).

O ônibus se tornou importante por diversos motivos, já que ele permitia o acesso a inúmeros lugares sem necessitar colocação de trilhos, era mais rápido e possuía o horário mais flexível que bondes e trens. As empresas de ônibus, em especial a Light and Power, conquistaram um público mais sofisticado e com grande potencial de diversificação de viagens: a classe média ascendente (COSTA, 2006).

Nas décadas de 40 e 50 os ônibus eram operados por motoristas autônomos e sem itinerário fixo. O ônibus se consolidou efetivamente na década de 60, quando surgiram as lotações. Eram veículos de lotação mínima de 10 e máxima de 21 passageiros (COSTA, 2006).

A Companhia de Transportes Coletivos (CTC) foi criada em 1962 como uma tentativa do Poder Público de assumir o papel de planejador, operante e controlador efetivo do sistema de transporte público no Rio de Janeiro. As atribuições da CTC eram exercer o controle físico e econômico-financeiro da operação dos serviços contratados, coordenar, melhorar e estender os sistemas, as linhas e os serviços, organizar e manter cursos de seleção e formação profissional, e, a partir de 1964, passou ainda a fiscalizar a operação do sistema (COSTA, 2006).

Em 1963, Carlos Lacerda lançou um plano aprovando as diretrizes básicas do sistema de Transporte Coletivo do Estado da Guanabara, onde decretou que o ônibus se tornaria o único veículo rodoviário admissível no transporte coletivo. As empresas de lotações e de micro-ônibus tiveram um prazo de 60 dias para se incorporar às empresas já existentes ou formar novas (COSTA, 2006).

Os ônibus elétricos foram desativados em 1972 (COSTA, 2006).

Segundo Juruá (1990), durante as décadas de 60 e 70, o Rio de Janeiro viveu um retrocesso em matéria de transportes urbanos de massa, ou seja, barcas, trens e metrô. Isto se

deu em parte porque os governos da época fizeram investimentos incentivando o transporte rodoviário, como os aterros do Flamengo e Copacabana, a construção de túneis e viadutos e a construção da ponte Rio-Niterói (COSTA, 2006).

A CTC enfraqueceu-se ao longo dos anos, e viu suas linhas serem, pouco a pouco, privatizadas, até que em 1997, ela foi extinta (COSTA, 2006).

4.2 - O transporte público nos dias atuais

A cidade do Rio de Janeiro é a segunda maior cidade do Brasil, possuindo aproximadamente 6,5 milhões de habitantes em uma área de 1200 km² (IBGE, 2016). No Brasil, o Rio de Janeiro é o principal ponto de entrada não só para os turistas estrangeiros, mas também para o investimento, já que é o destino de grandes performances artísticas e culturais e de eventos esportivos internacionais de grande escala. Além disso, esta cidade possui o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e é a sede de muitas das maiores empresas do país (SANTOS; RIBEIRO, 2013). Isso demonstra a importância dessa cidade no cenário brasileiro.

O Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) é um plano estratégico, desenvolvido pela Prefeitura do Rio por meio da Secretaria Municipal de Transportes, que visa orientar os investimentos públicos em infraestruturas de transportes da cidade por dez anos. Seu principal objetivo é integrar modais motorizados e não motorizados, de modo a priorizar o transporte público, provendo o diagnóstico da situação atual de demanda e oferta dos transportes e formulando alternativas que visem à melhoria do sistema de transportes (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2016).

O PMUS (2015) analisou os resultados da Pesquisa Origem Destino Domiciliar (PODD) realizada em 2011 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, focando nos deslocamentos ocorridos no município do Rio de Janeiro. A PODD foi realizada por meio de visitas de pesquisadores aos domicílios previamente escolhidos para compor a amostra. Os domicílios são escolhidos aleatoriamente, mas de forma a garantir o número mínimo de amostras que se precisa para garantir a validade estatística das informações que se pretende analisar. Além disso, durante as visitas domiciliares, os pesquisadores seguem um roteiro de questionamentos a respeito de fatores socioeconômicos do domicílio e de cada um dos seus moradores, como faixa de renda, idade, escolaridade e posse de automóveis. Em seguida, é realizado um levantamento das viagens realizadas por cada um dos moradores do domicílio no dia anterior à visita, indicando a origem e o destino da viagem, modos utilizados, tempos de deslocamentos, tarifas envolvidas, entre outros aspectos. Dessa forma, constitui-se um banco de dados com um grande número de informações que permitem uma caracterização detalhada dos deslocamentos realizados na área onde a pesquisa foi realizada (PMUS, 2015).

A PODD realizada em 2011 classificou as viagens realizadas em 19 modos de

transporte: ônibus municipal; ônibus intermunicipal; ônibus executivo; ônibus pirata [sic]; van; barco/catamarã; transporte escolar; transporte fretado; condutor de auto; passageiro de auto; táxi, moto-táxi; motocicleta; bicicleta/ciclomotor; a pé; trem; metrô; bonde; e outros. O modo de transporte bonde não foi utilizado em nenhuma das viagens da amostra, e os outros modos foram agrupados de forma a facilitar a análise, como apresentado na Tabela 3 (PMUS, 2015).

Tabela 3 – Agrupamento dos modais de transporte

Modo de transporte	Grupo
A pé	A pé
Bicicleta/ciclomotor	Bicicleta
Metrô	Metrô
Trem	Trem
Barco/aerobarco/catamarã	Barca
Ônibus municipal	Ônibus
Ônibus intermunicipal	
Ônibus pirata [sic]	
Ônibus executivo	
Transporte escolar	
Transporte fretado	
Van	Van
Condutor de automóvel	Carro
Passageiro de automóvel	
Táxi	
Motocicleta	Moto
Moto-táxi	
Outros	Outros

Fonte: PMUS (2015)

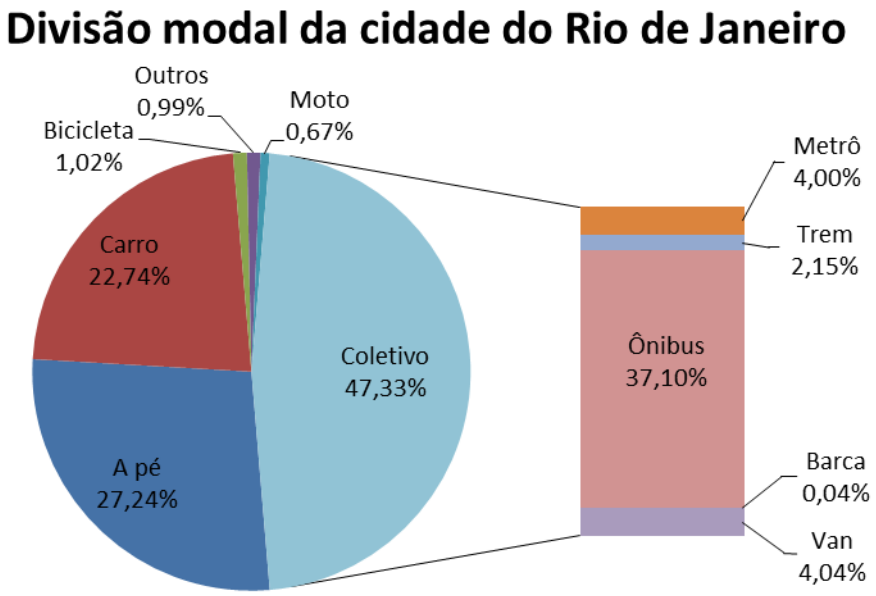
A Tabela 4 apresenta a quantidade de viagens realizadas na cidade do Rio de Janeiro por cada escolha modal de transporte adotada. Em seguida, para uma melhor visualização, o Gráfico 3 mostra essa divisão modal esquematizada.

Tabela 4 – Quantidade de viagens realizadas por escolha modal na cidade do Rio de Janeiro

Escolha modal	Quantidade de viagens realizadas
A pé	3.431.664
Bicicleta	128.230
Van	509.413
Ônibus	4.672.765
Barca	5.508
Trem	270.835
Metrô	503.214
Carro	2.864.320
Moto	84982
Outros	124923

Fonte: PMUS (2015)

Gráfico 3 – Divisão modal da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de PMUS (2015)

A partir do Gráfico 3, evidencia-se a relevância do transporte público para esta cidade, especialmente do ônibus, já que esse foi a escolha modal mais utilizada pelas pessoas,

totalizando 37,10% das viagens. Para realizar esse transporte, segundo a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR, 2015), o número total de ônibus convencionais operantes é de 9.008 veículos, com uma idade média da frota de 4,38 anos. Esses veículos atuam em quatro consórcios: Santa Cruz, TransCarioca, Internorte e Intersul, conforme mostra a Figura 19.



Figura 19 – Consórcios de ônibus da cidade do Rio de Janeiro
Fonte: FETRANSPOR (2015)

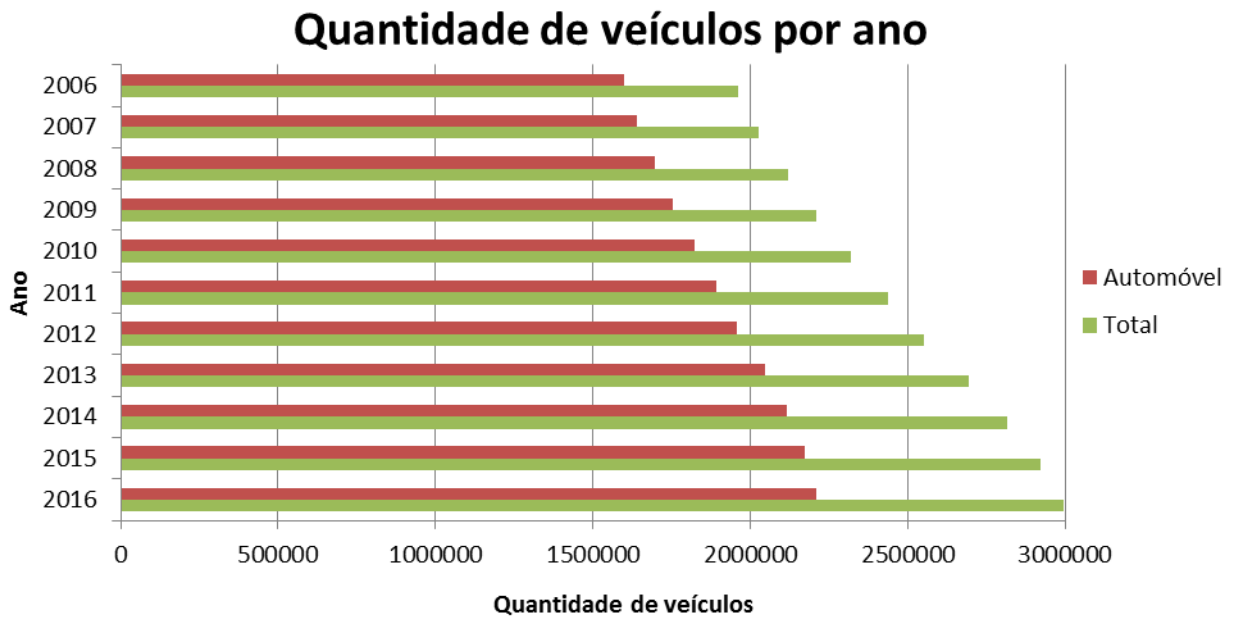
Os ônibus têm importante função dentro de ambientes urbanos densos, pois este é o meio de transporte público que fornece um maior nível de cobertura, já que os pontos de ônibus ficam o mais próximo possível de cada localidade dentro de uma cidade. Isso é crucial para garantir a acessibilidade e a possiblidade de uma jornada quase porta-a-porta para todos os habitantes, mostrando o valor do papel dos ônibus na política de transportes públicos (CARPIO-PINEDO, 2014).

A tendência de maior utilização dos meios de transporte motorizado de baixa capacidade, como motos, vans e automóveis continua consolidada. A posse de automóveis e motos continua em franca expansão nos lares brasileiros. O uso do transporte informal como, por exemplo, as vans e kombis na região metropolitana do Rio de Janeiro e grandes cidades do Brasil estabelece a competição com transporte público formal e contribui para o aumento dos congestionamentos das vias e dificuldade de controle por parte do órgão regulador do sistema (ALEXANDRE, 2014).

No caso específico da cidade do Rio de Janeiro, foco do presente estudo, a quantidade total de veículos aumentou 53% em 10 anos, passando de 1.960.662, em julho de 2006 para 2.992.911 em julho de 2016 (DETRAN-RJ, 2016). O aumento da frota na cidade tem gerado longos congestionamentos, a necessidade de sair mais cedo de casa para evitar perda de tempo, além de poluição sonora, visual e ambiental (ALEXANDRE, 2014).

O Gráfico 4 mostra especificamente a evolução da frota de automóveis comparada com a quantidade total de veículos existentes no Rio de Janeiro, de acordo com os dados do DETRAN-RJ (2016).

Gráfico 4 – Evolução da quantidade de veículos por ano



Fonte: Adaptado de DETRAN-RJ (2016)

No período entre 2006 e 2016, a frota total de veículos obteve um crescimento de 52,6%, já o número de automóveis variou de 1,6 milhões para 2,2 milhões, ou seja, em 10 anos, evidenciou-se um aumento de 38,0% (DETRAN-RJ, 2016).

O incremento da quantidade de automóveis e da frota total adveio, dentre outros fatores, do incentivo dado pelo governo federal entre 2008 e 2010 para enfrentar a crise econômica internacional, estimulando a concessão de crédito financeiro para aquisição de automóveis com longos prazos de pagamentos e baixos valores de entrada (ALEXANDRE, 2014). Além disso, entre 2012 e 2014, o governo federal reduziu o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para veículos novos, visando estimular a economia brasileira em meio à crise global. Todavia, entre 2014 e 2016, ocorreu um crescimento menor de veículos devido à crise vivida no Brasil, principalmente no estado do Rio de Janeiro. Alexandre (2014) também ressalta que, aliado aos fatores econômicos, a degradação do transporte público em seus diversos níveis, tais como a insegurança e a baixa qualidade do serviço prestado, contribuíram para que a população migrasse tão logo pudesse do transporte público para o privado.

No Gráfico 4 também se verifica que em 2016 o automóvel correspondeu a 73,8% da quantidade total de veículos existentes na cidade. Em 2006, esse valor chegava a 81,6%. Logo, apesar do elevado valor encontrado, percebe-se que vem ocorrendo uma redução relativa do número de automóveis, quando comparado com o número total de veículos.

Em 2014, a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2014) realizou um estudo mostrando que, em 2013, os congestionamentos de trânsito nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo custaram mais de R$ 98 bilhões por conta da

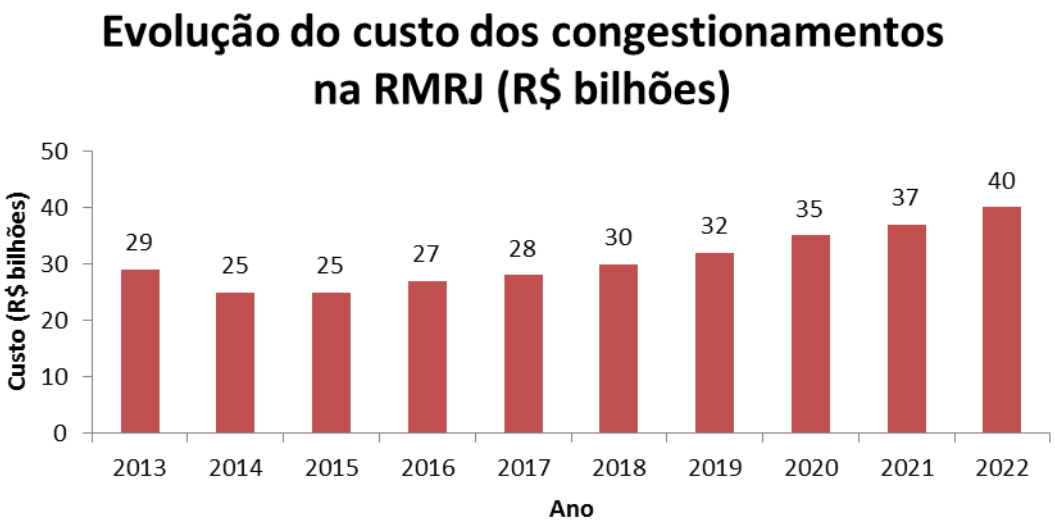
perda de produtividade. As Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo, embora somadas representem apenas 0,16% do território brasileiro, concentram 16,9% da população nacional e respondem por 25,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, sendo que o valor da perda de produtividade nessas regiões corresponde a 2% do PIB brasileiro. No caso específico da Região Metropolitana do Rio de Janeiro[2] (RMRJ), o custo dos congestionamentos atingiu R$ 29 bilhões em 2013. Este valor equivale a 8,2% do PIB metropolitano, valor superior ao PIB de Acre, Amapá, Piauí, Roraima e Tocantins.

A FIRJAN (2014) afirmou que os problemas da mobilidade urbana são cada vez mais graves devido ao perfil das cidades, que durante seu processo de expansão econômica e territorial, não foram planejadas para evitar a concentração de viagens em poucas vias troncais e no mesmo sentido e horário. Tal situação se reflete hoje em problemas de mobilidade, com congestionamentos a cada dia maiores e mais demorados.

Ademais, com base nos dados da Companhia de Engenharia de Tráfego da Prefeitura do Rio de Janeiro e do Plano Diretor de Transportes Urbanos da RMRJ, a FIRJAN (2014) calculou as projeções de congestionamentos para a RMRJ, apresentadas no Gráfico 5. De acordo com a Nota Técnica emitida, supôs-se que, nos anos de 2014 a 2016, haveria uma redução nos engarrafamentos na RMRJ por causa do reflexo das obras de mobilidade que já estavam em execução. Porém, caso não haja novos investimentos em infraestrutura de transportes e considerando as projeções de crescimento populacional e de frota de veículos, a partir de 2016 ocorrerá o aumento do custo dos congestionamentos, refletindo o aumento da extensão, do tempo e do número de pessoas afetadas. Este aumento poderá levar a um custo total de R$ 40 bilhões em 2022, atingindo 182 quilômetros.

[2] A Região Metropolitana do Rio de Janeiro é formada pelos municípios de Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio Bonito, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá.

Gráfico 5 – Evolução do custo dos congestionamentos na RMRJ (R$ bilhões)



Fonte: Adaptado de FIRJAN (2014)

A FETRANSPOR (2008) também realizou um estudo onde afirmou que os congestionamentos ocasionam aumento do tempo de viagem para os usuários, com consequente perda da produtividade para os passageiros. A Tabela 5 apresenta a redução da produtividade em relação ao tempo de viagem realizado.

Tabela 5 – Redução da produtividade de acordo com o tempo de viagem

Tempo de viagem	Redução da produtividade
Até 40 minutos	Não causam
40 a 60 minutos	14%
60 a 80 minutos	16%
Maior que 80 minutos	21%

Fonte: FETRANSPOR (2008)

O tempo de deslocamento casa-trabalho também é um importante fator a ser considerado, especialmente na cidade do Rio de Janeiro, que possui um território extenso. Em 2009, o IBGE realizou a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), onde, dentre outras variáveis, coletou informações sobre o tempo que as pessoas levavam no trajeto casa-trabalho. A partir desses dados, Pereira e Schwanen (2013) realizaram um estudo para analisar o tempo que a população gasta em deslocamentos urbanos casa-trabalho no Brasil. Os autores adotaram certos procedimentos metodológicos no tratamento dos dados da PNAD.

A variável do tempo de deslocamento foi construída como variável categórica com os seguintes intervalos: (1) até 5 minutos, (2) entre 5 minutos e meia hora, (3) entre meia hora e uma hora, (4) entre uma hora e duas horas, (5) mais de duas horas; sendo essa apresentada na Tabela 6. O tempo médio de deslocamento das viagens foi calculado utilizando o ponto médio de cada categoria intermediária e o primeiro ponto da última categoria aberta. Vale ressaltar que os dados foram obtidos por meio de entrevistas, sendo que, para a variável do tempo de deslocamento casa-trabalho, foram consideradas apenas as respostas das pessoas que declararam fazer viagens de casa direto para o trabalho. Pessoas que trabalhavam de casa ou cujo emprego se localizava dentro do mesmo terreno onde moram não foram consideradas (PEREIRA; SCHWANEN, 2013).

Segundo Pereira e Schwanen (2013), o tempo médio de deslocamento casa-trabalho obtido para o Brasil foi de 31,2 minutos, enquanto que para a cidade do Rio de Janeiro foi de 46,7 minutos, isto é, quase 50% maior.

Tabela 6 – Tempo de deslocamento casa-trabalho

País ou cidade	Porcentagem de pessoas que trabalhavam fora do domicílio e retornavam para seu domicílio diariamente na semana de referência				
	Até 5 minutos	Entre 5 minutos e meia hora	Entre meia hora e uma hora	Entre uma hora e duas horas	Mais de duas horas
Brasil	13,06%	52,21%	23,33%	9,62%	1,78%
Cidade do Rio de Janeiro	5,86%	32,54%	36,26%	21,34%	4,00%

Fonte: Pereira e Schwanen (2013)

4.3 - A mudança das linhas de ônibus

A Prefeitura do Rio realizou um projeto de reorganização do sistema de ônibus municipais na cidade do Rio de Janeiro recentemente. Esse projeto teve seu início em 2010, porém no ano de 2015 é que foram realizadas as grandes mudanças nas linhas e pontos de ônibus da cidade (INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2015).

Esse projeto contemplou duas grandes medidas: a racionalização do sistema de ônibus da Zona Sul e a implantação do BRT (*Bus Rapid Transit*), além de outras pequenas ações tomadas.

A racionalização dos ônibus da Zona Sul foi composta por cinco fases, com algumas alterações posteriores para a realização de ajustes necessários após a implantação. A primeira etapa consistiu na implantação do BRS (*Bus Rapid Service*) em ruas da Zona Sul, com

posterior instalação em ruas do centro e Zona Norte. O BRS consistiu essencialmente na modificação de linhas existentes, para que essas passassem a percorrer as principais ruas dessas regiões em faixas exclusivas para a circulação de ônibus. Essa medida teve por objetivo a redução do número de veículos que circulavam nessas ruas, tentando desafogar o tráfego de ônibus da Zona Sul sem que as linhas de ônibus fossem extintas (INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2015).

De forma semelhante, nas demais etapas da racionalização dos ônibus, foram criadas linhas troncais e integradas, em substituição a linhas de ônibus existentes que passavam, em sua maioria, pelas mesmas vias principais (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2015).

Segundo a Rio Ônibus (2016), o BRS foi projetado para melhorar a fluidez do trânsito das principais vias da cidade, proporcionando um transporte público mais rápido. O BRS é um sistema de corredores expressos com faixas preferenciais para tráfego de ônibus monitoradas pela Prefeitura do Rio, permitindo somente que ônibus, carros de serviços e táxis com passageiros circulem por essas faixas. O projeto, executado em etapas, inclui 21 vias de maior fluxo do Rio de Janeiro. O BRS Zona Sul foi o primeiro a ser implementado, com o surgimento das linhas BRSs 1, 2 e 3, envolvendo, principalmente, os bairros de Copacabana, Leblon, Ipanema e Botafogo. O BRS Centro inaugurou logo em seguida, contendo com as linhas BRSs 4 e 5. O BRS Zona Norte foi o último a ser implantado, estendendo as linhas de BRSs já criadas e criando os BRSs 6 e 7.

O BRT, que em português significa Transporte Rápido por Ônibus, é um sistema de transporte que utiliza ônibus articulados de grande capacidade em faixas de trânsito exclusivas, proporcionando fluidez em sua operação, ou seja, o trânsito não congestiona nessa via. Ademais, também possui faixas de ultrapassagem nas estações para permitir que, além do serviço parador, haja também o serviço expresso, que não para em todas as estações, aumentando a capacidade do sistema e a velocidade média do corredor, com consequente redução do tempo de viagem. Ao invés de pontos de ônibus, o BRT utiliza estações e terminais fechados, projetados para garantir agilidade nas paradas, já que o pagamento da passagem é validado na entrada da estação. Existem quatro corredores expressos – Transcarioca, Transoeste, Transolímpica e Transbrasil – que serão melhores detalhados na seção 6.1 (RIO ÔNIBUS, 2016).

Devido à introdução do BRS e do BRT, diversas linhas e pontos de ônibus dentro da cidade tiveram que ser modificados ou extintos, gerando uma grande mudança no sistema de ônibus da cidade, o que pôde ser verificado ao comparar a topologia da rede de ônibus de 2014 com 2016. E foi nessa comparação que este trabalho se focou.

5 - Metodologia

O sistema de ônibus da cidade do Rio de Janeiro passou por modificações recentes em suas linhas e pontos de ônibus, alterando a dinâmica da cidade. Portanto, a metodologia proposta neste trabalho teve por objetivo a comparação e a análise da estrutura da rede de ônibus antes e depois da mudança.

Conforme estudado na seção 3.1, o planejamento do transporte público pode ser dividido em quatro fases. A primeira fase é o design da rede de transporte. Nessa fase, é criado ou modificado o desenho da rede de transporte público, ou seja, a sua estrutura, definindo as linhas e os pontos de ônibus. Este trabalho está situado nessa fase do planejamento, já que visa analisar a topologia da rede de ônibus do Rio de Janeiro, examinando a localização dos pontos de ônibus e das linhas existentes na cidade.

Portanto, este trabalho pode ser definido como uma modelagem quantitativa de um estudo de caso, onde foram analisadas algumas propriedades da RTO da cidade Rio de Janeiro em três modelos topológicos diferentes – *Bs*, *Ps* e *Cs*.

A metodologia deste trabalho foi subdividida em sete passos principais, sendo seis deles realizados de forma duplicada, para o ano de 2014 e 2016, como mostra a Figura 20. Os passos encontram-se detalhados a seguir.



Figura 20 – Fluxograma da metodologia
Fonte: Elaboração própria

O primeiro passo foi a obtenção de dados dos ônibus dessa cidade por meio do Portal de dados abertos da Prefeitura do Rio, que disponibiliza esses dados. As informações foram coletadas em duas etapas, uma no dia 03/05/2014 e outra no dia 29/01/2016, nesse portal. O portal disponibiliza, entre outras funções, o acesso às informações da escolha modal rodoviária municipal, fornecidas pelos GPS (*Global Positioning System*) instalados nos ônibus que circulam na cidade do Rio de Janeiro. Essas informações estão contidas em arquivos no formato GTFS e abrangem os pontos de paradas de cada linha de ônibus da cidade, mostrando os dados do nome e número de cada linha, os pontos de ônibus em que a mesma para, a agência responsável por essa linha e a latitude e longitude desses pontos. Os arquivos possuem outras informações, porém as citadas acima foram as utilizadas neste trabalho. Além disso, esses registros podem ser baixados por qualquer pessoa no portal.

É importante ressaltar que não houve uma conferência desses dados para verificar se os pontos e as linhas de ônibus apresentadas por eles existiam de fato e se suas localizações

estavam corretas, pois esse não era o escopo deste trabalho. Considerou-se como premissa que esses dados disponibilizados pelo Portal da Prefeitura existiam e que eram confiáveis.

O segundo passo compreendeu o tratamento dos dados. Como as informações necessárias encontravam-se dispersas em diversos arquivos, utilizou-se um banco de dados para unificar essas informações em uma tabela somente. Optou-se pelo Microsoft Office Access neste estudo.

No terceiro passo, realizou-se a geração da rede *Bs*. Para isso, abriu-se a tabela gerada no Microsoft Office Excel. Essa tabela foi então formatada de acordo com a configuração necessária para o modelo topológico *Bs*. Essa nova forma do arquivo foi então copiada e colada em um programa de notas, nesse caso o Text Pad, para que o mesmo pudesse ser salvo no formato NET.

No quarto passo, obtiveram-se as redes *Ps* e *Cs* a partir da rede *Bs*. A rede *Bs* foi aberta em um programa específico para a análise de redes, onde se obteve, utilizando funções desse programa, a rede *Ps* e *Cs*, já que essas são formadas com base na rede bipartida. Devido à complexidade das redes formadas, utilizou-se o programa computacional denominado Pajek. Esse programa foi escolhido porque, segundo Nooy et al. (2005), ele foi desenvolvido para lidar com redes muito grandes, como é o caso de uma das redes criadas, a *Ps*. Além disso, também existem livros ensinando a teoria de Redes Sociais em conjunto com a aplicação neste programa, como é o caso do Nooy et al. (2005), facilitando o entendimento e a análise das redes. Nesta fase, para uma melhor análise das propriedades, foi desenvolvida a rede Cs^n, que foi uma rede gerada de acordo com a quantidade dos pontos de ônibus que as linhas possuíam em comum. Essa rede é explicada detalhadamente na seção seguinte.

O quinto passo consistiu em extrair diversas propriedades das redes criadas. Isso foi realizado no programa Pajek. Por serem redes de diferentes modelos topológicos, a importância das propriedades avaliadas também divergiram de acordo com a rede. Para a rede *Ps*, foram analisados o número de vértices e as propriedades de densidade, componente gigante, distância, diâmetro, coeficiente de clusterização, grau, proximidade e intermediação. Já na rede *Cs*, analisaram-se a quantidade de vértices e arestas, a densidade, a componente gigante, a distância e as três medidas de centralidade estudadas – grau, proximidade e intermediação. Na rede *Bs*, investigou-se apenas o grau. A Tabela 7 apresenta as propriedades analisadas em cada modelo topológico de forma sintetizada.

Tabela 7 – Propriedades analisadas em cada modelo topológico utilizado

Propriedades	*Bs*	*Ps*	*Cs*
Vértices		✓	✓
Arestas			✓
Densidade		✓	✓
Componente gigante		✓	✓
Distância		✓	✓
Diâmetro		✓	
Coeficiente de clusterização		✓	
Grau	✓	✓	✓
Proximidade		✓	✓
Intermediação		✓	✓

Fonte: Elaboração própria

O sexto passo compreendeu o tratamento dos resultados dessas propriedades obtidas para as redes. Nessa etapa, os resultados foram organizados em tabelas e gráficos para que os mesmos pudessem ser analisados e comparados de forma mais consistente e de melhor visualização.

Após o tratamento dos resultados das propriedades, chegou-se no último passo. Nessa fase, ocorreu a análise das tabelas e gráficos gerados com os resultados. Com a análise dos parâmetros, foi possível realizar inferências sobre as redes estudadas para uma melhor compreensão do sistema de transporte de ônibus da cidade do Rio de Janeiro. Ademais, nesta etapa, ocorreu a comparação entre a rede de ônibus antes e depois da mudança ocorrida.

Considera-se como limitações deste trabalho, o fato do mesmo ser uma modelagem quantitativa de um estudo de caso, aplicado somente a escolha modal de ônibus da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, os dados disponíveis no Portal de dados abertos da Prefeitura do Rio não forneceram a sequência dos pontos de ônibus de cada linha, não permitindo a elaboração do *Ls*, modelo topológico bastante utilizado, em conjunto com os demais modelos, para a análise de RTP.

5.1 - Rede Cs^n

A rede Cs^n foi uma rede desenvolvida por este trabalho para uma melhor análise da RTO estudada. Essa é uma rede criada de acordo com a quantidade dos pontos de ônibus que

as linhas possuem em comum. Para criar esse tipo de rede, a partir da rede *Cs*, removem-se as arestas que conectam duas linhas quando elas possuem valores inferiores a “n” pontos de ônibus em comum.

Para um melhor entendimento da rede Cs^n, foi desenvolvido um exemplo. Foram consideradas cinco linhas de ônibus diferentes. A linha A passa pelos pontos 1, 2, 3, 4 e 5. Já a linha B contém os pontos 2, 4, 6 e 8. A linha C possui os pontos 2, 6 e 7. A linha D, os pontos 2, 3 e 4. E, por último, a linha E utiliza os pontos 1, 4, 6 e 7. A partir dessas linhas, foi elaborado o *Cs*, conectando as linhas se as mesmas possuíssem algum ponto de ônibus em comum.

A Figura 21 apresenta a rede Cs^1, que é a rede *Cs* original, ou seja, as linhas estão conectadas se elas apresentarem pelo menos um ponto de ônibus em comum. A Figura 22 mostra a rede Cs^2, onde foram removidas as arestas que conectavam as linhas que possuíam apenas um ponto de ônibus em comum, deixando apenas as arestas existentes entre as linhas que possuem pelo menos dois pontos de ônibus em comum. Já a Figura 23 exibe a rede Cs^3, onde somente as linhas que possuíam três ou mais pontos de ônibus em comum se mantiveram conectadas. Nesse exemplo, somente as linhas A e D apresentavam três pontos de ônibus em comum.

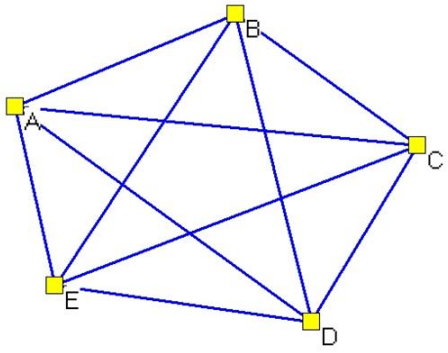


Figura 21 – Rede Cs^1 do exemplo da rede Cs^n
Fonte: Elaboração própria

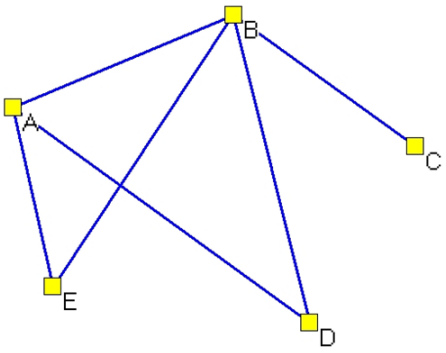


Figura 22 – Rede Cs^2 do exemplo da rede Cs^n
Fonte: Elaboração própria

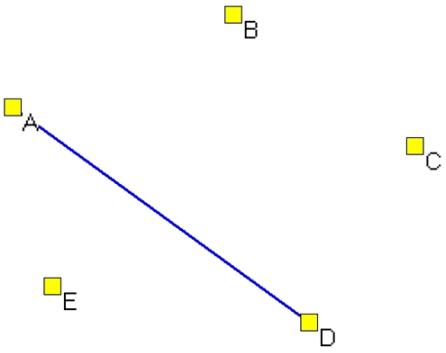


Figura 23 – Rede Cs^3 do exemplo da rede Cs^n
Fonte: Elaboração própria

Neste trabalho, foram criadas redes *Cs* com 1 (que era a própria rede *Cs* original), 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 pontos de ônibus em comum. Logo, de acordo com a nomenclatura proposta, essas redes foram denominadas como Cs^1, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40}, Cs^{50}, Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90}, Cs^{100}, respectivamente.

5.2 - Propriedades relativas à RTO

Para a realização da etapa da análise dos dados, foram definidos os possíveis significados práticos, em relação ao sistema de ônibus, das propriedades estudadas para cada modelo topológico. A Tabela 8 apresenta uma explicação sucinta desses significados no que diz respeito a linhas e/ou pontos de ônibus. O traço preto presente em certas propriedades significa que não existe um significado expressivo (em relação aos ônibus) dessas propriedades no modelo topológico analisado.

Tabela 8 – Significado das propriedades em relação aos ônibus para cada modelo topológico

Propriedades	*Bs*	*Ps*	*Cs*
Vértices	Linhas e pontos de ônibus	Pontos de ônibus	Linhas
Densidade	-	-	Indicador sobre a sobreposição das linhas
Componente gigante	-	É a maior componente conexa, mostrando o número de pontos de ônibus que se consegue ir a partir de certo ponto dentro dessa componente conexa	Conjunto de linhas com alguma semelhança de pontos de ônibus em comum
Distância	-	Quantidade de linhas necessárias para ir de um ponto a outro	Trocas entre linhas necessárias para ir de uma linha a outra
Diâmetro	-	Número máximo de linhas necessárias para ir a qualquer ponto de ônibus da cidade	-
Coeficiente de clusterização	-	Representa as alternativas de deslocamentos existentes próximas a certo ponto de ônibus	-
Grau	Grau da partição de pontos: linhas que passam em certo ponto Grau da partição de linhas: pontos de ônibus que certa linha possui	Pontos de ônibus que se pode ir a partir de certo ponto	Linhas que se pode ir a partir de certa linha. Valores elevados mostram possíveis corredores de transporte e a existência de linhas alimentadoras
Proximidade	-	Indica o quão perto um ponto de ônibus está do outro. Valores elevados significam locais adequados para possíveis terminais rodoviários	Indica o quão perto uma linha está da outra
Intermediação	-	Valores elevados apresentam os pontos de ônibus normalmente utilizados como pontos de transferência entre as linhas	Valores elevados mostram linhas provavelmente usadas para transferência entre linhas

Fonte: Elaboração própria

6 - Análise dos Resultados

A partir das propriedades extraídas das redes, por meio do Pajek, dos três modelos topológicos analisados, realizou-se a análise dos resultados. As propriedades foram divididas em três categorias para uma melhor investigação: propriedades gerais, onde foi considerada a maior parte delas, como número de vértices, arestas, densidade, grau médio, vértices na componente gigante, distância média, diâmetro e coeficiente de clusterização; medidas de centralidade, que reuniram dados como proximidade, intermediação e grau; e distribuição de distância.

6.1 - Propriedades gerais

As tabelas com os resultados das propriedades analisadas nesta seção seguem a seguir de acordo com o modelo topológico e o ano estudado. As propriedades gerais da rede *Cs* tiveram que ser subdivididas em duas tabelas distintas, já que essa rede é composta por onze redes conforme os pontos em comum que elas possuem.

Outro ponto importante é que algumas vezes uma mesma constatação pode ser observada por meio de propriedades diferentes em modelos topológicos diferentes, posto que a rede *Cs* e *Ps* são obtidas a partir da rede *Bs*.

A Tabela 9 e a Tabela 10 apresentam as propriedades gerais da rede *Cs* para o ano de 2014, enquanto que a Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam para o ano de 2016.

Tabela 9 – Propriedades gerais das redes Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40} e Cs^{50} em 2014

Propriedades	Cs^{1}	Cs^{10}	Cs^{20}	Cs^{30}	Cs^{40}	Cs^{50}
Vértices	488	488	488	488	488	488
Arestas	28006	11829	6227	3682	2264	1424
Densidade	0,235685	0,099547	0,052403	0,030986	0,019053	0,011984
Grau Médio	114,7787	48,47951	25,52049	15,09016	9,278689	5,836066
Vértices na componente gigante	488	484	451	403	354	310
Porcentagem dos vértices na componente gigante	100,00%	99,18%	92,42%	82,58%	72,54%	63,53%
Distância média	1,82696	2,32722	2,70485	3,18186	3,71266	4,64993
Diâmetro	3	7	7	8	8	12
Coeficiente de clusterização	0,639979	0,599339	0,605758	0,62751	0,646416	0,646662

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 – Propriedades gerais das redes Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100} em 2014

Propriedades	Cs^{60}	Cs^{70}	Cs^{80}	Cs^{90}	Cs^{100}
Vértices	488	488	488	488	488
Arestas	975	672	430	291	209
Densidade	0,008205	0,005655	0,003619	0,002449	0,001759
Grau Médio	3,995902	2,754098	1,762295	1,192623	0,856557
Vértices na componente gigante	239	157	87	59	53
Porcentagem dos vértices na componente gigante	48,98%	32,17%	17,83%	12,09%	10,86%
Distância média	5,58707	5,92398	3,93561	3,78341	3,94777
Diâmetro	15	18	11	10	10
Coeficiente de clusterização	0,658717	0,664436	0,620246	0,632811	0,649429

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 – Propriedades gerais das redes Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40} e Cs^{50} em 2016

Propriedades	Cs^{1}	Cs^{10}	Cs^{20}	Cs^{30}	Cs^{40}	Cs^{50}
Vértices	377	377	377	377	377	377
Arestas	17626	6752	3317	1844	1171	783
Densidade	0,248688	0,095265	0,0468	0,026017	0,016522	0,011047
Grau Médio	93,50663	35,81963	17,59682	9,782493	6,212202	4,153846
Vértices na componente gigante	377	372	344	298	259	210
Porcentagem dos vértices na componente gigante	100,00%	98,67%	91,25%	79,05%	68,70%	55,70%
Distância média	1,82826	2,39599	2,92984	3,55442	4,62548	6,00391
Diâmetro	3	8	8	10	11	17
Coeficiente de clusterização	0,655975	0,586317	0,592044	0,614139	0,643029	0,652852

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 – Propriedades gerais das redes Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100} em 2016

Propriedades	Cs^{60}	Cs^{70}	Cs^{80}	Cs^{90}	Cs^{100}
Vértices	377	377	377	377	377
Arestas	530	349	214	132	85
Densidade	0,007478	0,004924	0,003019	0,001862	0,001199
Grau Médio	2,811671	1,851459	1,135279	0,700265	0,450928
Vértices na componente gigante	143	82	59	43	25
Porcentagem dos vértices na componente gigante	37,93%	21,75%	15,65%	11,41%	6,63%
Distância média	6,11508	4,14107	3,69927	3,95652	3,11653
Diâmetro	17	12	10	11	8
Coeficiente de clusterização	0,660338	0,670319	0,606753	0,550003	0,631349

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 13 e a Tabela 14 exibem as propriedades gerais para a rede *Bs* e *Ps* nos anos de 2014 e 2016, respectivamente.

Tabela 13 – Propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* em 2014

2014	*Bs*	*Ps*
Vértices	7508	7020
Arestas	53861	1925532
Densidade	0,015722	0,078157
Grau médio	110,3709 7,672507	548,5846
Vértices na componente gigante	7508	7020
Porcentagem dos vértices na componente gigante	100%	100%
Distância Média	4,29697	2,17078
Diâmetro	8	4
Coeficiente de Clusterização	0	0,644555

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 – Propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* em 2016

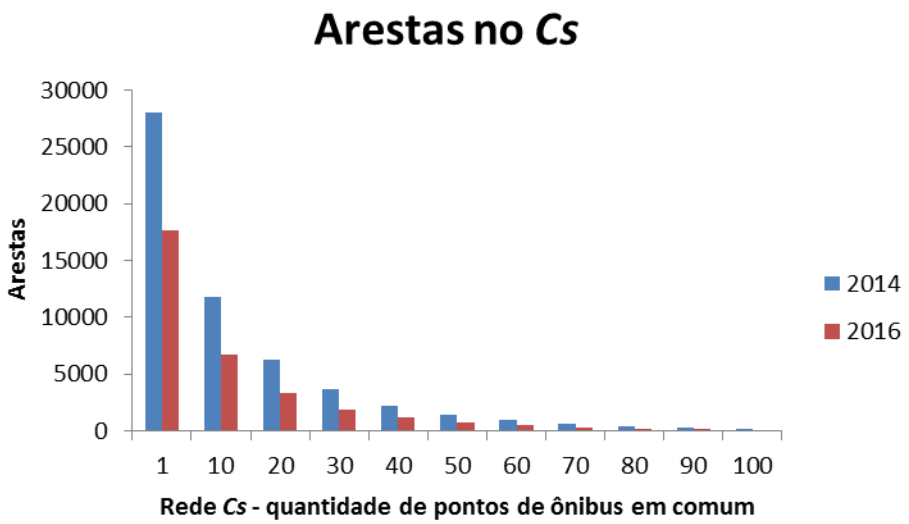
2016	*Bs*	*Ps*
Vértices	7033	6656
Arestas	40210	1537649
Densidade	0,016024	0,069427
Grau médio	106,6578 6,041166	462,034
Vértices na componente gigante	7033	6656
Porcentagem dos vértices na componente gigante	100,00%	100,00%
Distância Média	4,391	2,21676
Diâmetro	8	4
Coeficiente de Clusterização	0	0,657854

Fonte: Elaboração própria

Com base no número de vértices da rede Cs^1 e da rede *Ps*, verifica-se que em 2014 a RTO do Rio de Janeiro possuía 488 linhas de ônibus, totalizando 7020 pontos de ônibus. Já em 2016, possuía 377 linhas e 6656 pontos. Observa-se, portanto, uma redução de 22,75% da quantidade de linhas e de 5,19% dos pontos de ônibus. Isso mostra que houve uma grande redução do número de linhas, sendo que a maioria delas passava por pontos onde já passavam outras linhas, visto que a redução do número de pontos foi bem menor, o que corrobora com a ideia do projeto de reorganização do sistema de ônibus proposto.

O Gráfico 6 apresenta as arestas no Cs^1 ao Cs^{100}. Conforme se considera a rede *Cs* com mais pontos de ônibus em comum, percebe-se que a quantidade de arestas no *Cs* diminui, principalmente da rede Cs^1 para a rede Cs^{10}, formando um gráfico de aspecto exponencial decrescente. Também é possível verificar que, em todas as redes *Cs*, a quantidade de arestas no ano de 2016 é menor do que no ano de 2014.

Gráfico 6 – Arestas no *Cs* em 2014 e 2016



Fonte: Elaboração própria

A rede Cs^1, que é a rede *Cs* original, possuía densidade 0,2357 em 2014 e 0,2487 em 2016. Ao comparar esses valores com os das demais redes, percebe-se que estas são redes densas. Como nesse modelo topológico as arestas existem se as linhas de ônibus possuírem algum ponto de ônibus em comum, esse valor sugere que existem muitas linhas que compartilham pontos em comum, ou seja, existe uma sobreposição das linhas de ônibus. A densidade encontrada em 2016 para o Cs^1 foi um pouco superior do que o valor encontrado em 2014, mostrando que apesar da grande redução da quantidade de rotas, ainda verifica-se uma grande sobreposição das linhas.

A rede *Ps* é uma rede densa, já que a mesma conecta todos os pontos de ônibus existentes dentro de uma linha, fazendo com que a cada linha introduzida, diversas ligações

sejam criadas. Nota-se que o valor da densidade diminuiu de 2014 para 2016, o que já se esperava, pois uma grande quantidade de linhas de ônibus foi retirada de circulação, proporcionando uma diminuição das ligações existentes, visto que, por consequência, retiraram-se as ligações entre os pontos de ônibus dessas linhas.

O grau médio da rede *Ps* demonstra que era possível, em 2014, ir de certo ponto de ônibus para, em média, outros 548 pontos e, em 2016, para 462 pontos dentro da cidade do Rio de Janeiro. Isso significa que o número de opções de pontos de ônibus em que é possível ir a partir de um dado ponto diminuiu. De forma semelhante, o grau médio da rede *Cs* mostra, a partir de certa linha, para quantas outras linhas é possível ir. Logo, considerando o Cs^1, em 2014, dada certa linha, era possível ir para, em média, outras 114 linhas. Em 2016, esse número reduziu para 93 linhas. Já a rede *Bs*, por ser uma rede bipartida, possui dois graus médios. Um grau médio para a partição de linhas no valor de 110,37 em 2014 e 106,66 em 2016, que representa a quantidade média de pontos de ônibus que uma linha possui, e um para a partição de pontos no valor de 7,67 em 2014 e 6,04 em 2016, que mostra a quantidade média de linhas que passam em um ponto de ônibus. Em todos os casos, percebe-se que os valores do grau médio reduziram, isto é, dado certo ponto ou certa linha, a possibilidade de ir para outro ponto ou linha foi reduzida.

A componente gigante nas redes *Ps* e *Cs* mostra a quantidade de vértices que estão conectados. Nesse caso, 100% dos vértices pertencem a componente gigante, ou seja, todos os pontos de ônibus desta cidade estão conectados. Logo, é possível ir de qualquer ponto de ônibus da cidade a outro, pois não existem pontos de ônibus soltos nesta cidade, isto é, não existe nenhuma linha que não esteja conectada com outra em algum ponto. Essa medida para a rede Cs^n ainda indica algo mais. Na rede Cs^{100}, a componente gigante possuía 53 rotas em 2014. Isso significa que 10,86% do número total de linhas de ônibus possuíam uma estrutura parecida, dada a quantidade de pontos de ônibus compartilhados. Portanto, de forma prática, seria interessante identificar essas rotas para estudar a possibilidade da substituição de uma parte delas por corredores expressos de transporte. Em 2016, ainda existiam 25 vértices na componente gigante do Cs^{100}, representando 6,63% das linhas. Isso indica que houve uma redução dessas linhas semelhantes.

A Figura 24 apresenta os pontos de ônibus das linhas pertencentes à componente gigante da rede Cs^{100} em 2014, de acordo com a sua localização física, no mapa da cidade do Rio de Janeiro. Da mesma forma, a Figura 25 apresenta esses dados em 2016. Verifica-se que na parte inferior e na parte lateral do mapa houve uma grande redução desses pontos de 2014 para 2016, restando a maior parte deles concentrada na parte superior do mapa. Pode-se dizer que a redução dos pontos nessas regiões ocorreu, principalmente, devido à introdução do BRS na Zona Sul e à criação do BRT na Zona Oeste neste período. O BRT é um transporte público onde os ônibus (geralmente maiores que os ônibus convencionais) circulam em um corredor

expresso, possuindo certos pontos que sempre param. A Figura 26 mostra os corredores do BRT existentes no Rio de Janeiro. A linha em vermelho é a Transcarioca, que liga o bairro da Barra da Tijuca ao Aeroporto Internacional Tom Jobim; a linha em vinho é a Transolímpica, que liga os bairros da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes aos bairros de Deodoro e Magalhães Bastos; a linha em lilás é a Transoeste, que conecta a zona oeste à Barra da Tijuca. Como se pode observar pela Figura 24 e pela Figura 26, parte do trajeto da Transoeste ocorre onde existia uma grande quantidade de linhas sobrepostas em 2014. A linha em amarelo é a Transbrasil, que percorrerá a Avenida Brasil, e que ainda não se encontra finalizada. Esse corredor de BRT pode vir a reduzir as linhas semelhantes nesse trajeto, já que, de acordo com o mapa da Figura 25, diversas linhas param nos mesmos pontos de ônibus nessa região, especialmente na Avenida Brasil.

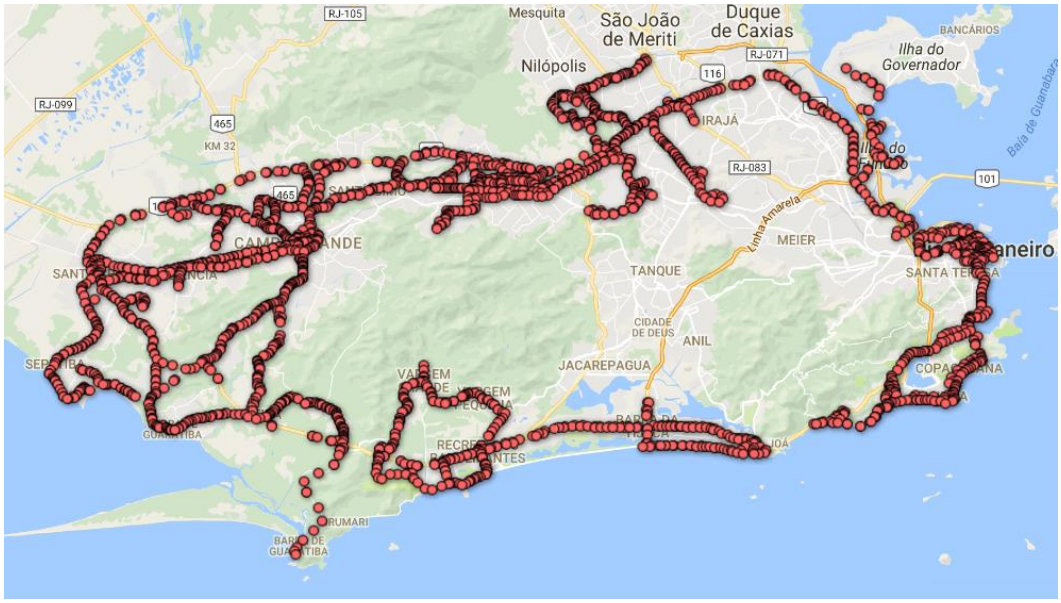


Figura 24 – Pontos de ônibus pertencentes a componente gigante da rede Cs^{100} em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

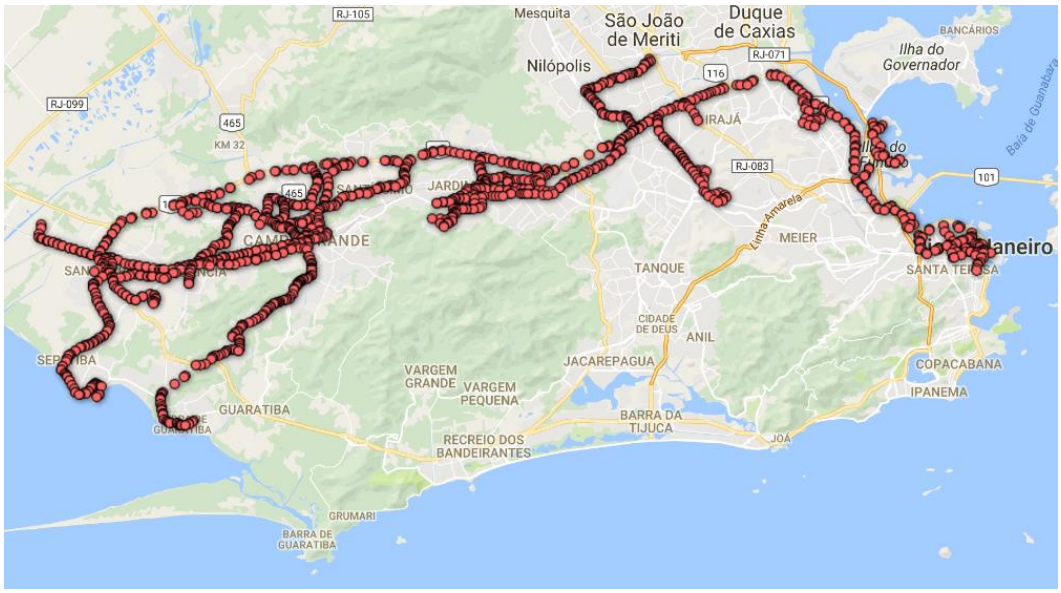


Figura 25 – Pontos de ônibus pertencentes a componente gigante da rede Cs^{100} em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



Figura 26 – Sistema do BRT no Rio de Janeiro
Fonte: Portal Ônibus Paraibanos (2012)

Ao comparar a Figura 24 com a Figura 26, verifica-se que alguns corredores expressos do BRT estão localizados no trajeto onde as linhas com 100 pontos em comum passavam em 2014, como é o caso da Transoeste e da Transbrasil. Portanto, é possível inferir que a medida da componente gigante de linhas com muitos pontos de parada em comum é uma metodologia adequada para verificar possíveis corredores expressos.

A distância média na rede *Ps* mostra, em média, quantas linhas de ônibus são necessárias para ir de um ponto a outro dentro da cidade. Em 2014, eram necessárias, em média, 2,17 linhas, já em 2016, 2,22. Esse valor aumentou no período estudado, o que

corrobora com o que foi evidenciado pela variação do grau médio da rede *Ps*: a possibilidade de ir diretamente para outro ponto foi reduzida, logo, os pontos tendem a estar mais distantes.

Na rede *Cs*, a distância média apresenta quantas linhas são necessárias, em média, para se locomover de uma linha para outra. O valor encontrado para essa propriedade na rede Cs^1 foi de aproximadamente 1,83 nos dois anos estudados. Esse valor apresentou uma constância provavelmente porque, apesar de ter diminuído a possibilidade de linhas que se pode ir diretamente (evidenciado pelo grau médio da rede Cs^1), também se diminuiu a quantidade de linhas totais de 2014 para 2016.

Para a rede *Ps*, o diâmetro representa o número máximo de linhas que é necessário para ir de um ponto de ônibus a outro qualquer. O valor encontrado nos dois anos estudados foi igual a 4, isto é, para trafegar entre os dois pontos de ônibus mais distantes desta cidade será necessária a utilização de quatro linhas.

O coeficiente de clusterização na rede *Ps* representa as alternativas de deslocamentos existentes próximas a certo ponto de ônibus. O valor encontrado em 2014 foi de 0,644555 e em 2016 foi de 0,657854, representando um pequeno aumento de um ano para o outro. Como a densidade e o grau médio diminuíram de 2014 para 2016, esperava-se que o coeficiente de clusterização também diminuísse. Logo, essa medida divergiu do esperado. Por não ser o escopo deste trabalho, não houve uma investigação maior do por que desse resultado, tornando-se uma sugestão para uma melhor apuração em trabalhos futuros.

De forma concisa, a Tabela 15 e a Tabela 16 apresentam um resumo da variação das propriedades gerais para uma melhor visualização, isto é, essas tabelas mostram se os valores das propriedades aumentaram ou diminuíram de 2014 para 2016. A seta azul para baixo significa que a mesma reduziu seu valor nesse período, já a seta laranja para cima significa que seu valor foi maior em 2016 do que em 2014. O traço preto significa que o valor se manteve o mesmo. A Tabela 15 apresenta essa variação para as redes *Cs*, enquanto que a Tabela 16, para a rede *Bs* e *Ps*.

Tabela 15 – Variação das propriedades gerais das redes *Cs* de 2014 para 2016

Propriedades	*Cs* 1	*Cs* 10	*Cs* 20	*Cs* 30	*Cs* 40	*Cs* 50	*Cs* 60	*Cs* 70	*Cs* 80	*Cs* 90	*Cs* 100
Vértices	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Arestas	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Densidade	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Grau Médio	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Vértices na componente gigante	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Porcentagem dos vértices na componente gigante	-	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Distância média	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓
Diâmetro	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓
Coeficiente de clusterização	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16 – Variação das propriedades gerais da rede *Bs* e *Ps* de 2014 para 2016

	Bs	*Ps*
Vértices	↓	↓
Arestas	↓	↓
Densidade	↑	↓
Grau médio	↓	↓
Vértices na componente gigante	↓	↓
Porcentagem dos vértices na componente gigante	-	-
Distância Média	↑	↑
Diâmetro	-	-
Coeficiente de Clusterização	-	↑

Fonte: Elaboração própria

6.2 - Medidas de centralidade

As medidas de centralidade são representadas pelas propriedades de grau, proximidade e intermediação. Da mesma forma que com as propriedades gerais, foram obtidas as medidas de centralidade para cada modelo topológico analisado em 2014 e 2016. Para uma melhor organização e clareza desta seção, a mesma foi subdividida de acordo com o modelo topológico.

6.2.1 - *Bs*

Como já explicado anteriormente, a rede Bs possui o grau dos pontos de ônibus e o grau das linhas. O grau da partição de linhas representa a quantidade de pontos de ônibus que uma linha possui, enquanto que o grau da partição de pontos mostra a quantidade de linhas que passam em um ponto de ônibus.

Foram selecionados os 20 pontos de ônibus com grau mais elevado em 2014 e em 2016. Esses pontos encontrados foram plotados em vermelho no mapa da cidade do Rio de Janeiro para verificar de sua localização. A Figura 27 mostra esses pontos no ano de 2014 e a Figura 28, no ano de 2016. O ponto destacado em verde representa o ponto de ônibus de maior grau. Verifica-se que esses pontos estão distribuídos principalmente na região onde é considerado o centro da cidade e, portanto, possui intensa atividade comercial e locomoção de pessoas.

Observa-se que em 2014, os 20 pontos de ônibus com grau mais elevado tiveram essa propriedade variando entre 49 e 78, enquanto que em 2016, variou entre 43 e 68. Em 2014, o ponto de ônibus de maior grau possuía seu valor igual a 78, isto é, neste único ponto passavam 78 linhas diferentes. Já em 2016, esse valor diminuiu para 68. Apesar desses valores ainda serem altos, verifica-se que houve uma redução do grau, o que favorece o melhor tráfego dos ônibus nesses pontos.

Também se verifica que existem alguns pontos de ônibus em 2014 e em 2016 na Avenida Brasil, na altura de Guadalupe. Além disso, em 2014 existiam dois pontos de ônibus com grau elevado na Barra da Tijuca, onde é o Terminal Alvorada. Esses pontos de ônibus não apareceram no mapa de 2016 devido à introdução do BRT nessa região.

A latitude e a longitude de cada ponto de ônibus destacado, assim como o seu respectivo valor de grau encontra-se no Apêndice C e no Apêndice D, para os anos de 2014 e 2016, respectivamente.

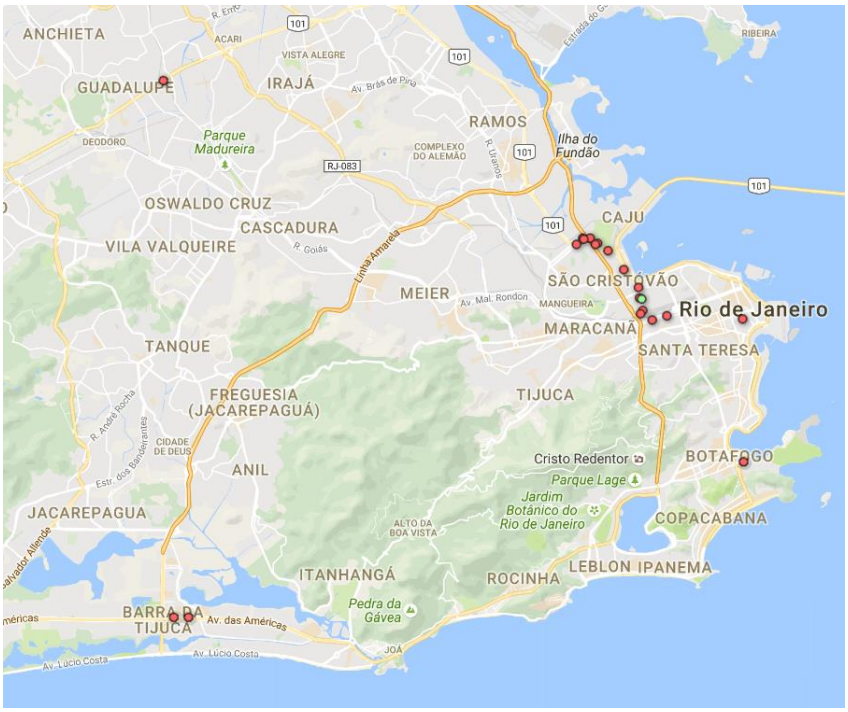


Figura 27 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

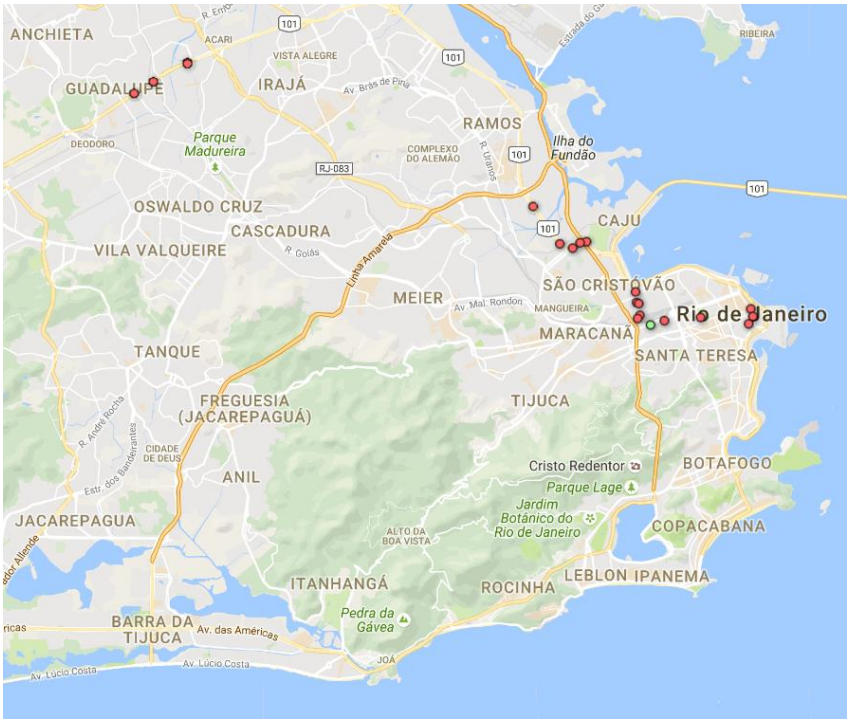


Figura 28 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

A região do centro da cidade onde se encontra o grau máximo foi mais bem estudada adiante. A Figura 29 e a Figura 30 apresentam esse local no ano de 2014 e 2016, respectivamente. Observa-se que nessa pequena área encontra-se um grande número de

pontos de ônibus com grau elevado nas Avenidas Francisco Bicalho e Presidente Vargas, ou seja, nessas ruas passam uma vasta quantidade de linhas. Percebe-se também que o ponto de ônibus de grau máximo em 2014 é diferente do ponto de 2016, apesar de estarem bem próximos.



Figura 29 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* na região do centro da cidade em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

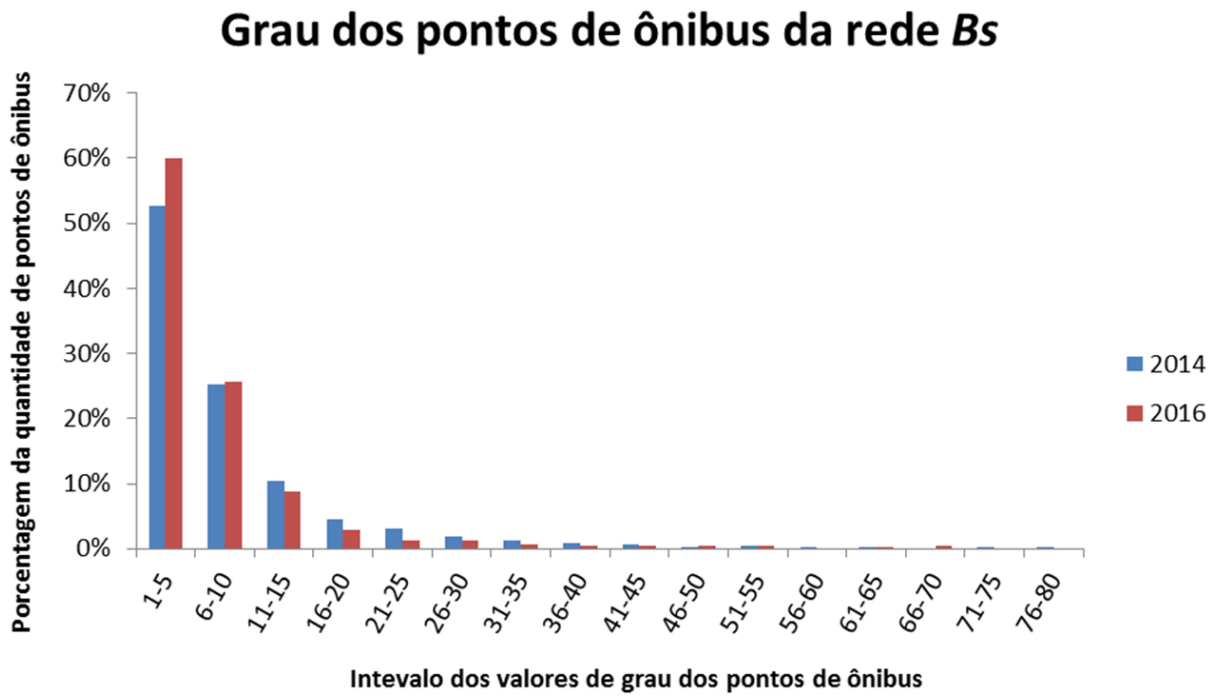


Figura 30 – Pontos de ônibus com grau mais elevado na rede *Bs* na região do centro da cidade em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

O Gráfico 7 exibe a porcentagem da quantidade de pontos de ônibus por intervalo dos valores do grau em 2014 e 2016. Percebe-se que a faixa de intervalo entre 1 e 5 possui a maioria dos pontos de ônibus, ou seja, na maior parte dos pontos passam até 5 linhas diferentes. Já os pontos em que passam muitas linhas representam a minoria dos pontos de ônibus. Isso pode ser evidenciado em ambos os anos, 2014 e 2016. Além disso, observa-se que em 2016 aumentou a quantidade de pontos de ônibus com grau mais baixo e diminuiu o

número de pontos com grau mais elevado, isto é, houve uma redução da quantidade de linhas que passam pelos pontos de ônibus.

Gráfico 7 – Distribuição do grau, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Bs*



Fonte: Elaboração própria

Também foram selecionados os valores do grau para a outra partição do Bs, que é a partição das linhas. Para isso, foram escolhidas as 20 linhas que possuíam grau mais elevado em 2014 e 2016. As tabelas contendo o nome das linhas e os seus respectivos valores de grau no ano de 2014 e 2016 encontram-se no Apêndice E e no Apêndice F, respectivamente.

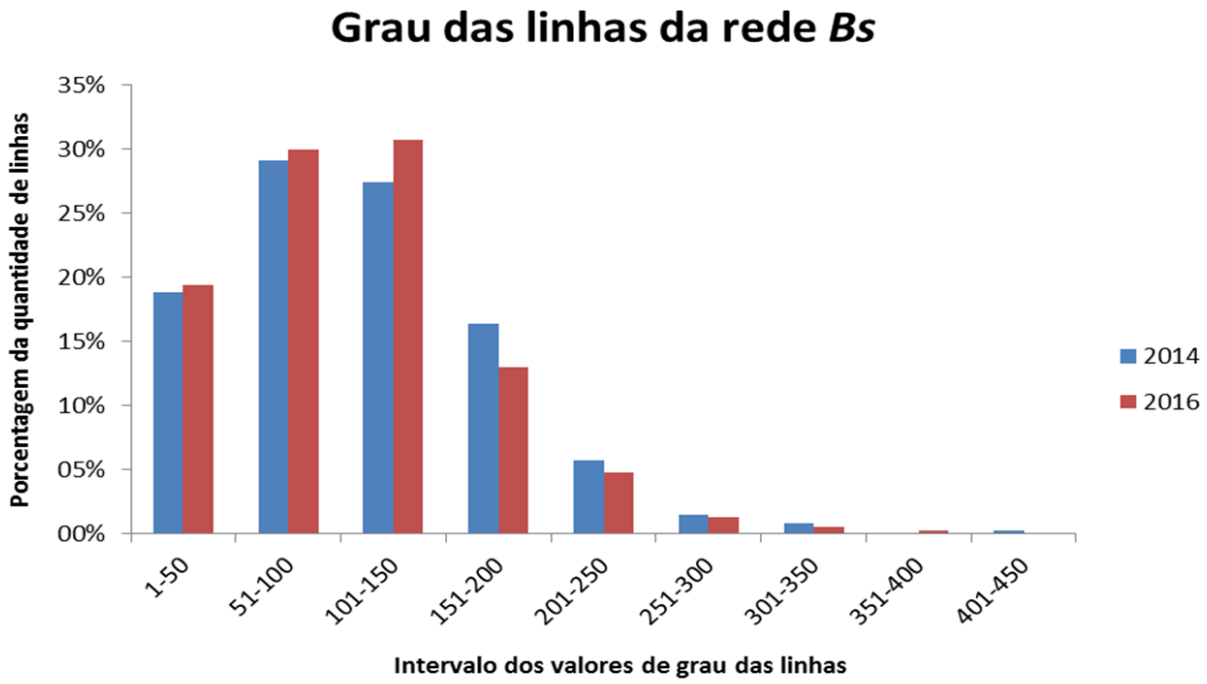
Para essas linhas, no ano de 2014, o grau variou entre 227 e 416, e no ano de 2016, variou entre 219 e 360. Isso significa que em 2014, a linha de maior grau (2334-CAMPO GRANDE X CASTELO) parava em 416 pontos de ônibus ao longo do seu trajeto. No entanto, em 2016, essa mesma linha, que permaneceu como a linha de maior grau, parava em 360 pontos.

De maneira geral, nota-se que ocorreu uma redução do grau das linhas, incluindo o grau máximo. Essa diminuição permite que as linhas sejam mais rápidas, já que as mesmas precisam parar em menos pontos.

O Gráfico 8 retrata a porcentagem da quantidade de linhas por intervalo dos valores do grau em 2014 e 2016. Observa-se que apesar de algumas linhas pararem em uma grande quantidade de pontos de ônibus, essas linhas são minorias, ou seja, a maior parte das linhas de ônibus possui valores entre 1 e 200 pontos, especialmente entre 51 e 150. Isso se reflete

nos anos de 2014 e 2016. Ademais, verifica-se que em 2016 aumentou a quantidade de linhas com grau mais baixo e diminuiu o número de linhas com grau mais elevado, ou seja, houve uma redução da quantidade de pontos de ônibus que as linhas possuem.

Gráfico 8 – Distribuição do grau, por intervalo, das linhas da rede *Bs*



Fonte: Elaboração própria

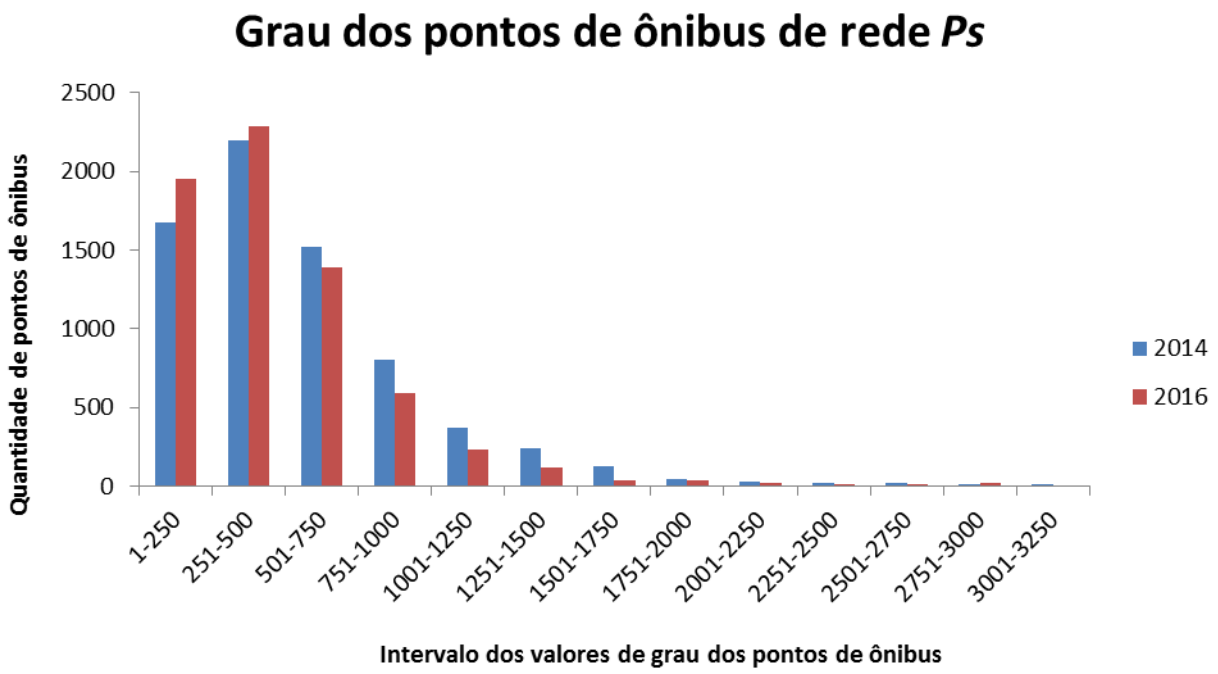
6.2.2 - *Ps*

A medida de centralidade grau para o *Ps* mostra, a partir de certo ponto, para quantos pontos de ônibus é possível ir, utilizando-se apenas uma linha. O Gráfico 9 apresenta o grau dos pontos de ônibus da rede *Ps* dividido por intervalos em 2014 e 2016. Pelo gráfico, verifica-se que a maioria dos pontos possui grau variando entre 251 e 500, porém alguns pontos possuem grau bastante elevado. Em 2014, existem três pontos de ônibus que possuem grau entre 3001 e 3250. Isso significa que a partir de cada um desses pontos é possível ir para mais de 3000 outros pontos de ônibus, usufruindo apenas de uma linha. Esse valor representa mais de 42% dos pontos totais existentes no Rio de Janeiro.

Em 2016, diferentemente de 2014, não existe nenhum ponto de ônibus com grau superior a 3000. A maior faixa de grau atingida é entre 2751 e 3000, que contêm 6 pontos. Em termos de porcentagem, pode-se afirmar que a partir desses 6 pontos é possível ir para mais de 41% dos pontos de ônibus da cidade.

A tabela que gerou o Gráfico 9 encontra-se no Apêndice G.

Gráfico 9 – Distribuição do grau, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps*



Fonte: Elaboração própria

Esses pontos de ônibus com grau muito elevado são pontos centrais, ou seja, a partir dele é possível acessar diversos outros pontos dentro da cidade, contribuindo para que esses pontos sejam muito utilizados pela população, já que os mesmos permitem ir a vários lugares.

A Figura 31 apresenta os pontos de ônibus com grau superior a 2000 no mapa do Rio de Janeiro em 2014, enquanto que a Figura 32 apresenta os mesmos pontos existentes em 2016. Percebe-se que a quantidade desses pontos diminuiu bastante, eram 60 em 2014 e 20 em 2016, já as áreas de localização desses pontos permaneceram praticamente as mesmas em ambos os anos. Existiam alguns pontos de ônibus na Avenida Brasil, na altura de Guadalupe e do Caju, restando apenas sete desses pontos nessa via. Também existia uma concentração de pontos em Cascadura, próxima às estações de trem de Madureira e de Cascadura, que foi reduzida a apenas um ponto de ônibus. Além disso, houve uma redução dos pontos de ônibus no centro da cidade. Observa-se, no entanto, que a mesma região onde estavam os pontos de ônibus de grau máximo no *Bs* (Figura 29 e Figura 30) também está presente no mapa, ou seja, os pontos existentes nessa área também são considerados centrais pela medida de centralidade grau no *Ps*.

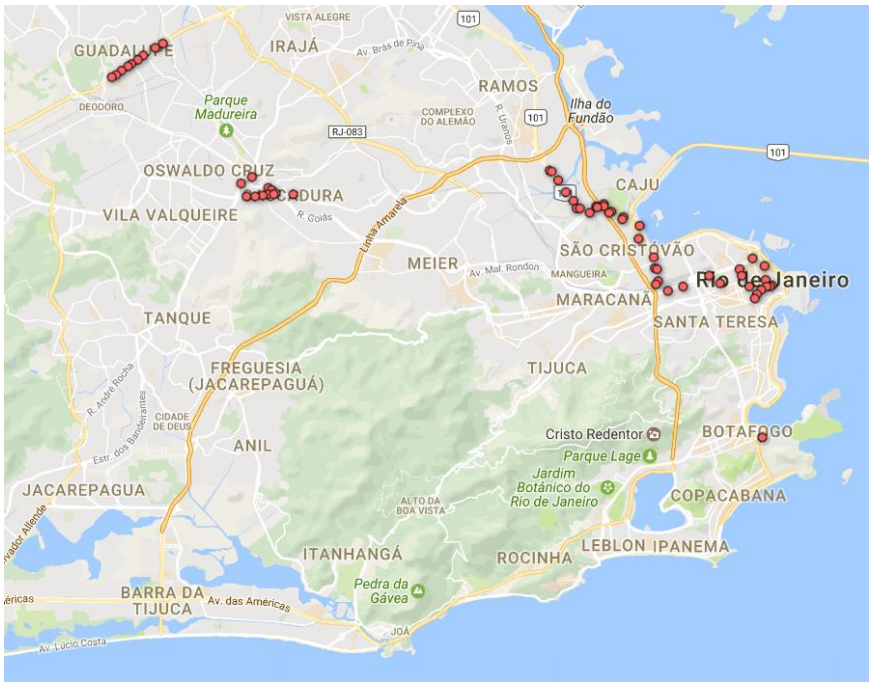


Figura 31 – Pontos de ônibus com grau acima de 2000 na rede *Ps* em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

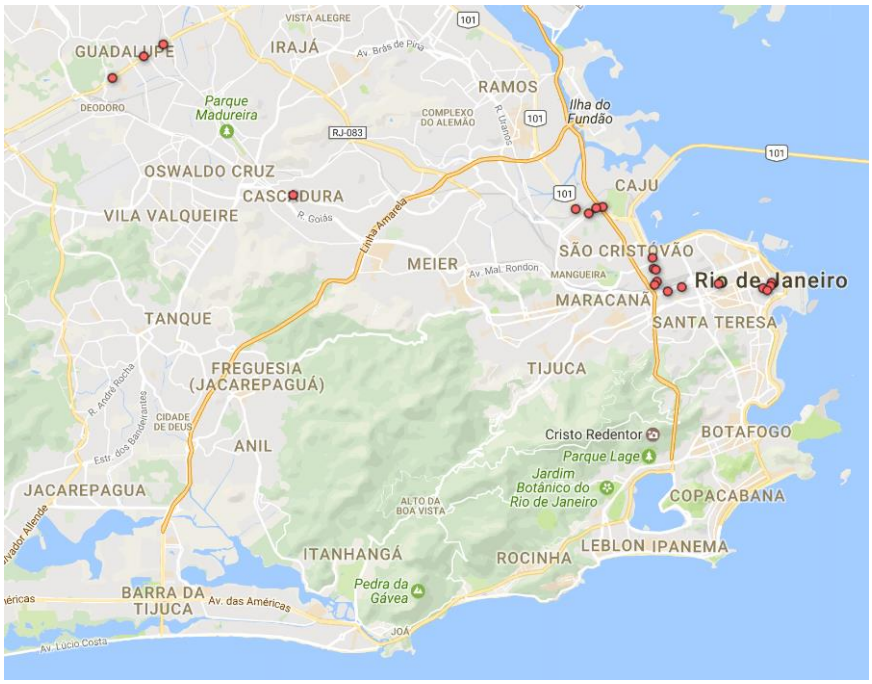


Figura 32 – Pontos de ônibus com grau acima de 2000 na rede *Ps* em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

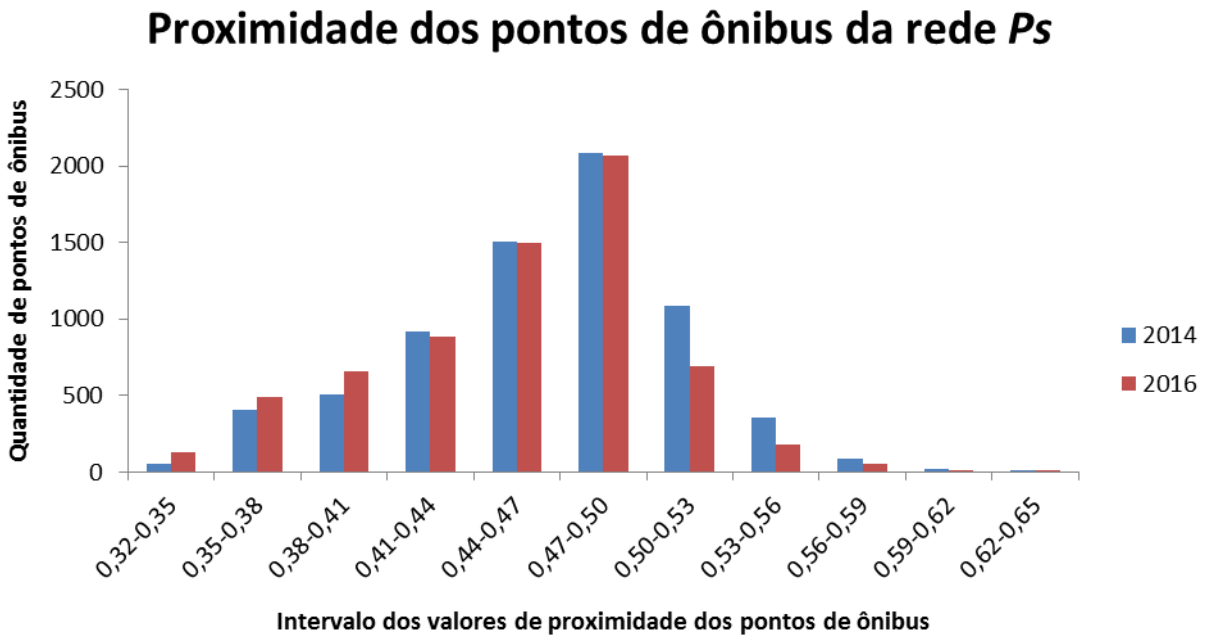
A medida de centralidade proximidade indica o quão perto um vértice está do outro, ou seja, se um ponto possui valor de proximidade alto, ele se encontra com uma distância menor para outros pontos. Na rede *Ps*, um ponto de ônibus ser considerado próximo a outros (possuir proximidade elevada) significa que nesse ponto passam muitas linhas para conectar esse ponto aos demais. Portanto, seria interessante estudar o local desse ponto, para que se

colocasse um terminal rodoviário nessa área, pois por passarem muitas linhas nesse mesmo local, pode haver congestionamento no trânsito nessa região.

O Gráfico 10 apresenta os valores da proximidade de cada ponto de ônibus distribuídos em faixas que variam de 0,03 em 0,03, começando em 0,32, que foi o menor valor encontrado para essa propriedade em ambos os anos.

A tabela que gerou o Gráfico 10 encontra-se no Apêndice H.

Gráfico 10 – Distribuição da proximidade, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps*



Fonte: Elaboração própria

Por meio desse gráfico, evidencia-se que o intervalo de 0,47 a 0,50 possuía o maior número de pontos de ônibus, sendo 2084 em 2014 e 2065 em 2016. Já a maior faixa de intervalo, que é a de 0,62 a 0,65, possuía 6 pontos em 2014 e 7 em 2016. De um modo geral, observa-se que a distribuição dos pontos nos dois anos estudados manteve-se com certa constância, possuindo pequenas variações nas quantidades de pontos nos intervalos de 2014 para 2016.

A Figura 33 exibe os pontos de ônibus das duas últimas faixas de intervalo (0,59 a 0,62 e 0,62 a 0,65) no mapa da cidade do Rio de Janeiro em 2014 e a Figura 34, em 2016. A quantidade de pontos de 2014 para 2016 reduziu para a metade. Em 2014, eram 28 pontos e, em 2016, 14 pontos. A localização dos pontos também mudou um pouco, tornando-se mais agrupados, já que em 2014 eles se encontravam mais espalhados do que em 2016. Ademais, verificou-se que os pontos da Avenida Brasil, na altura de Guadalupe que apareciam na centralidade de grau no *Ps* e no *Bs*, não apareceram na proximidade do *Ps* e que os pontos presentes na região de Cascadura, próximos à estação de trem, apareceram no mapa do ano

de 2014 somente. Observou-se também que os pontos existentes na região do centro da cidade das Figura 29 e Figura 30 apresentam-se como pontos centrais considerando a centralidade de proximidade de 2014 e 2016.

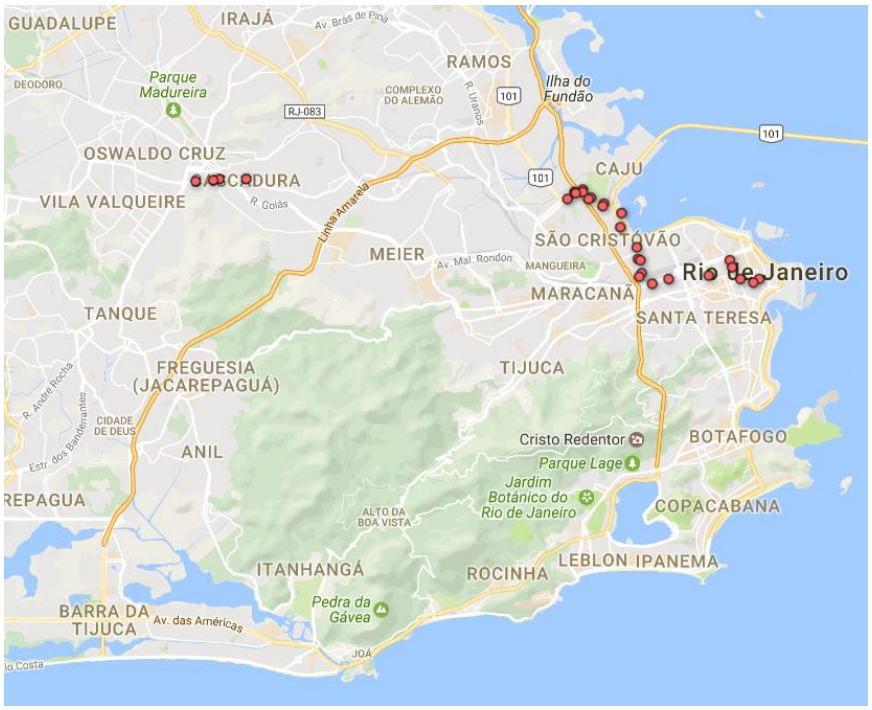


Figura 33 – Pontos de ônibus com proximidade acima de 0,59 na rede *Ps* em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

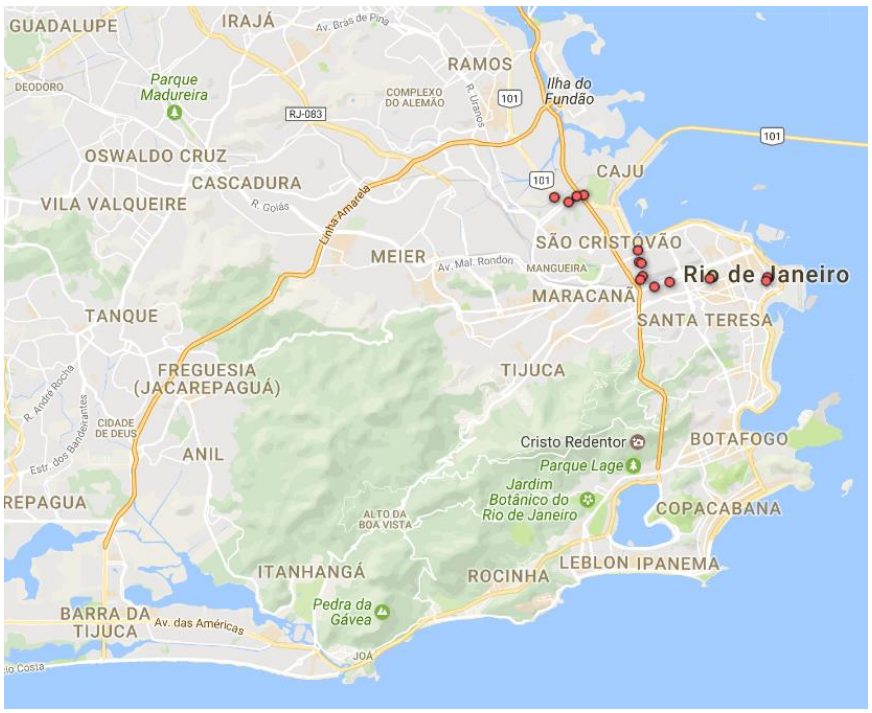


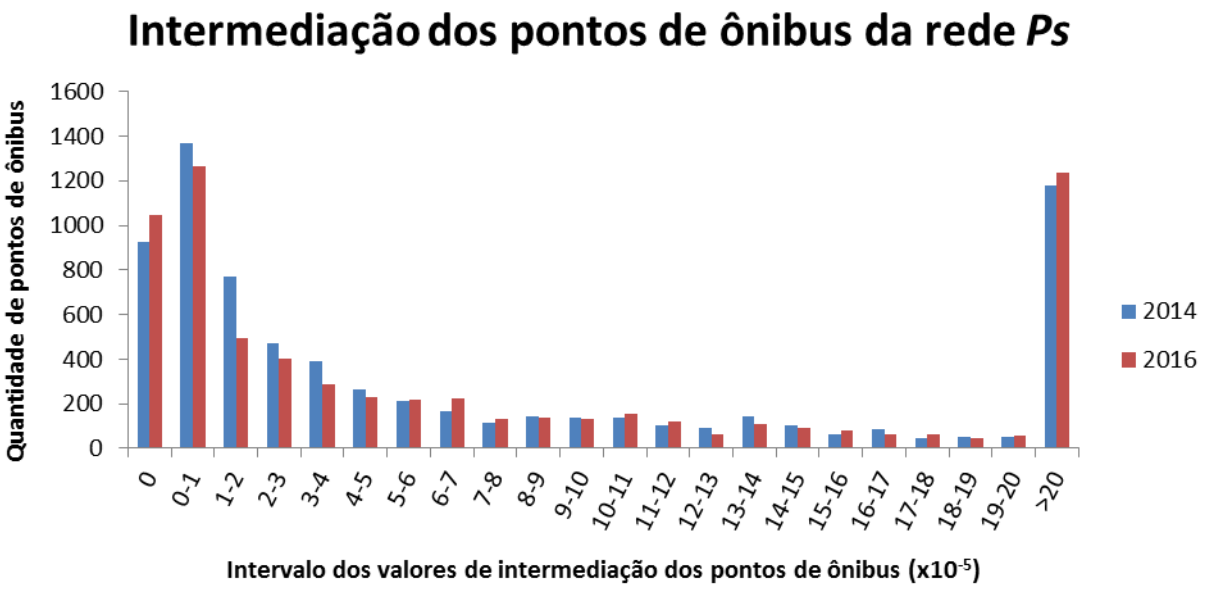
Figura 34 – Pontos de ônibus com proximidade acima de 0,59 na rede *Ps* em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

A medida de centralidade intermediação mede a quantidade de caminhos com distâncias mais curtas dentro rede que passam pelo ponto. Dentro de uma rede *Ps*, para ir de um ponto a outro, provavelmente o passageiro passará por um ponto que possua intermediação alta, pois pontos de ônibus com intermediação elevada são pontos que servem como conectores de outros pontos, considerando a menor distância possível, ou seja, são pontos de ônibus utilizados para uma melhor transferência entre as linhas.

O Gráfico 11 exibe a distribuição dos valores da intermediação dos pontos de ônibus em faixas de $1x10^{-5}$, iniciando do zero. Apesar da faixa de intervalo escolhida ser muito pequena, ainda assim a maior parte dos pontos de ônibus localiza-se entre 0 e $1x10^{-5}$, em ambos os anos. Isso ocorre porque essa rede de ônibus é uma rede muita densa, com diversos pontos de conexão. Por isso, existem vários pontos de transferência possíveis dentro desse sistema, fazendo com que o valor de intermediação dos pontos seja muito baixo. Nota-se também que no ano de 2016 os valores máximos da intermediação (intervalo com valores maiores que $20x10^{-5}$) foram maiores do que em 2014. Isso pode ter acontecido, provavelmente, devido a grande redução do número de linhas em relação à redução dos pontos de ônibus, diminuindo, assim, as alternativas de pontos de transferência.

A tabela que gerou o Gráfico 11 encontra-se no Apêndice I.

Gráfico 11 – Distribuição da intermediação, por intervalo, dos pontos de ônibus da rede *Ps*



Fonte: Elaboração própria

A Figura 35 e a Figura 36 mostram os pontos de ônibus com valores de intermediação maiores que $420x10^{-5}$ nos anos de 2014 e 2016, respectivamente. Percebe-se que a quantidade desses pontos variou um pouco, sendo 21 em 2014 e 30 em 2016, sendo a única medida de centralidade analisada que teve a quantidade de pontos de ônibus aumentada de

2014 para 2016. Como explicado anteriormente, isso ocorreu provavelmente devido ao fato de ter diminuído a quantidade de linhas e pontos – especialmente de linhas – reduzindo, assim, a variedade de caminhos mais curtos que conectavam dois pares de pontos de ônibus quaisquer dentro da rede, o que fez com que os pontos tivessem uma importância maior na transferência entre linhas.

Já em relação à localização deles, verificou-se que permaneceu praticamente a mesma, com pequenas variações nas quantidades de pontos de ônibus. Na intermediação do *Ps*, apareceram alguns pontos em Campo Grande, que não haviam sido destacados nas outras medidas de centralidade. Em contrapartida, os pontos da região de Cascadura se mantiveram como pontos centrais nesta medida. Por fim, ressalta-se que os pontos de ônibus presentes na pequena área destacada nas Figura 29 e Figura 30 também apareceram no mapa dos pontos de ônibus com intermediação acima de $420x10^{-5}$ na rede *Ps* em 2014 e 2016 (Figura 35 e Figura 36), revelando, mais uma vez, a importância desses pontos.

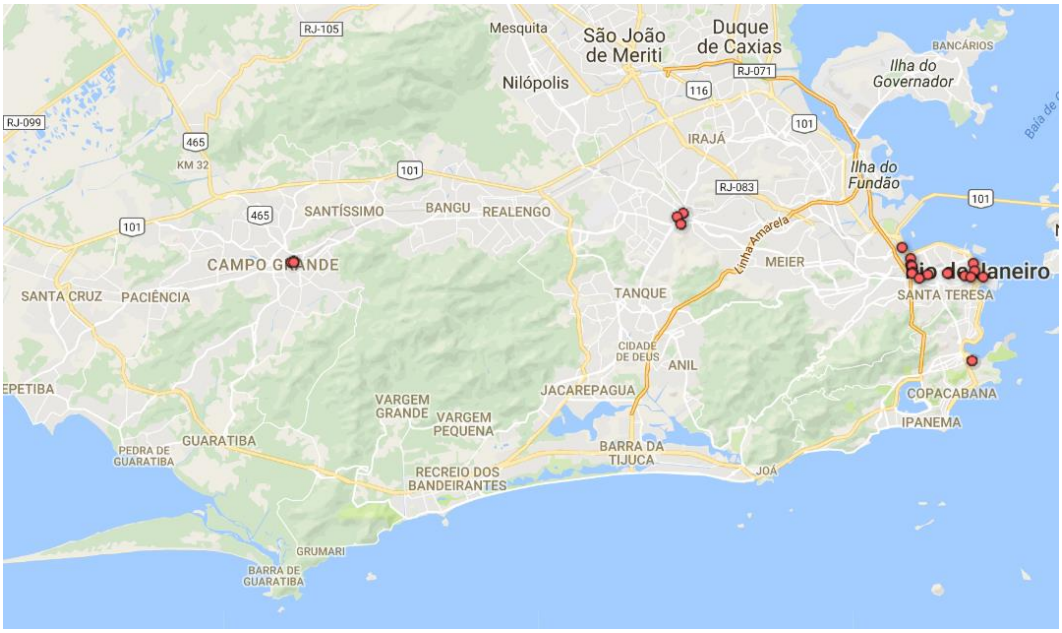


Figura 35 – Pontos de ônibus com intermediação acima de $420x10^{-5}$ na rede *Ps* em 2014
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

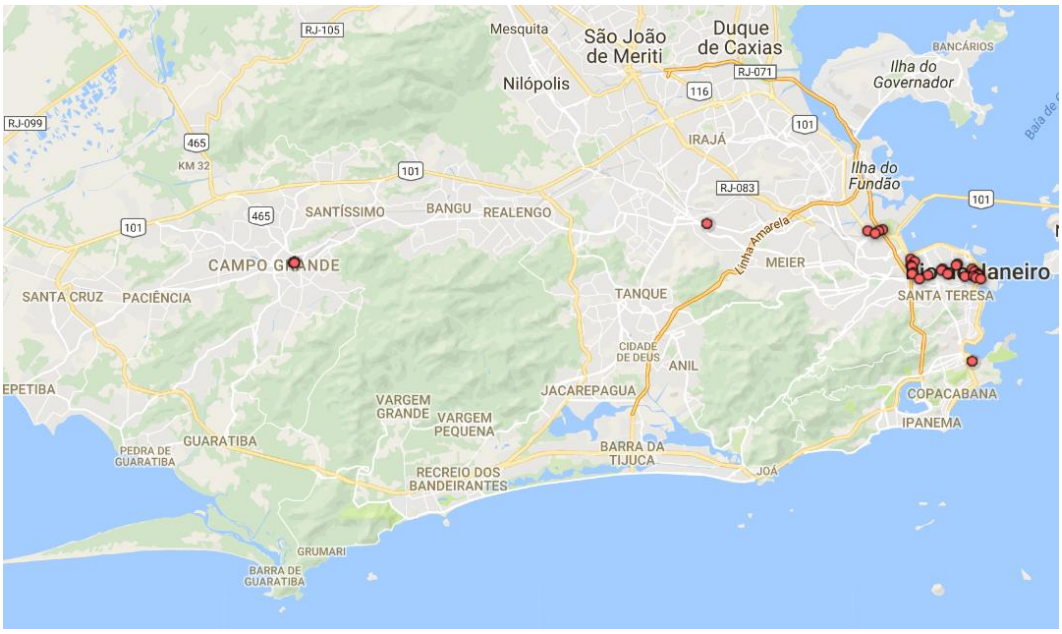


Figura 36 – Pontos de ônibus com intermediação acima de $420x10^{-5}$ na rede *Ps* em 2016
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

6.2.3 - *Cs*

Cada rede *Cs* possui linhas centrais diferentes. Por isso, verificaram-se as vinte linhas com valor mais elevado de cada uma das três medidas de centralidade estudadas. A primeira medida analisada foi o grau.

A medida de centralidade grau para o *Cs* representa, a partir de certa linha, a quantidade de linhas que se pode ir. Linhas com grau elevado nesta rede podem mostrar possíveis corredores de transporte e a existência de linhas alimentadoras. A Figura 37 mostra um exemplo, onde se pode entender melhor o grau para a rede *Cs*. Considerando que os ônibus da figura sejam linhas, a linha laranja possui grau 5, o mais elevado desta rede, e é utilizada como linha de transferência entre as linhas azuis, ou seja, para ir de uma linha azul até a outra linha azul qualquer, será necessário usar a linha laranja. Portanto, por a linha laranja ser uma rota muita utilizada, essa poderia ser substituída por um corredor de transporte, aumentando assim sua capacidade e rapidez. Já as rotas azuis poderiam ser consideradas como linhas alimentadoras desse corredor de transporte, pois essas são as linhas diretamente conectadas a ele.

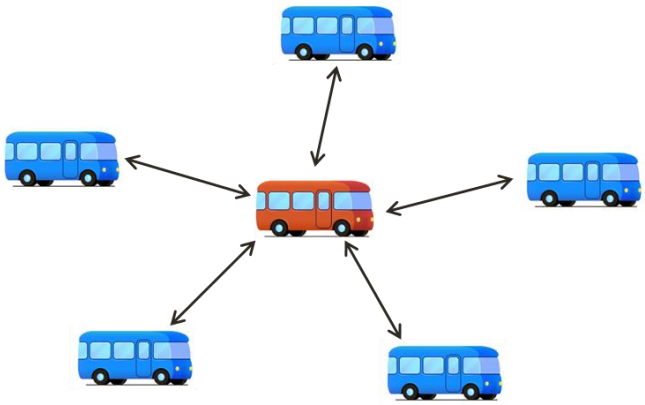


Figura 37 – Explicação da centralidade grau na rede *Cs*
Fonte: Elaboração própria

O Apêndice J contém figuras com os vários mapas da cidade do Rio de Janeiro mostrando a localização dos pontos de ônibus das vinte linhas com grau mais elevado em 2014, para cada rede *Cs* analisada – Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, até Cs^{100}. Além disso, o Apêndice J também apresenta os mapas de intensidade desses pontos, que permitem expor os pontos de acordo com a quantidade dessas linhas que passam por esses pontos, sendo que quanto mais próximo do vermelho, mais linhas param naquele ponto, e quanto mais próximo do verde, menos linhas param ali. Vale ressaltar que para uma melhor visualização da intensidade de linhas que passam por certo ponto, foram desconsiderados os pontos onde passava apenas uma linha.

O Apêndice K contém esses mesmos dados para o ano de 2016. Com essas figuras é possível avaliar a evolução das linhas mais centrais em cada rede *Cs*, ou seja, de acordo com a quantidade de pontos de ônibus em comum que as linhas possuem. A Figura 38 apresenta alguns desses mapas de intensidade, presentes nos Apêndice J e Apêndice K, das redes Cs^{1}, Cs^{30}, Cs^{50} e Cs^{100} para os anos de 2014 e 2016.

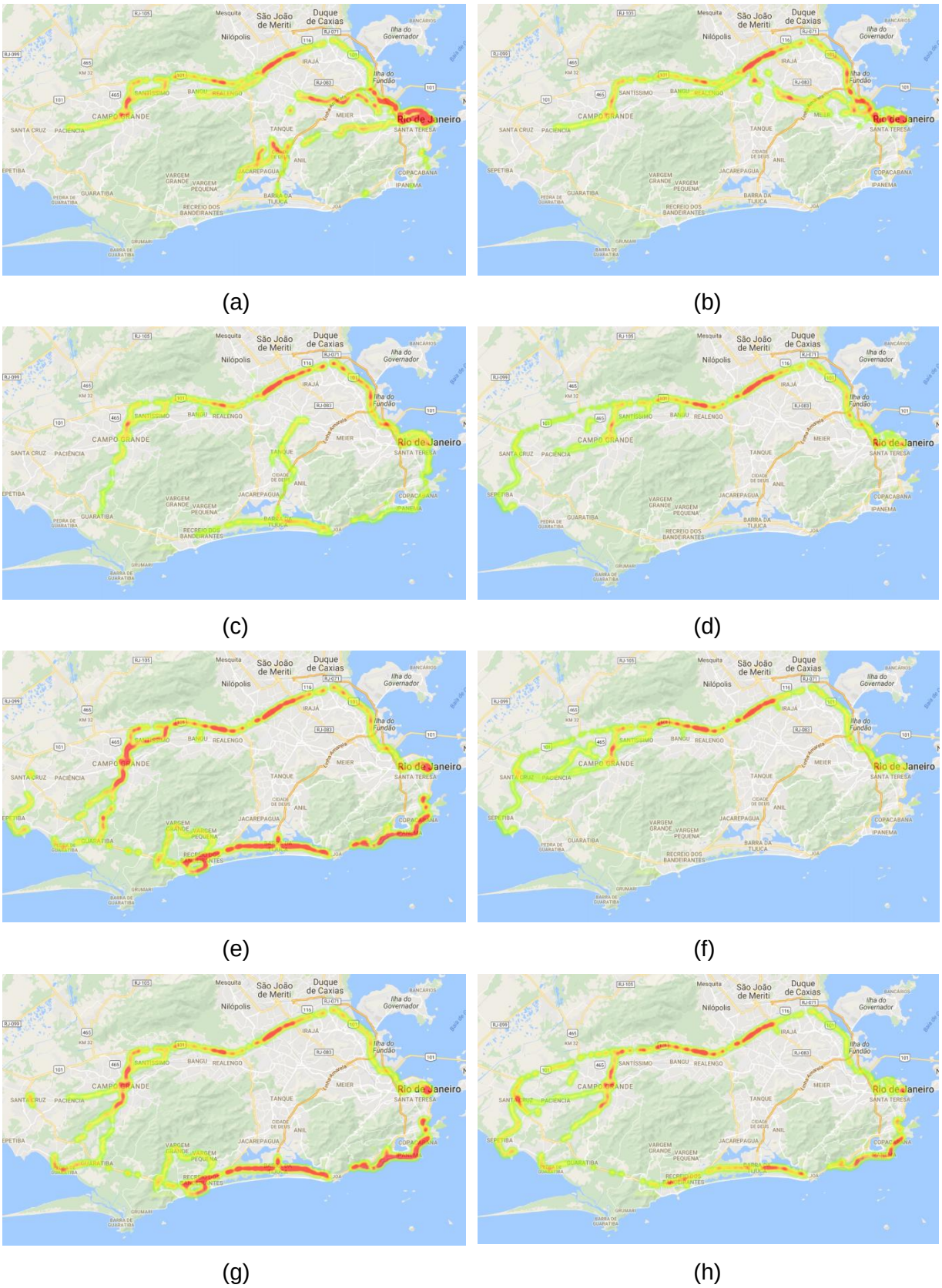


Figura 38 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs*. (a) Cs^{1} em 2014. (b) Cs^{1} em 2016. (c) Cs^{30} em 2014. (d) Cs^{30} em 2016. (e) Cs^{50} em 2014. (f) Cs^{50} em 2016. (g) Cs^{100} em 2014. (h) Cs^{100} em 2016.
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

De modo geral, verificou-se, a partir dessas figuras do Apêndice J e do Apêndice K, que em 2014 os mapas da rede Cs^{40} até a rede Cs^{100} são mais semelhantes, contendo pontos de ônibus nas mesmas regiões no perímetro da cidade. Isso mostra que quando se consideram apenas as linhas com várias paradas em comum, os pontos de ônibus onde param mais linhas, ou seja, os pontos mais centrais, localizam-se nas mesmas áreas da cidade.

Em relação ao mapa de intensidade, também no ano de 2014, a rede Cs^{1} até Cs^{30} mostra uma concentração maior de linhas de ônibus que passam pelos mesmos pontos principalmente na região do centro da cidade (à direita do mapa) e de um trecho da Avenida Brasil (parte superior do mapa). Na rede Cs^{40} até a Cs^{100}, esses pontos de ônibus com muitas linhas localizam-se especialmente na Avenida das Américas (região inferior do mapa), em mais trechos da Avenida Brasil e na área litorânea da Zona Sul – Avenida Niemeyer, Avenida Vieira Souto e Avenida Atlântica. Nessas redes, o centro da cidade ainda apresentou pontos com grau elevado nessa área, porém em menor quantidade que nas redes Cs^{1} a Cs^{30}.

Em 2016, o grau das linhas reduziu em relação ao ano de 2014. Além disso, a intensidade dos pontos de ônibus onde param muitas linhas (região vermelha no mapa de intensidade) também diminuiu, isto é, a quantidade de linhas passando pelos mesmos pontos está menor do que no ano de 2014. Da rede Cs^{1} até a Cs^{20}, a intensidade desses pontos é maior, principalmente no centro da cidade e em um trecho da Avenida Brasil. Já na rede Cs^{30} até a Cs^{80}, as regiões desses pontos permaneceram as mesmas, porém em menor quantidade. Na rede Cs^{90} e Cs^{100}, os pontos estão mais espalhados pelo mapa, surgindo alguns pontos na Avenida das Américas, na Zona Sul e em outras partes da Avenida Brasil.

Outra questão importante para se analisar é o grau das linhas com valor de grau mais alto na rede Cs^{100}. A Tabela 17 mostra as linhas com grau elevado na rede Cs^{100} em 2014, enquanto que a Tabela 18 apresenta esses elementos em 2016.

Tabela 17 – Linhas com grau elevado na rede Cs^{100} em 2014

Linha	Grau
2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA)	15
2334-CAMPO GRANDE X CASTELO	14
314-RECREIO DOS BANDEIRANTES X CENTRAL (VIA COPACABANA / AV. DAS AMERICAS)	13
382-PIABAS X CARIOCA (VIA ESTRADA BENVINDO DE NOVAES)	13
2329-RECREIO X CASTELO (VIA AV SERNAMBETIBA)	13
2337-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA SEPETIBA)	12
360-RECREIO DOS BANDEIRANTES X CARIOCA	12
2335-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA BARRA DA TIJUCA)	12
2333-RECREIO X CASTELO (VIA AV DAS AMERICAS)	12
504-PIABAS X GAVEA (VIA AVENIDA BENVINDO DE NOVAES)	11
505-RECREIO DOS BANDEIRANTES X GAVEA - CIRCULAR	11
358-COSMOS X CARIOCA	10
389-VILA ALIANCA X CARIOCA (RAPIDO)	10
2336-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA AV. BRASIL)	9
318-CASTELO X BARRA SUL	9
2307-JARDIM SETE DE ABRIL X CASTELO (VIA AV.PRESIDENTE VARGAS)	8
936-CAMPO GRANDE X CIDADE UNIVERSITARIA (VIA AVENIDA BRASIL)	8
2381-PEDRA DE GUARATIBA X CASTELO (VIA AV.BRASIL)	8
2331-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA PRACA MAUA)	7
300-SULACAP X CARIOCA (PISTA SELETIVA)	6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18 – Linhas com grau elevado na rede Cs^{100} em 2016

Linha	Grau
358-COSMOS - CANDELÁRIA	8
2335-SANTA CRUZ - CASTELO (VIA BARRA DA TIJUCA)	7
2338-CAMPO GRANDE - CASTELO (VIA ESTR. DO MAGARCA)	7
2334-CAMPO GRANDE - CASTELO	7
750-SEPETIBA - COELHO NETO	7
2307-JARDIM SETE DE ABRIL - CASTELO (VIA AV. PRESIDENTE VARGAS)	6
2018-AEROPORTO GALEAO - ALVORADA	6
2337-SANTA CRUZ - CASTELO (VIA SEPETIBA)	6
2329-RECREIO - CASTELO (VIA AV. SERNAMBETIBA)	6
2333-RECREIO - CASTELO (VIA AV. DAS AMERICAS)	6
2331-SANTA CRUZ - CASTELO (VIA PRACA MAUA)	5
2381-PEDRA DE GUARATIBA - CASTELO (VIA AV.BRASIL)	5
2336-CAMPO GRANDE - CASTELO (VIA AV. BRASIL)	5
2304-SEPETIBA - CARIOCA (VIA AV. PADRE G. DECAMINADA)	5
2303-CESARAO - CARIOCA	4
396-BAIRRO JABOUR - CARIOCA (VIA AV. BRASIL)	4
936-CAMPO GRANDE - CIDADE UNIVERSITARIA (VIA AV. BRASIL)	4
756-SANTA CRUZ - COELHO NETO	4
759-CESARAO - COELHO NETO	4
388-SANTA CRUZ - CARIOCA (VIA AV. BRASIL) (EXPRESSO)	3

Fonte: Elaboração própria

Em 2014, a linha que possuía o maior grau na rede Cs^{100} era a linha 2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA), contendo grau igual a 15. Isso significa que essa linha possuía 100 pontos em comum com outras 15 linhas distintas, evidenciando a semelhança dessa linha com as demais. Já em 2016, o maior valor de grau era 8, pertencendo à linha 358-COSMOS – CANDELÁRIA. Logo, percebe-se que, de modo geral, o

grau das linhas reduziu, ou seja, houve uma redução de linhas semelhantes ou uma mudança nos pontos de ônibus que essas linhas param.

A Figura 39 exibe, em verde, os pontos de ônibus da linha 2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA) em 2014 e, em vermelho, os pontos da linha 358-COSMOS – CANDELÁRIA em 2016. Observa-se que o trajeto dessas linhas passa por regiões onde, como visto anteriormente, existe uma intensidade maior de linhas de ônibus parando nos mesmos pontos, como Avenida Brasil, Avenida das Américas, Zona Sul e centro da cidade. Por isso que, provavelmente, essas linhas compartilham muitos pontos de ônibus com outras linhas.

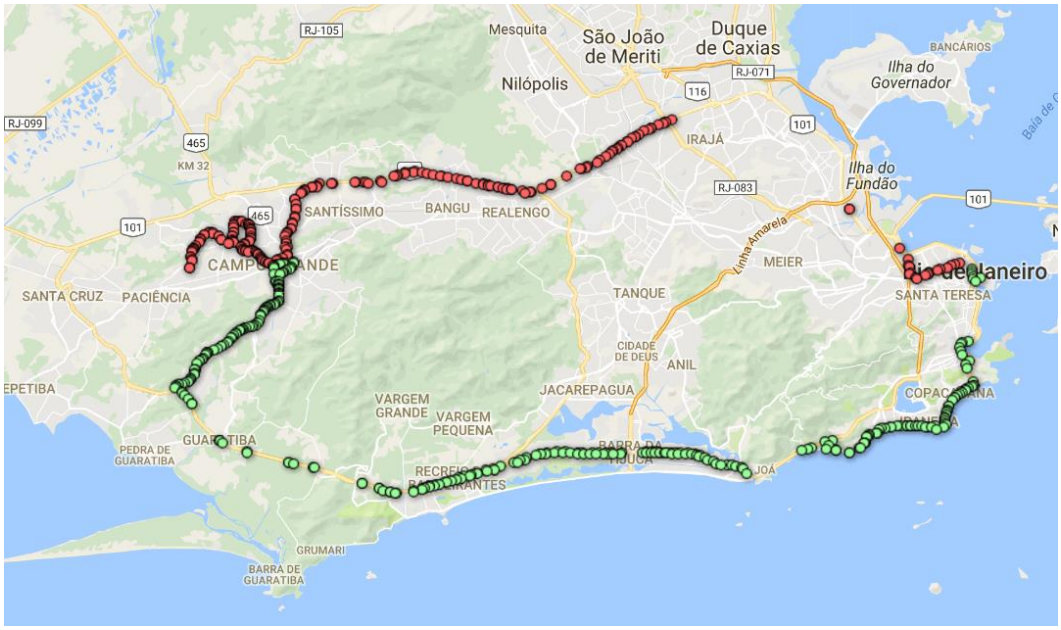


Figura 39 – Linha 2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA) em 2014 (em verde) e linha 358-COSMOS – CANDELÁRIA em 2016 (em vermelho)
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

A medida de centralidade proximidade no *Cs* indica o quão perto uma linha está da outra. Valores elevados de proximidade mostram linhas que estejam próximas das outras, isto é, linhas com proximidade alta são linhas centrais porque estão menos distantes das demais, sendo necessárias poucas transferências para alcançar as outras linhas.

Também foram selecionados os vinte vértices com valores mais elevados de proximidade em cada rede *Cs* estudada em cada ano, a fim de verificar a localização dos pontos de ônibus pertencentes a cada linha e sua intensidade, ou seja, se esses pontos pertenciam a muitas dessas linhas. A evolução desses mapas em 2014 encontra-se no Apêndice L e o referente a 2016, no Apêndice M.

A partir desses mapas, percebe-se que, em 2014, as redes Cs^{1}, Cs^{10} e Cs^{20} foram parecidas, com a maioria dos pontos localizados na parte lateral direita do mapa da cidade do Rio de Janeiro. Da rede Cs^{30} até a rede Cs^{60}, os pontos foram mais dispersos que antes,

ocupando as outras regiões do mapa. Nos mapas da rede Cs^{70} até Cs^{100}, a localização dos pontos de ônibus permaneceu praticamente a mesma, com os pontos se situando nos arredores do mapa.

Nos mapas de intensidade de 2014 observou-se também uma descentralização da localização e da intensidade desses pontos, notando, inicialmente, uma concentração maior das linhas de ônibus que passam pelos mesmos pontos à direita do mapa e, conforme se aumentava a quantidade de pontos em comum das redes *Cs*, essas linhas avançavam para outras regiões do mapa, distribuindo melhor os pontos de ônibus ao longo da cidade.

Verificaram-se algumas diferenças de 2014 para 2016. Em 2016, os pontos de ônibus se localizaram praticamente na parte superior do mapa, com somente as redes Cs^{70}, Cs^{80} e Cs^{100} possuindo pontos na parte inferior do mapa.

Já o mapa de intensidade mostrou que nas redes Cs^{1}, Cs^{10} e Cs^{20}, os pontos de ônibus em vermelho, isto é, os pontos em que mais linhas de proximidade elevada passavam se encontravam no bairro do centro da cidade e no começo da Avenida Brasil. Da rede Cs^{30} até Cs^{90}, os pontos destacados em vermelho foram se espalhando pelo restante da Avenida Brasil e pelo bairro de Campo Grande. Na rede Cs^{100}, eles também passaram a ser encontrados na Avenida das Américas.

Portanto, conclui-se que não houve muita alteração dessas redes de 2014 para 2016, reduzindo apenas os pontos de ônibus da Avenida das Américas em 2016. Além disso, também se evidenciou que nas redes *Cs* que consideravam poucos pontos de ônibus em comum, as linhas com valores de proximidade mais elevados concentravam-se principalmente no bairro do centro da cidade e arredores e na Zona Norte. Porém, conforme se aumentava a quantidade de pontos em comum da rede *Cs*, verificou-se que as redes adquiriam outro aspecto, com os pontos dispersos nas redondezas da cidade.

A última medida de centralidade estudada na rede *Cs* foi a intermediação. Valores elevados de intermediação mostram linhas provavelmente usadas para transferência entre linhas, pois uma linha possui intermediação alta se ela estiver situada no caminho mais curto que conecta outras linhas.

O mesmo procedimento realizado para o grau e proximidade também foi executado para a intermediação. O Apêndice N apresenta os mapas contendo os pontos de ônibus das vinte linhas com intermediação mais elevada, com a intensidade desses pontos, das redes *Cs* em 2014. O Apêndice O exibe esses dados em 2016.

Diferentemente das outras medidas de centralidade, os pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada já se encontram dispersos pelo mapa, inclusive nas redes *Cs* com poucos pontos de ônibus em comum.

Em 2014, a rede Cs^{1} até Cs^{70} foram muito parecidas, com pontos de ônibus localizados por todo o mapa da cidade. Já na rede Cs^{80}, os pontos de ônibus começaram a ficar menos

dispersos pelo mapa, especialmente na parte superior direita do mapa. Porém, somente na rede Cs^{90} e Cs^{100}, é que foi possível verificar com clareza a modificação de sua localização, com pontos de ônibus apenas nos arredores da cidade.

O mapa de intensidade de 2014 mostrou que nas redes Cs^{1} até Cs^{20}, os pontos em vermelho localizavam-se em regiões do centro da cidade, na área litorânea da Zona Sul, na Avenida Brasil, Avenida das Américas e Campo Grande. Contudo, a partir da rede Cs^{30} verifica-se uma concentração maior de pontos de ônibus na área central do mapa, referente aos bairros de Cascadura e Méier. Isso segue até a rede Cs^{70}. Já na rede Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100}, os pontos coloridos de vermelho concentram-se mais na Avenida Brasil, Avenida das Américas e Campo Grande.

Em 2016, os mapas foram parecidos com o de 2014. Da rede Cs^{1} até Cs^{70}, os pontos se encontravam dispersos por todo o mapa, com exceção da rede Cs^{50}, onde os pontos estavam apenas na parte superior do mapa. Em compensação, na rede Cs^{80} a Cs^{100}, os pontos apresentavam-se principalmente nos arredores da cidade, com poucos pontos na região central do mapa.

Em relação ao mapa de intensidade de 2016, observou-se que na rede Cs^{1}, os pontos coloridos de vermelho encontravam-se principalmente no bairro de Campo Grande e em trechos da Avenida Brasil, já na rede Cs^{10} esses pontos atingiram outras áreas da cidade, como a Avenida das Américas, a Zona Sul e o bairro do centro da cidade. A partir da rede Cs^{20}, os pontos em vermelho passaram a se localizar na região central do mapa, envolvendo os bairros de Cascadura e Méier. Isso se seguiu até a rede Cs^{70}. Nas redes Cs^{80} a Cs^{100}, a maior concentração de pontos ocorreu na Avenida Brasil.

Ao comparar as três medidas de centralidade analisadas, nota-se que as redes *Cs* com poucos pontos de ônibus em comum diferenciam-se um pouco mais de acordo com a medida de centralidade. Porém, as redes *Cs* com muitos pontos de ônibus em comum, como é o caso da rede Cs^{90} e Cs^{100} são muito semelhantes nas três medidas. Isso ocorre provavelmente porque as linhas de ônibus que possuem muitos pontos em comum se encontram em certa região, ao invés de se encontrarem dispersas pelo mapa.

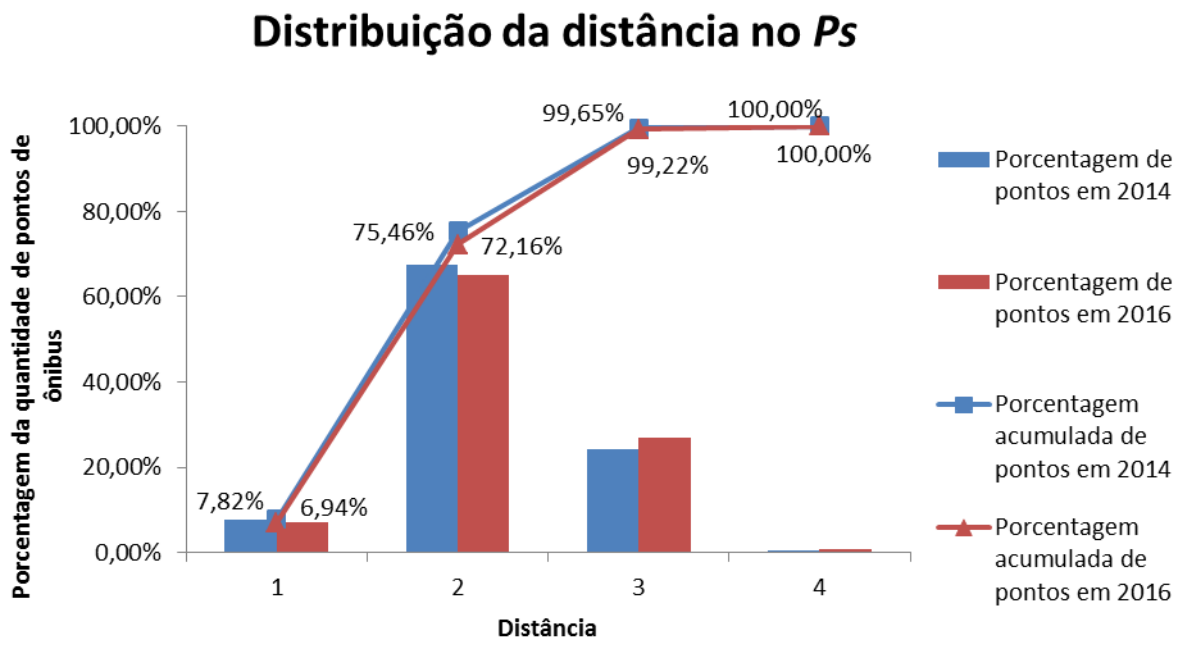
6.3 - Distribuição de distância

A distância no *Ps* representa a quantidade de linhas necessárias para se locomover de um ponto a outro dentro da cidade, já a distribuição da distância mostra quantos pontos de ônibus são possíveis alcançar para cada valor de distância.

O Gráfico 12 mostra a distribuição de distância no *Ps* para o ano de 2014 e 2016, comparando-os. É interessante perceber que, apesar da mudança, os gráficos são muito parecidos. O diâmetro da rede permanece como 4 e com uma distância 3 é possível alcançar quase todos os pontos de ônibus existentes na cidade em ambos os anos (mais de 99%). Isso

significa que o passageiro precisará de no máximo 4 linhas para se deslocar entre os dois pontos de ônibus mais distantes na cidade, sendo que com 3 linhas já é possível acessar quase todos os pontos.

Gráfico 12 – Distribuição da distância no *Ps* em 2014 e 2016



Fonte: Elaboração própria

Mesmo o gráfico de 2014 e 2016 estando similares, ocorreram algumas pequenas mudanças de um ano para o outro. Houve uma pequena redução (0,88%) da porcentagem de pontos que possuíam valor da distância 1 e uma redução um pouco maior (2,42%) dos pontos com distância igual a 2. Consequentemente, os pontos com distância 3 aumentaram 2,87% e os com distância 4, 0,43%.

Como citado em outra seção, a redução do número de pontos de ônibus foi de 5,19% e de linhas foi de 22,75%. Quando se compara o valor do aumento da distância dos pontos com esses valores, percebe-se que a distância sofreu uma adição muito pequena, ou seja, apesar da redução da quantidade de linhas e pontos de ônibus, conseguiu-se, em 2016, manter o alcance dos pontos de ônibus com valores muito próximos aos de 2014.

6.4 - Síntese dos resultados

A análise do número de vértices do *Ps* e do *Cs* mostraram que as quantidades de pontos de ônibus e linhas diminuíram de 2014 para 2016, resultando em uma redução de 5,19% dos pontos e 22,75% das linhas. Apesar dessa grande diminuição, a topologia da rede se mostrou parecida no período identificado, com pequenas modificações nas propriedades

das redes. A propriedade de distância foi um desses casos, já que ocorreu um pequeno aumento na distância dos pontos de 2014 para 2016, mostrando que mesmo com menos pontos e linhas, eles continuaram praticamente com a mesma distância. Isto é, de modo geral, percebeu-se pouca mudança na estrutura da RTO da cidade.

As três medidas de centralidade estudadas – grau, proximidade e intermediação – apontaram para algumas áreas da cidade do Rio de Janeiro que merecerem uma atenção maior, já que essas regiões possuem os pontos considerados mais centrais por várias dessas medidas em diferentes redes, ou seja, são pontos de ônibus muito utilizados pelas pessoas e, consequentemente, são considerados pontos essenciais para o bom funcionamento da RTO. A principal área encontrada foi a do centro da cidade (Figura 29 e Figura 30) – esquina da Avenida Francisco Bicalho com a Avenida Presidente Vargas – pois essa apresentou vários pontos de ônibus com centralidade elevada em todas as medidas analisadas nas redes *Bs* e *Ps* em ambos os anos.

Outra região que merece destaque é a das estações de trem de Cascadura e Madureira, pois nessa área foram encontrados alguns pontos considerados centrais pelas medidas de centralidade de grau e intermediação na rede *Ps* em 2014 e 2016 e pela proximidade também na rede *Ps* em 2014.

Por fim, ressaltam-se os pontos de ônibus de alguns trechos da Avenida Brasil, como o na altura de Guadalupe e o na altura do Caju, que se destacaram pelas medidas de centralidade do grau para as redes *Bs* e *Ps* nos dois anos.

Além disso, outro resultado importante foi o da componente gigante da rede Cs^{100} e o do grau das redes *Cs*, que, confrontado com o sistema do BRT implantado no período estudado, mostraram-se como propriedades úteis para a identificação de possíveis corredores de transporte.

Considerações Finais

Este trabalho objetivava aplicar modelos topológicos utilizados em Redes Sociais à rede de transporte de público, avaliando especificamente a rede de transporte de ônibus da cidade do Rio de Janeiro, já que a mesma havia passado por uma grande modificação de suas linhas e pontos de ônibus recentemente. Para isso, empregaram-se os modelos topológicos *Bs*, *Ps* e *Cs* à RTO da cidade, analisando as propriedades de densidade, componente gigante, distância, diâmetro, grau, proximidade e intermediação de cada uma das redes estudadas, além da quantidade de vértices e arestas.

Ressalta-se que para a realização deste trabalho, utilizaram-se os dados do Portal da Prefeitura do Rio e que se considerou como premissa que esses dados eram confiáveis e consistentes, ou seja, considerou-se que as linhas e os pontos de ônibus indicados por esses dados existiam realmente e que suas localizações estavam corretas.

Em 2014, existiam 7020 pontos de ônibus e 488 linhas. Já em 2016, esses valores diminuíram, totalizando 6656 pontos e 377 linhas. Com isso, verificou-se uma redução de 22,75% das linhas e 5,19% dos pontos.

Apesar dessa grande redução, alguns resultados encontrados se mantiveram parecidos nos dois anos investigados, como foi o caso do diâmetro no *Ps*, que permaneceu com o valor 4, mostrando que ainda são necessárias no máximo 4 linhas para se deslocar entre dois pontos de ônibus quaisquer. A distribuição da distância do *Ps* também se manteve semelhante, indicando que, em média, continuam sendo necessárias 2 linhas de ônibus para se deslocar entre os pontos da cidade e que, para acessar mais de 99% dos pontos de ônibus são necessárias somente 3 linhas.

O grau também foi um importante resultado encontrado. O grau da partição das linhas na rede *Bs* mostrou que as linhas passavam, em média, por 110 pontos de ônibus em 2014 e 107 em 2016, sendo que a maior delas possuía 416 pontos em 2014 e 360 em 2016. Em contrapartida, o grau dos pontos identificou que em cada ponto de ônibus passavam, em média, quase 8 linhas em 2014 e 6 em 2016, sendo que no ponto de ônibus com maior grau, passavam 78 linhas em 2014 e 68 em 2016.

O grau no *Ps* apontou que dado certo ponto de ônibus era possível ir para, em média, 549 pontos em 2014 e 462 em 2016, sendo que, a partir do ponto mais central, de acordo com essa medida, era possível ir para mais de 3000 pontos em 2014 e mais 2750 em 2016, o que seria equivalente a 42,7% e 41,3% dos pontos, respectivamente.

Outro objetivo deste trabalho foi a exploração da rede *Cs* com certa quantidade de pontos em comum. Para isso, geraram-se as redes Cs^{1}, Cs^{10}, Cs^{20}, Cs^{30}, Cs^{40}, Cs^{50}, Cs^{60}, Cs^{70}, Cs^{80}, Cs^{90} e Cs^{100}, isto é, criou-se a rede Cs^{1}, que era a rede originalmente definida, e todas as

suas variações de acordo com a quantidade mínima de pontos de ônibus em comum que elas possuíam, sendo que a rede Cs^{100} possuía ligações entre as linhas somente se essas linhas possuíssem pelo menos 100 pontos de ônibus em comum.

Essa variação entre as redes *Cs* pôde ser evidenciada principalmente na análise das medidas de centralidade – grau, proximidade e intermediação. Ao analisar essas medidas, verificou-se, em cada uma delas, a localização dos pontos de ônibus pertencentes às linhas com valores mais elevados dessas medidas, indicando inclusive a intensidade desses pontos.

Essas análises permitiram avaliar a evolução da localização e intensidade desses pontos mais centrais conforme aumentavam a quantidade de pontos em comum. Com isso, constatou-se que, de maneira geral em 2014 e 2016, nas redes *Cs* com poucos pontos de ônibus em comum, os pontos de ônibus pertencentes às linhas mais centrais possuíam uma variação da sua localização de acordo com a medida de centralidade analisada. Porém, em redes *Cs* com muitos pontos de ônibus em comum, como é o caso da rede Cs^{90} e Cs^{100}, a localização desses pontos permanecia praticamente a mesma. Também se identificaram as regiões da cidade onde esses pontos mais apareciam, como áreas específicas do centro da cidade, de Cascadura, da Avenida Brasil, dentre outras, destacando a sua importância.

Outra questão interessante é que a análise da componente gigante das redes *Cs* com pontos de ônibus em comum permitiram a identificação de possíveis corredores de ônibus, inclusive confrontando os dados encontrados com os corredores de ônibus criados recentemente, já que a componente gigante das redes *Cs* com muitos pontos em comum, como é o caso da rede Cs^{100}, ao ser plotada no mapa, mostra os trajetos onde essas linhas que compartilham muitos pontos passam. Portanto, a análise da componente gigante de redes *Cs* com muitos pontos de ônibus em comum pode ser um método adequado para detectar possíveis corredores expressos.

Outra propriedade que pode ser utilizada para a identificação de possíveis corredores de transporte é a centralidade grau da rede *Cs*, já que essa propriedade permite detectar linhas que sejam utilizadas como linhas de transferência. Além disso, o grau do *Cs* também pode ser útil para a determinação de linhas alimentadoras dos corredores de transporte, pois é possível verificar as linhas que estão conectadas a essas linhas de transferência.

Como desdobramentos para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizado esse tipo de análise – com os modelos topológicos utilizados – para outras cidades, verificando se os resultados encontrados são compatíveis. Outra sugestão é que se utilize o grau da rede *Cs* para a identificação de possíveis linhas alimentadoras para o sistema de BRT, implantado recentemente na cidade. Também se propõe que se construa uma rede do transporte público do Rio de Janeiro integrando a rede de ônibus já analisada com outros modais existentes na cidade, como metrô, trem, VLT, bicicletas, dentre outros.

Ademais, sugere-se uma análise dinâmica da RTO do Rio de Janeiro ou até mesmo de outra cidade, considerando a disponibilização existente para o deslocamento real da população, isto é, aconselha-se a estudar a RTO em variados horários, dias da semana e até meses do ano, para verificar como a estrutura da rede varia ao longo do dia.

Por último, propõem-se algumas melhorias na disponibilização dos dados utilizados neste trabalho para que possa ocorrer uma melhor análise desses dados. A primeira sugestão é que se inclua o sentido dos pontos de ônibus, de modo que seja possível saber se o ponto de ônibus pertence a um trajeto de ida ou de volta. Outra ideia é que seja explicitada a sequência dos pontos, de forma a serem detectados os diferentes itinerários que uma mesma linha possui.

Referências Bibliográficas

ALEXANDRE, R. W. C. **BUS RAPID TRANSIT (BRT) e Mobilidade Urbana no Rio de Janeiro**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

ALJOUFIE, M. Exploring the determinants of public transport system planning in car-dependent cities. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 216, n. October 2015, p. 535–544, 2016.

AN, X.; ZHANG, L.; ZHANG, J. Research on urban public traffic network with multi-weights based on single bus transfer junction. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 436, p. 748–755, 2015.

BAGLOEE, S. A.; CEDER, A. Transit-network design methodology for actual-size road networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 10, p. 1787–1804, 2011.

BARBERILLO, J.; SALDAÑA, J. Navigation in large subway networks: An informational approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 390, n. 2, p. 374–386, 2011.

CARPIO-PINEDO, J. Urban Bus Demand Forecast at Stop Level: Space Syntax and Other Built Environment Factors. Evidence from Madrid. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 160, p. 205–214, 2014.

CEDER, A. **Public transit planning and operation**. 1st. ed. Oxford: Elsevier, 2007.

CIPRIANI, E.; GORI, S.; PETRELLI, M. Transit network design: a procedure and an application to a large urban area. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 20, n. 1, p. 3–14, 2012.

COSTA, E. **Estudo dos constrangimentos físicos e mentais sofridos pelos motoristas de ônibus urbano da cidade do Rio de Janeiro**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.

DAGANZO, C. F. Structure of competitive transit networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 44, n. 4, p. 434–446, 2010.

DAMATTA, R. **Fé em Deus e pé na tábua**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2010.

DESAULNIERS, G.; HICKMAN, M. D. Public Transit. In: **Handbooks in Operations Research and Management Science**. 1st. ed. [s.l.] Elsevier, 2007. v. 14p. 69–127.

DETRAN-RJ - DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Estatísticas dos veículos**. Disponível em: <http://detran.rj.gov.br/_estatisticas.veiculos/02.asp>. Acesso em: 7 nov. 2016.

DUTTON, R. **Estratégias e táticas nos trens da Supervia**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

FARAHANI, R. Z. et al. A review of urban transportation network design problems. **European Journal of Operational Research**, v. 229, n. 2, p. 281–302, 2013.

FENG, S. et al. Empirical study on a directed and weighted bus transport network in China. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 441, p. 85–92, 2016.

FETRANSPOR - FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Transportes coletivos de passageiros no Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://www.setrerj.org.br/pdfs/dados_apres_geral.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

FETRANSPOR - FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Resumo do sistema de transporte por ônibus no município do Rio de Janeiro – 1984 a 2015**. Disponível em: <https://www.fetranspor.com.br/mobilidade-urbana-setor-em-numeros>. Acesso em: 10 nov. 2016.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Os custos da (i)mobilidade nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo**Nota Técnica n. 3, , 2014.

FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215–239, 1978.

FREEMAN, L. C. **The development of Social Network Analysis: a study in the sociology of science**. 1st. ed. North Charleston: BookSurge, 2004.

GOOGLE. **Google Fusion Tables**. Disponível em: <https://fusiontables.google.com>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GOOGLE. **Google Earth**, 2017. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>

GUIHAIRE, V.; HAO, J.-K. Transit network design and scheduling: A global review. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 42, n. 10, p. 1251–1273, 2008.

GUO, L. et al. The scaling of several of public transport networks in China. **Fractals**, v. 21, n. 2, p. 1–5, 2013.

HAKIMI, S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations Research**, v. 12, n. 3, p. 450–459, 1964.

HU, N. et al. Impacts of land use and amenities on public transport use, urban planning and design. **Land Use Policy**, v. 57, p. 356–367, 2016.

IBARRA-ROJAS, O. J. et al. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 77, p. 38–75, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa da população em 2016**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 7 nov. 2016.

IMRAN, M.; MATTHEWS, L. Short-term public transport solutions in Auckland, New Zealand. **Case Studies on Transport Policy**, v. 3, n. 1, p. 55–65, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **A política de transporte no Rio e seus contrassensos: uma reflexão sobre a racionalização da frota de ônibus**. Disponível em: <http://observatoriodasmetropoles.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=1309:uma-reflex%C3%A3o-sobre-os-impactos-sociais-da-racionaliza%C3%A7%C3%A3o-das-linhas-de-%C3%B4nibus-do-rio-de-janeiro&Itemid=180#>. Acesso em: 26 jan. 2017.

JURUÁ, C. **Transporte o Rio para melhor**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Memórias Futuras Edições, 1990.

KEPAPTSOGLOU, K.; KARLAFTIS, M. Transit route network design problem: review. **Journal of Transportation Engineering**, v. 135, n. 8, p. 491–505, 2009.

LE PIRA, M. et al. Modelling stakeholder participation in transport planning. **Case Studies on Transport Policy**, v. 4, n. 3, p. 230–238, 2016.

LEE, Y.-J.; VUCHIC, V. R. Transit Network Design with Variable Demand. **Journal of Transportation Engineering**, v. 1, n. January, p. 54–63, 2005.

LIU, Y.; TAN, Y. Complexity modeling and stability analysis of urban subway network: Wuhan city case study. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 96, n. Cictp, p. 1611–1621, 2013.

MILGRAM, S. The small world problem. **Psychology Today**, v. 1, p. 61–67, 1967.

MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Pajek**, 2016. Disponível em: <http://pajek.imfm.si>

NEWMAN, M. **Networks, An Introduction**. 1st. ed. New York: Oxford University Press, 2010.

NEWMAN, M. E. J. The structure of scientific collaboration networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 2, p. 404–409, 2001.

NEWMAN, M. E.; STROGATZ, S. H.; WATTS, D. J. Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications. **Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics**, v. 64, n. 26118, 2001.

NOOY, W.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Exploratory social network analysis with Pajek**. 1ª ed. New York: Cambridge University Press, 2005.

NORONHA, F. A. **Meios de Transporte no Rio de Janeiro – História e legislação (volumes 1 e 2)**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Tipografia do Jornal do Commercio, 1934.

PEREIRA, R. M. H.; SCHWANEN, T. Tempo de deslocamento casa-trabalho no Brasil (1992-2009): diferenças entre regiões metropolitanas, níveis de renda e sexo. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2013.

PMUS - PLANO DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL. **Diagnósticos - Volume**

II: Caracterização dos deslocamentos e componentes do sistema de mobilidade. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/pmus/documentos>. Acesso em: 21 nov. 2016.

PORTAL DE DADOS ABERTOS DA PREFEITURA DO RIO. **Pontos de parada das linhas do ônibus**. Disponível em: <http://data.rio/dataset?groups=transporte-e-mobilidade>. Acesso em: 29 jan. 2016.

PORTAL ÔNIBUS PARAIBANOS. **Conhecendo o sistema BRT "Transoeste" do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://onibusparaibanos.com/2012/06/03/conhecendo-o-sistema-brt-transoeste-do/>. Acesso em: 13 dez. 2016.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Última etapa da 1ª fase da racionalização da frota da Zona Sul começa no sábado. 11 dez. 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS)**. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/pmus/sobre>. Acesso em: 21 nov. 2016.

QIAO, K.; ZHAO, P.; YAO, X. Performance analysis of urban rail transit network. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, v. 12, n. 4, p. 115–121, 2012.

REISI, M. et al. Land-use planning: Implications for transport sustainability. **Land Use Policy**, v. 50, p. 252–261, 2016.

RIO ÔNIBUS. **Uma cidade em transformação**. Disponível em: <http://www.rioonibus.com/rio-onibus/projetos-de-transporte/#detalhes-dos-projetos>. Acesso em: 26 jan. 2017.

SABIDUSSI, G. The centrality index of a graph. **Psychometrika**, v. 31, n. 4, p. 581–603, 1966.

SALIARA, K. Public transport integration: the case study of Thessaloniki, Greece. **Transportation Research Procedia**, v. 4, p. 535–552, 2014.

SANTOS, A. S.; RIBEIRO, S. K. The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: the case of Rio de Janeiro, Brazil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 251–260, 2013.

SANTOS, C. N. Os transportes de massa – condicionadores ou condicionados? **Revista de Administração Municipal**, v. 24, n. 144, p. 13–31, 1977.

SCHUPPAN, J. et al. Urban multimodal travel behaviour: towards mobility without a private car. **Transportation Research Procedia**, v. 4, n. 0, p. 553–556, 2014.

SEN, P. et al. Small-world properties of the Indian railway network. **Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics**, v. 67, n. 3 Pt 2, p. 36106, 2003.

SOLECKA, K.; ZAK, J. Integration of the Urban public transportation system with the application of traffic simulation. **Transportation Research Procedia**, v. 3, n. July, p. 259–268, 2014.

STROGATZ, S. H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, n. 6825, p. 268–276, 2001.

VON FERBER, C. et al. Public transport networks: empirical analysis and modeling. **The European Physical Journal B**, v. 68, p. 261–275, 2009.

WANG, B.; YANG, X. H. A transfer method of public transport network based on adjacency matrix multiplication searching algorithm. **WSEAS Transactions on Circuits and Systems**, v. 10, n. 3, p. 104–113, 2011.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. 1st. ed. New York: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of'small-world' networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440–442, 1998.

WEID, E. VON DER. O bonde como elemento de expansão urbana no Rio de Janeiro. **Siglo XIX**, v. 16, p. 78–103, 1994.

XU, Q. et al. Space P based empirical research on public transport complex networks in 330 cities of China. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, v. 13, n. 1, p. 193–198, 2013.

YANG, X. H. et al. Epidemic dynamics behavior in some bus transport networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 3, p. 917–924, 2012.

YANG, X. H. et al. Study on some bus transport networks in China with considering spatial characteristics. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 69, p. 1–10, 2014.

YU, B. et al. Transit route network design-maximizing direct and transfer demand density. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 22, p. 58–75, 2012.

YU, W. et al. **Analysis of Nanjing public transport network based on complex network**. Mechanic Automation and Control Engineering. **Anais**...Wuhan: 2010

YU, W.; MA, J. X.; ZHANG, Y. H. Research on accessibility improvement of urban public transport network based on metro. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, v. 11, n. 1, p. 121–125, 2011.

ZHANG, H. et al. The analysis of the properties of bus network topology in beijing basing on complex networks. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, n. 1, p. 1–7, 2013a.

ZHANG, H. et al. Evaluation of bus networks in China: from topology and transfer perspectives. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2015, 2015.

ZHANG, L. et al. Modelling and optimisation on bus transport system with graph theory and complex network. **International Journal of Computer Applications in Technology**, v. 48, n. 1, p. 83–92, 2013b.

ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; QIAO, J. **Analysis of Guangzhou metro network based on L--space and P-space using complex network**. 22nd International Conference on

Geoinformatics. **Anais**...Kaohsiung: 2014

ZHOU, C. et al. Predicting the passenger demand on bus services for mobile users. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 25, n. 2013, p. 48–66, 2016.

ZOU, S. R. et al. Topological relation of layered complex networks. **Physics Letters, Section A: General, Atomic and Solid State Physics**, v. 374, n. 43, p. 4406–4410, 2010.

Apêndice A – Palavras-chave utilizadas para buscar, nas bases de dados, trabalhos sobre RTP utilizando os modelos topológicos estudados

TITLE-ABSTR-KEY(transport) and TITLE-ABSTR-KEY("space L")
TITLE-ABSTR-KEY(transportation) and TITLE-ABSTR-KEY("space L")
TITLE-ABSTR-KEY(transit) and TITLE-ABSTR-KEY("space L")
TITLE-ABSTR-KEY(transport) and TITLE-ABSTR-KEY("space P")
TITLE-ABSTR-KEY(transportation) and TITLE-ABSTR-KEY("space P")
TITLE-ABSTR-KEY(transit) and TITLE-ABSTR-KEY("space P")
TITLE-ABSTR-KEY(transport) and TITLE-ABSTR-KEY("space B")
TITLE-ABSTR-KEY(transportation) and TITLE-ABSTR-KEY("space B")
TITLE-ABSTR-KEY(transit) and TITLE-ABSTR-KEY("space B")
TITLE-ABSTR-KEY(transport) and TITLE-ABSTR-KEY("space C")
TITLE-ABSTR-KEY(transportation) and TITLE-ABSTR-KEY("space C")
TITLE-ABSTR-KEY(transit) and TITLE-ABSTR-KEY("space C")

Apêndice B – Tabela contendo um resumo com os principais dados dos estudos analisados

Tabela 19 – Principais dados dos trabalhos utilizando a topologia estudada a partir de 2010

Ano	Topologia	Aplicação	Referência
2010	*Ls* *Ps*	Ônibus	Yu et al. (2010)
2010	*Ls* *Ps*	Trem e ônibus	Zou et al. (2010)
2011	*Ls* *Ps*	Ônibus	Wang e Yang (2011)
2011	*Ls* *Ps*	Metrô	Barberillo e Saldaña (2011)
2011	*Ls* *Ps*	Ônibus e metrô	Yu, Ma e Zhang (2011)
2012	*Ps*	Ônibus	Yang et al. (2012)
2012	*Ls*	Trem	Qiao, Zhao e Yao (2012)
2013	*Ls* *Ps*	Metrô	Liu e Tan (2013)
2013	*Ps*	Ônibus	Xu et al. (2013)
2013	*Ls* *Ps* *Cs*	Ônibus	Zhang et al. (2013c)
2013	*Ls* *Ps*	Ônibus	Zhang et al. (2013a)
2013	*Ls*	Ônibus	Guo et al. (2013)
2014	*Ls* *Ps*	Metrô	Zhang, Zhang e Qiao (2014)
2014	*Ls* *Ps*	Ônibus	Yang et al. (2014)
2015	*Ps*	Ônibus	Zhang et al. (2015)
2015	*Ls* *Ps* *Cs*	Ônibus	An, Zhang e Zhang (2015)
2016	*Ps*	Ônibus	Feng et al. (2016)

Fonte: Elaboração própria

Apêndice C – Tabela contendo a latitude e a longitude dos pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2014

Tabela 20 – Pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2014

Ponto de ônibus	Grau
-22.9038,-43.2096	78
-22.9101,-43.206	76
-22.9081,-43.2099	75
-22.9072,-43.2094	64
-22.9003,-43.2106	62
-22.9086,-43.2013	59
-22.8948,-43.2153	56
-22.9034,-43.2104	56
-22.8857,-43.2286	54
-22.9528,-43.1762	53
-22.8378,-43.3657	52
-22.9995,-43.3574	52
-22.8853,-43.2265	52
-22.9097,-43.1767	51
-22.8872,-43.2308	50
-22.9994,-43.3623	49
-22.8893,-43.2204	49
-22.8871,-43.2246	49
-22.8854,-43.2289	49
-22.887,-43.224	49

Fonte: Elaboração própria

Apêndice D – Tabela contendo a latitude e a longitude dos pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2016

Tabela 21 – Pontos de ônibus com grau elevado na rede *Bs* em 2016

Ponto de ônibus	Grau
-22.9101,-43.2058	68
-22.9072,-43.2094	67
-22.9034,-43.2104	66
-22.9081,-43.2099	66
-22.9038,-43.2096	63
-22.8857,-43.2286	54
-22.9086,-43.2013	54
-22.8853,-43.2265	53
-22.8872,-43.2308	51
-22.9003,-43.2106	51
-22.8378,-43.3657	48
-22.8859,-43.2349	48
-22.875,-43.2435	47
-22.8415,-43.3718	46
-22.9054,-43.1736	46
-22.9097,-43.1741	46
-22.9076,-43.1728	44
-22.9079,-43.1898	44
-22.8323,-43.3547	43
-22.8326,-43.3547	43

Fonte: Elaboração própria

Apêndice E – Tabela contendo as linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2014

Tabela 22 – Linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2014

Linha	Grau
2334-CAMPO GRANDE X CASTELO	416
2337-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA SEPETIBA)	342
2381-PEDRA DE GUARATIBA X CASTELO (VIA AV.BRASIL)	314
2335-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA BARRA DA TIJUCA)	309
2338-CAMPO GRANDE X CASTELO (VIA ESTRADA DO MAGARCA)	304
750-SEPETIBA X COELHO NETO	282
382-PIABAS X CARIOCA (VIA ESTRADA BENVINDO DE NOVAES)	267
358-COSMOS X CARIOCA	263
870-SEPETIBA X BANGU	261
689-CAMPO GRANDE X MEIER	259
391-PADRE MIGUEL X PRACA DA REPUBLICA	258
749-CASCADURA X RECREIO (VIA VARGEM GRANDE)	255
876-VILA KENNEDY X ALVORADA (VIA AVENIDA DAS AMERICAS)	240
738-URUCANIA X MARECHAL HERMES	239
639-SAENS PENA X JARDIM AMERICA (VIA SHOPPING / VIA BRASIL)	233
2307-JARDIM SETE DE ABRIL X CASTELO (VIA AV.PRESIDENTE VARGAS)	231
684-PADRE MIGUEL X MEIER	229
2331-SANTA CRUZ X CASTELO (VIA PRACA MAUA)	228
393-BANGU X CASTELO (PISTA SELETIVA)	227
926-SENADOR CAMARA X PENHA	227

Fonte: Elaboração própria

Apêndice F – Tabela contendo as linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2016

Tabela 23 – Linhas com grau elevado na rede *Bs* em 2016

Linha	Grau
2334-CAMPO GRANDE - CASTELO	360
2337-SANTA CRUZ - CASTELO (VIA SEPETIBA)	340
2335-SANTA CRUZ - CASTELO (VIA BARRA DA TIJUCA)	305
2338-CAMPO GRANDE - CASTELO (VIA ESTR. DO MAGARCA)	296
750-SEPETIBA - COELHO NETO	282
2381-PEDRA DE GUARATIBA - CASTELO (VIA AV.BRASIL)	272
391-PADRE MIGUEL - PRACA TIRADENTES	263
689-CAMPO GRANDE - MEIER	258
754-SAO FERNANDO - COELHO NETO (VIA SANTA CRUZ)	249
302-RODOVIARIA - RECREIO DOS BANDEIRANTES (VIA AV. SERNAMBETIBA)	241
738-URUCANIA - MARECHAL HERMES	239
2304-SEPETIBA - CARIOCA (VIA AV. PADRE G. DECAMINADA)	233
2307-JARDIM SETE DE ABRIL - CASTELO (VIA AV. PRESIDENTE VARGAS)	229
393-BANGU - CASTELO (PISTA SELETIVA)	229
684-PADRE MIGUEL - MEIER	229
926-SENADOR CAMARA - PENHA	228
636-SAENS PENA - GARDENIA AZUL	222
624-MARIOPOLIS - PRACA DA BANDEIRA	220
639-SAENS PENA - JARDIM AMERICA (VIA ROCHA MIRANDA)	220
358-COSMOS - CANDELÁRIA	219

Fonte: Elaboração própria

Apêndice G – Tabela contendo os valores de grau em 2014 e 2016

Tabela 24 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de grau

Intervalo	2014	2016
1-250	1673	1949
251-500	2193	2286
501-750	1516	1388
751-1000	805	589
1001-1250	369	232
1251-1500	237	117
1501-1750	122	38
1751-2000	45	37
2001-2250	31	8
2251-2500	19	5
2501-2750	4	1
2751-3000	3	6
3001-3250	3	0

Fonte: Elaboração própria

Apêndice H – Tabela contendo os valores de proximidade em 2014 e 2016

Tabela 25 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de proximidade

Intervalo	2014	2016
0,32-0,35	50	126
0,35-0,38	404	489
0,38-0,41	403	659
0,41-0,44	921	882
0,44-0,47	1510	1496
0,47-0,50	2084	2065
0,50-0,53	1083	689
0,53-0,56	352	182
0,56-0,59	85	54
0,59-0,62	22	7
0,62-0,65	6	7

Fonte: Elaboração própria

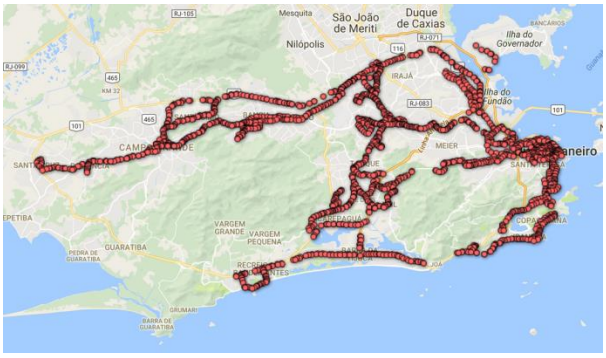
Apêndice I – Tabela contendo os valores de intermediação em 2014 e 2016

Tabela 26 – Quantidade de pontos de ônibus em 2014 e 2016 de acordo com o intervalo dos valores de intermediação

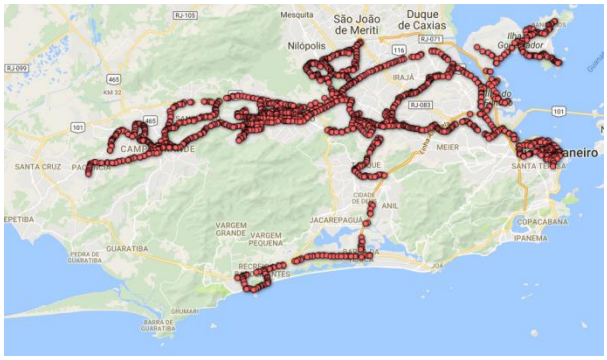
Intervalo	2014	2016
0	924	1045
0-1	1369	1263
1-2	769	496
2-3	471	402
3-4	389	286
4-5	262	231
5-6	212	219
6-7	169	224
7-8	115	131
8-9	144	136
9-10	136	134
10-11	140	153
11-12	106	123
12-13	91	65
13-14	145	109
14-15	106	94
15-16	61	83
16-17	85	61
17-18	46	63
18-19	51	46
19-20	53	57
>20	1176	1235

Fonte: Elaboração própria

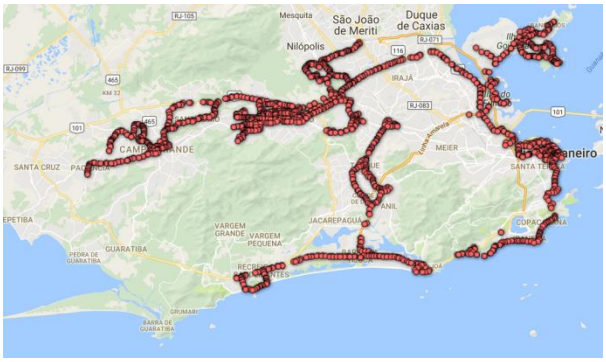
Apêndice J – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014



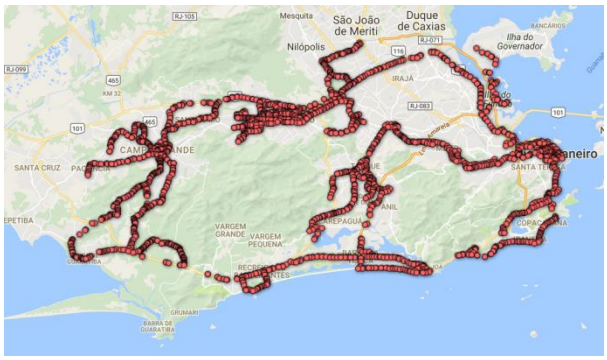
(a)



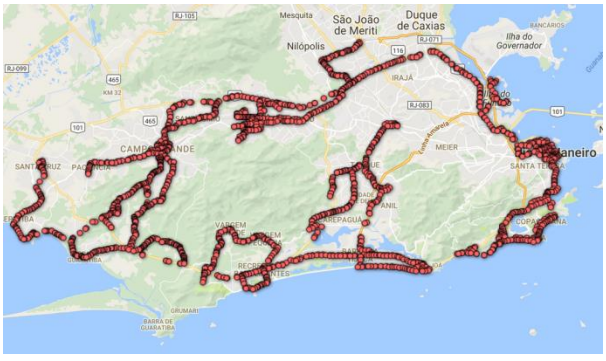
(b)



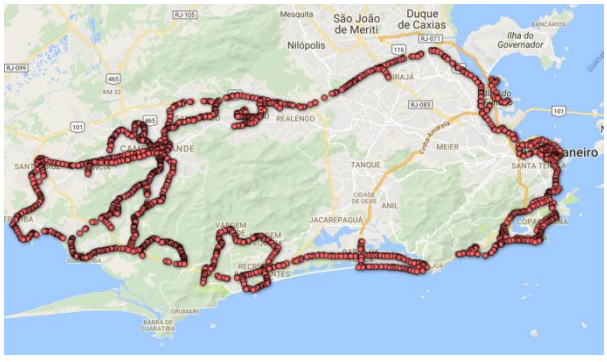
(c)



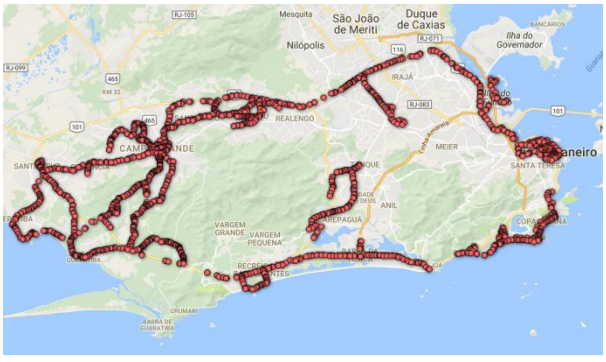
(d)



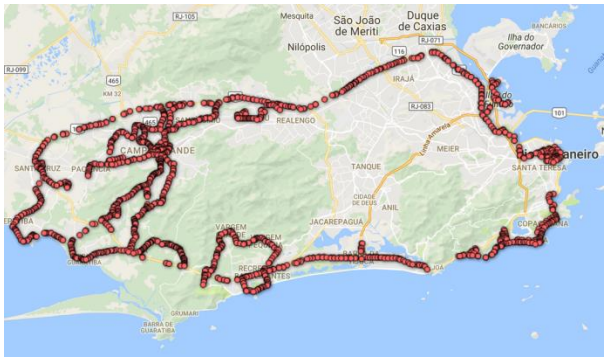
(e)



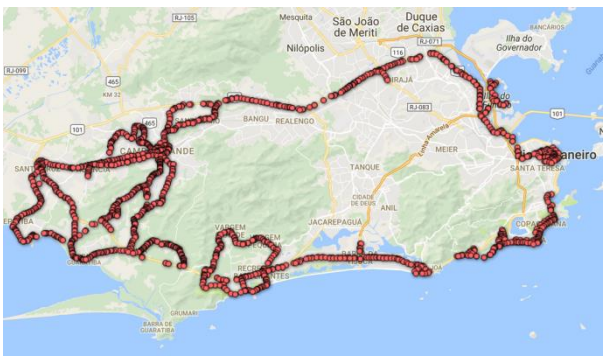
(f)



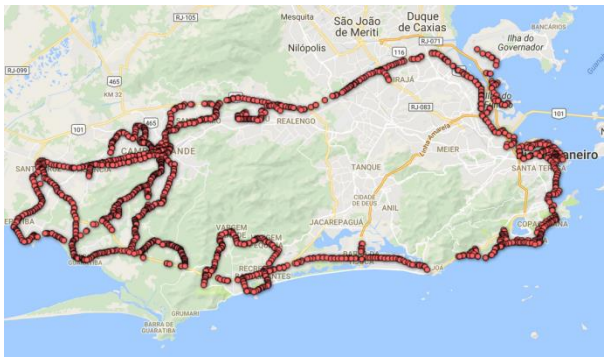
(g)



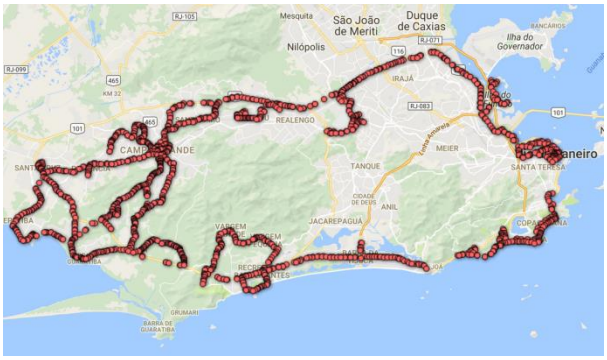
(h)



(i)

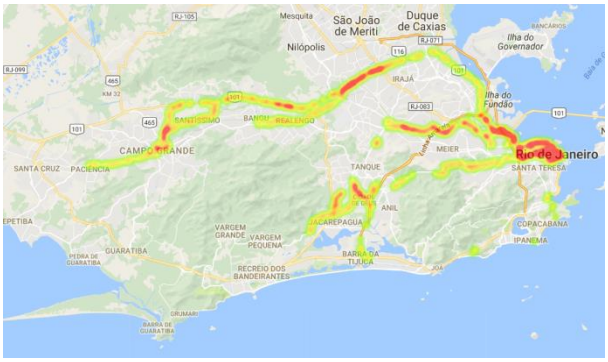


(j)

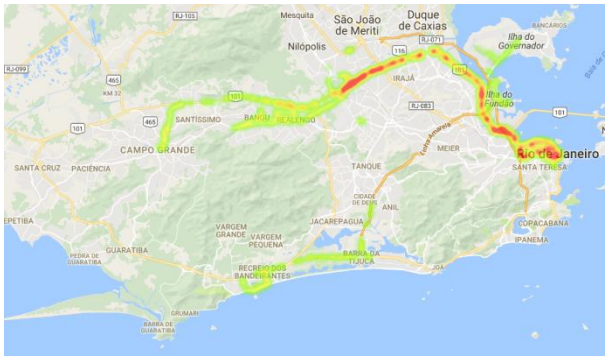


(k)

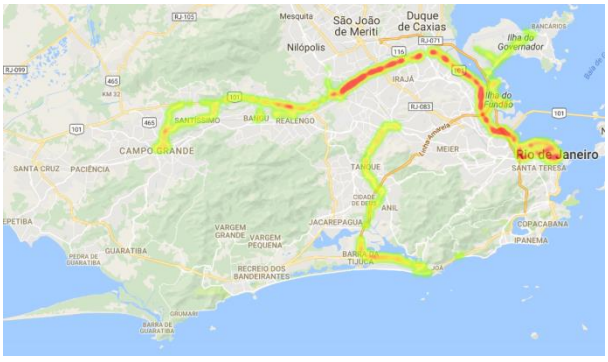
Figura 40 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



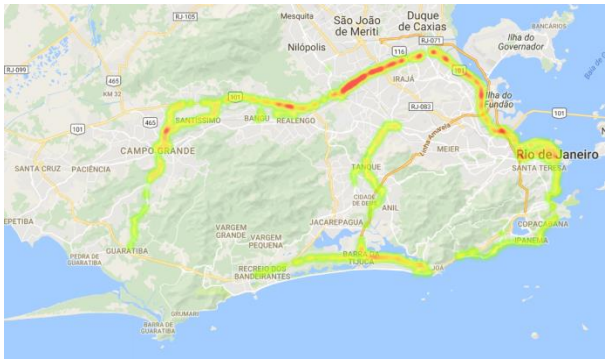
(a)



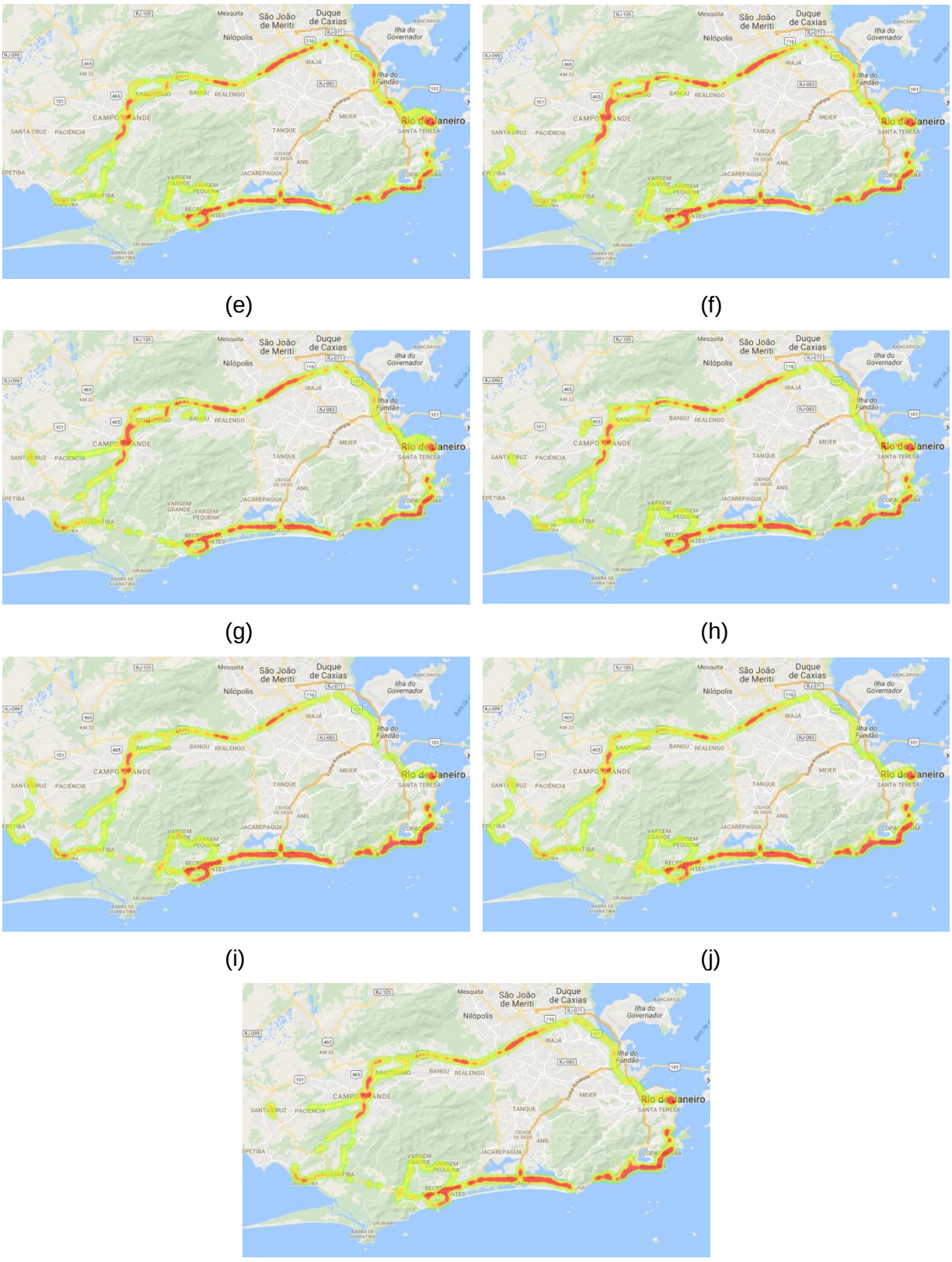
(b)



(c)



(d)



(e) (f)

(g) (h)

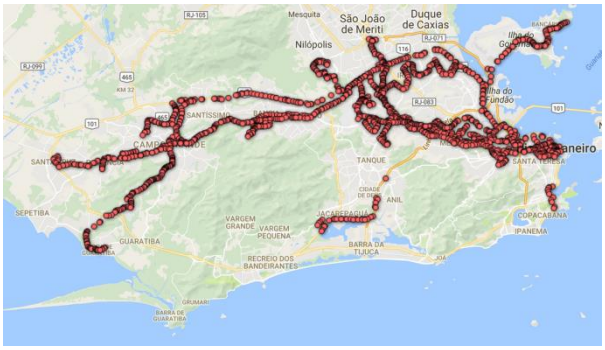
(i) (j)

(k)

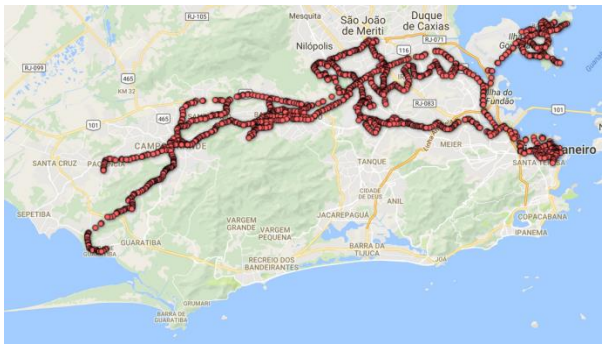
Figura 41 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}

Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

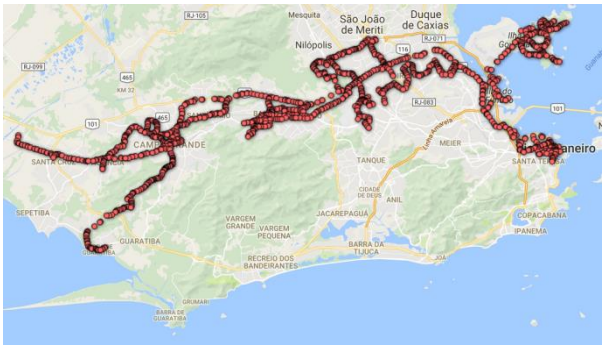
Apêndice K – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016



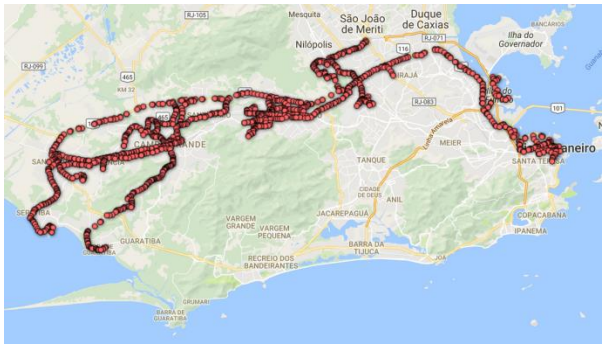
(a)



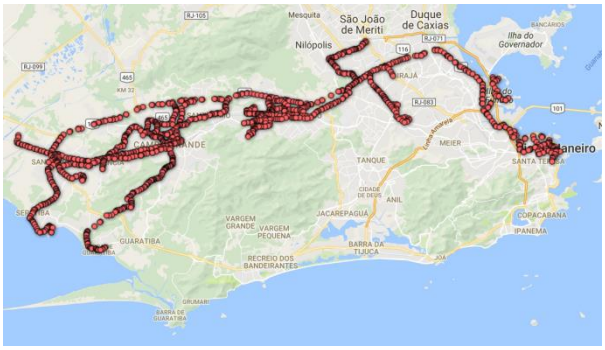
(b)



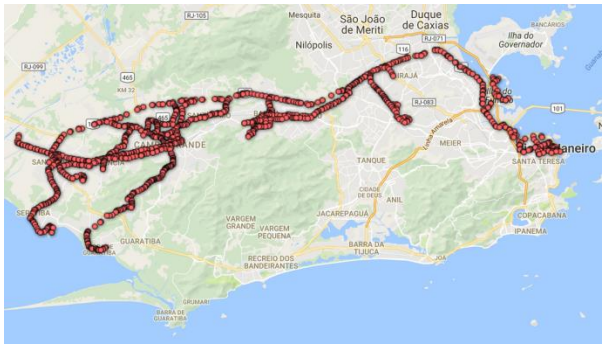
(c)



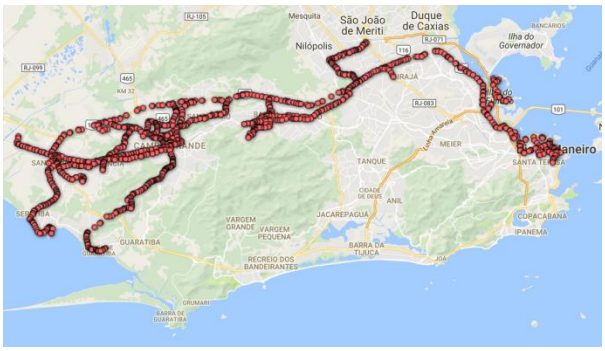
(d)



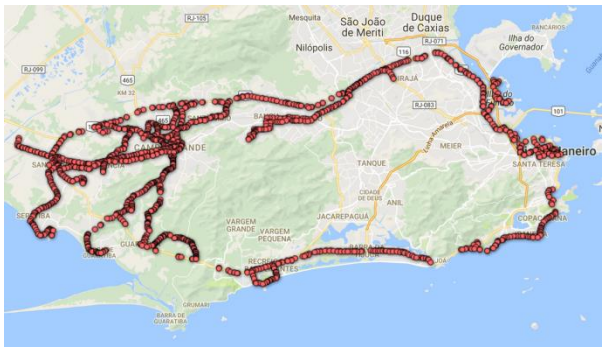
(e)



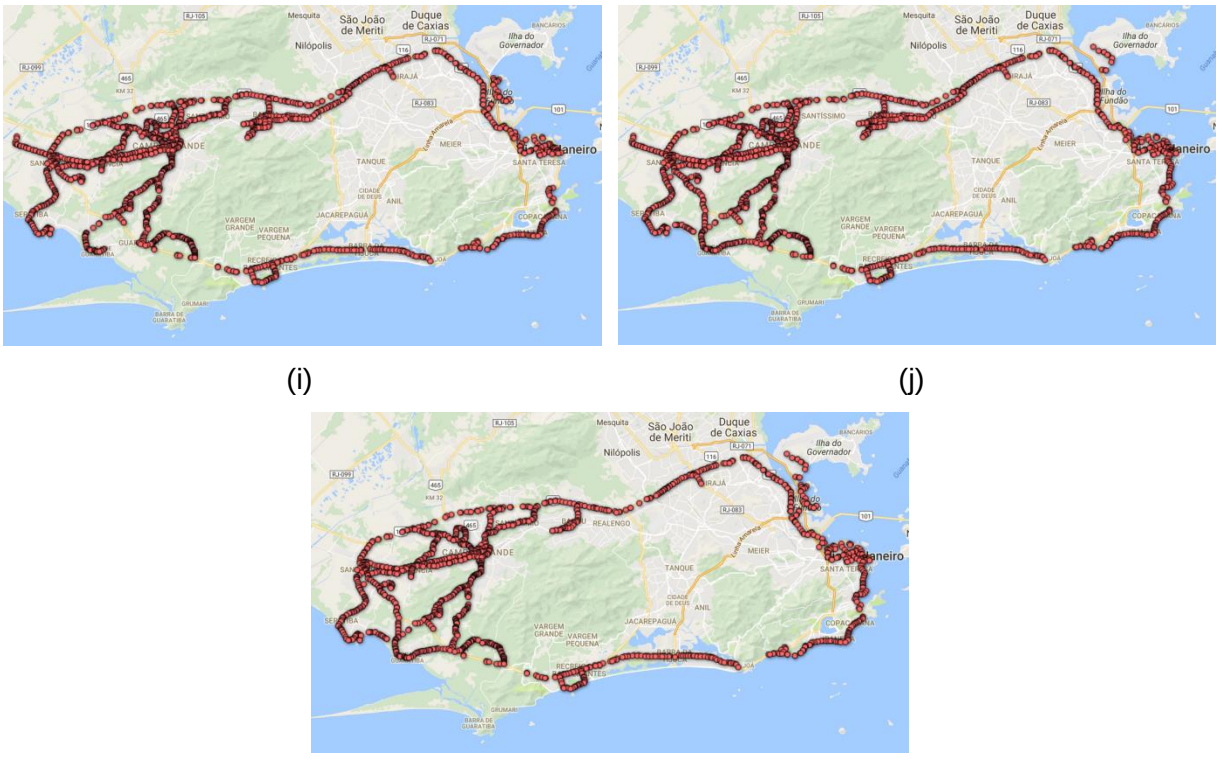
(f)



(g)



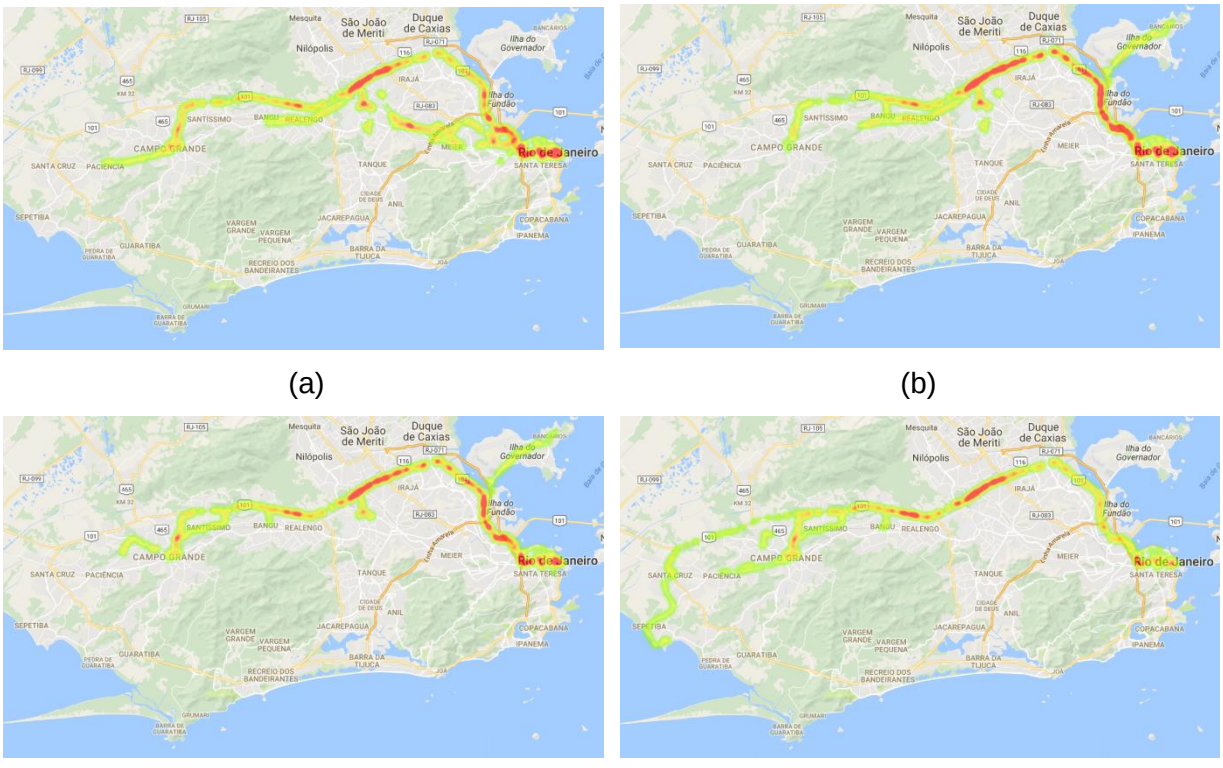
(h)



(i) (j)

(k)

Figura 42 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



(a) (b)

(c) (d)

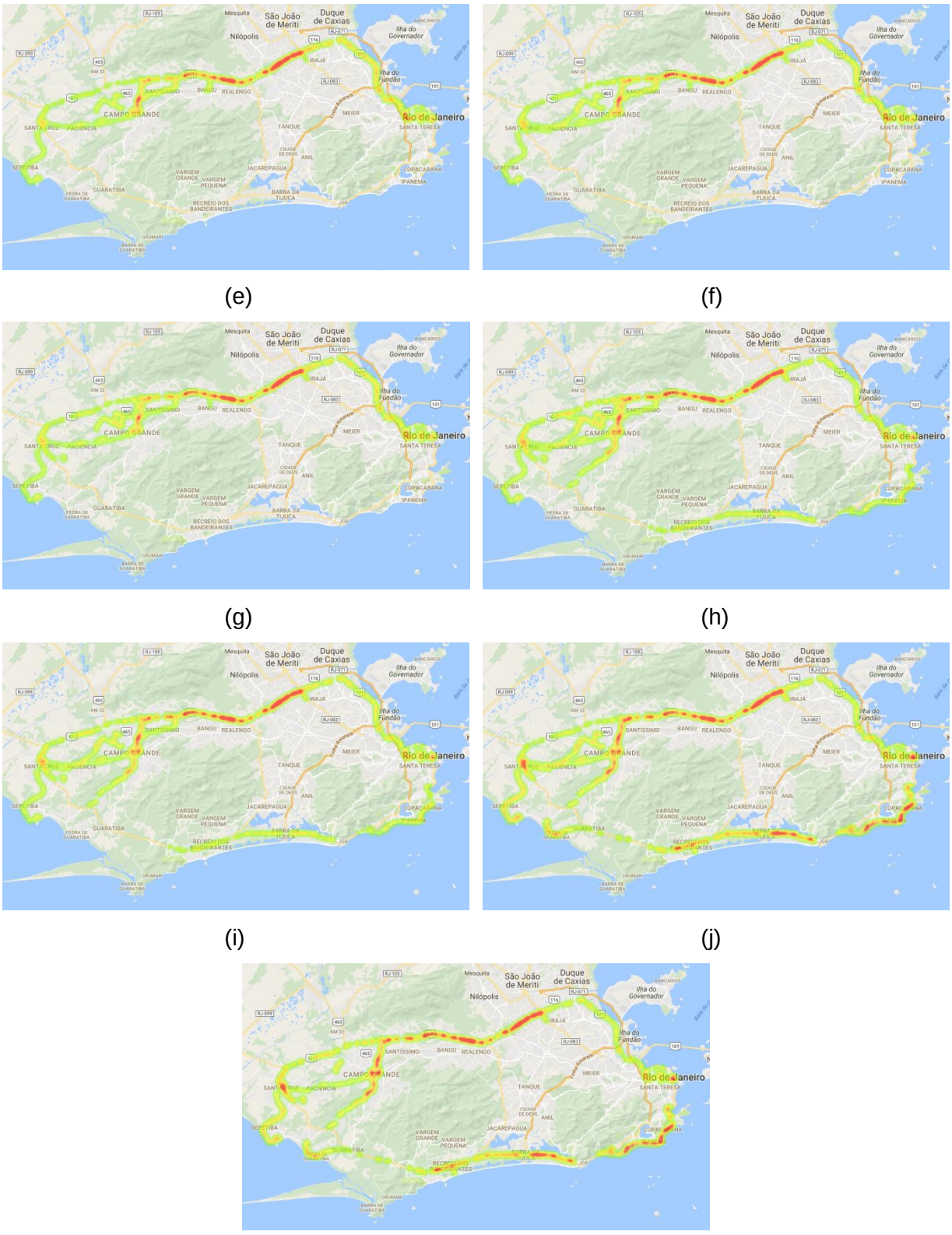
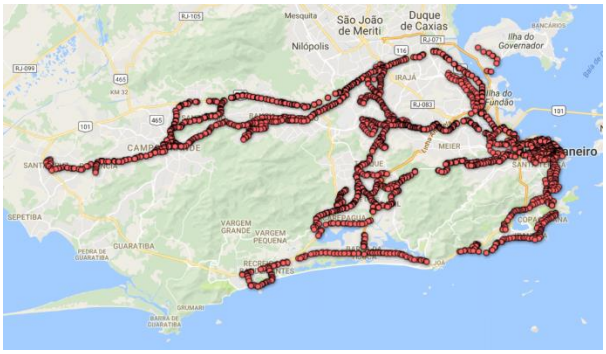


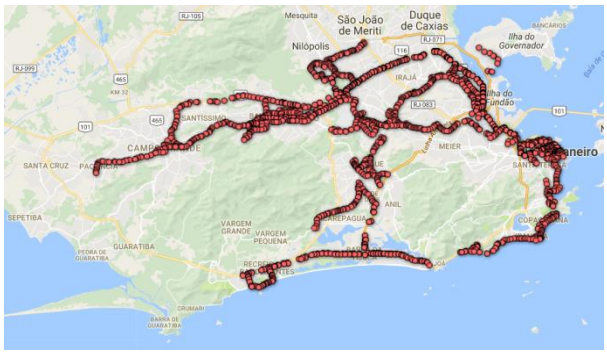
Figura 43 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com grau elevado nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}

Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

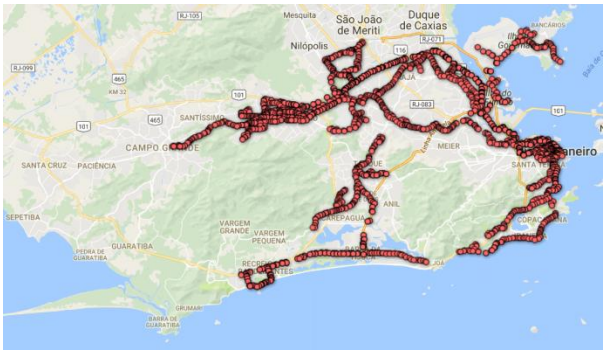
Apêndice L – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014



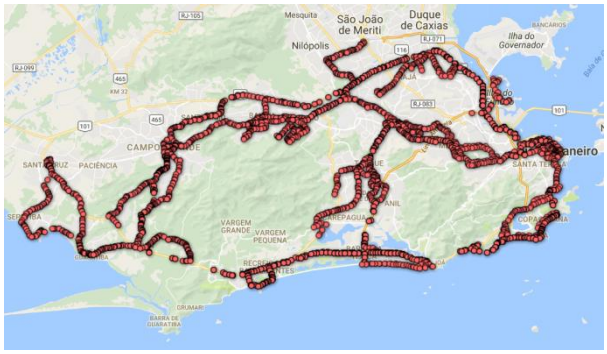
(a)



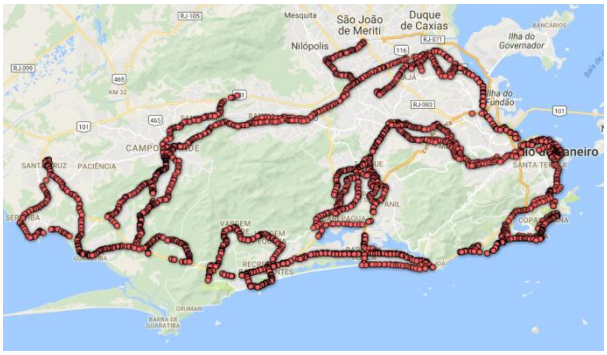
(b)



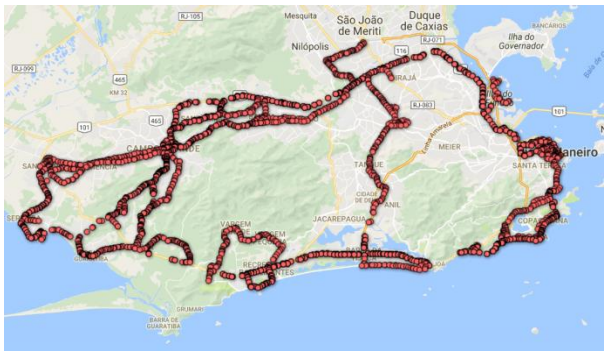
(c)



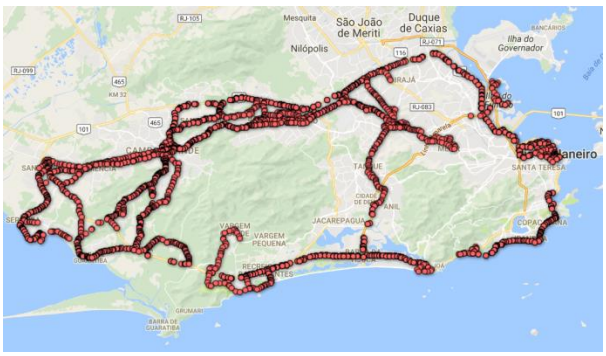
(d)



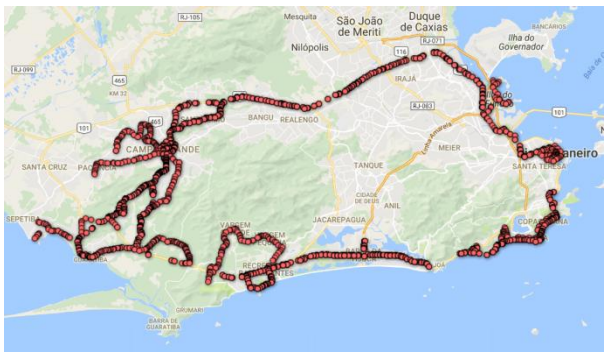
(e)



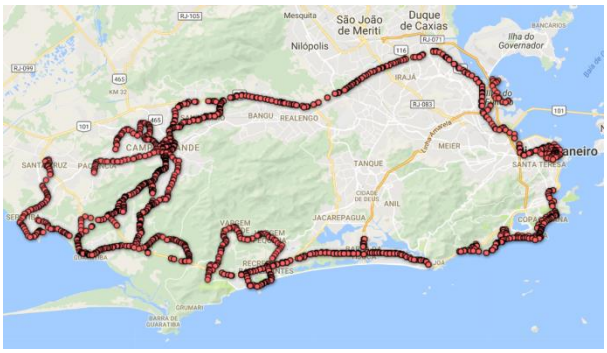
(f)



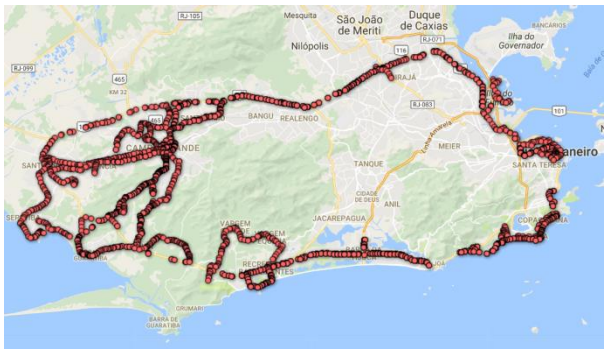
(g)



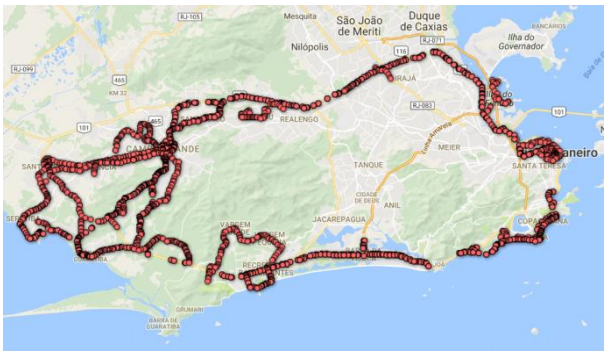
(h)



(i)

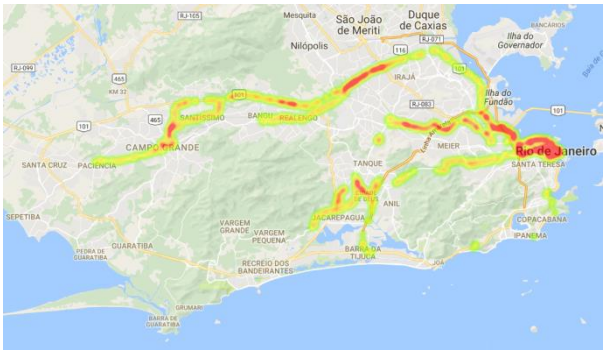


(j)

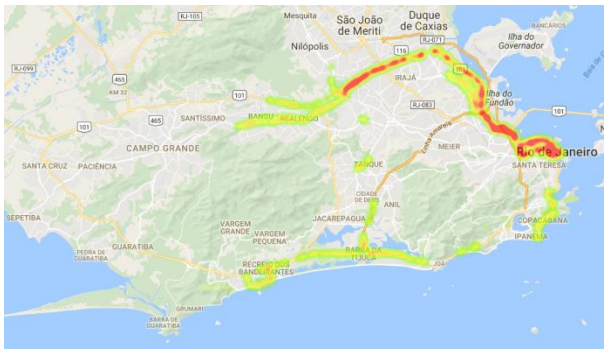


(k)

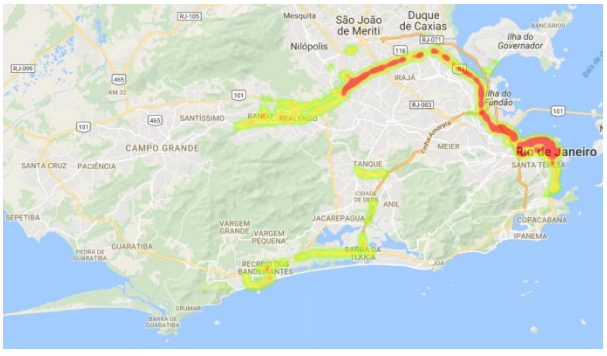
Figura 44 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



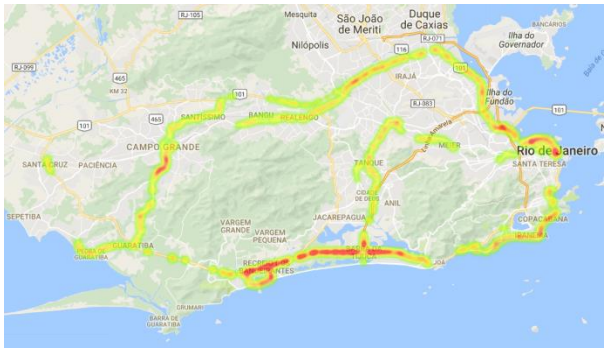
(a)



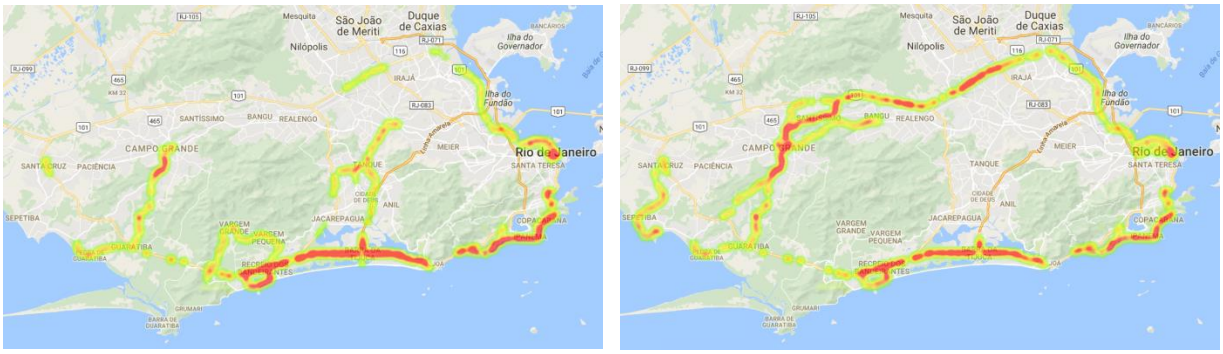
(b)



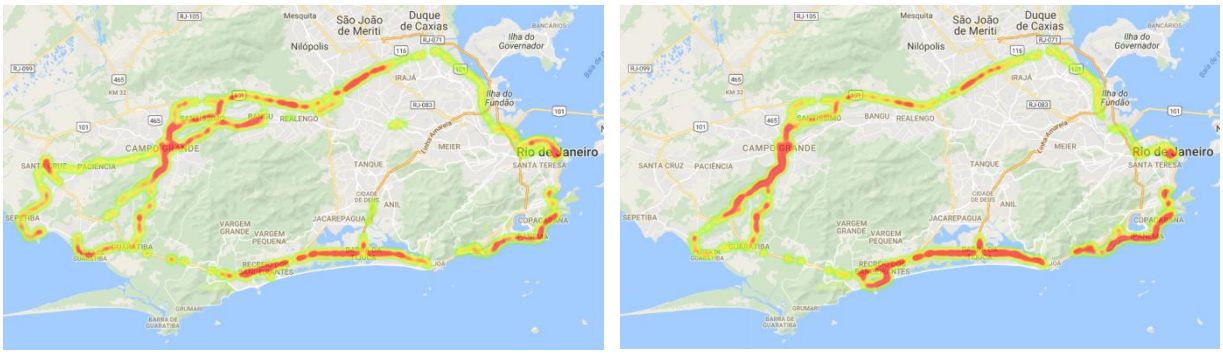
(c)



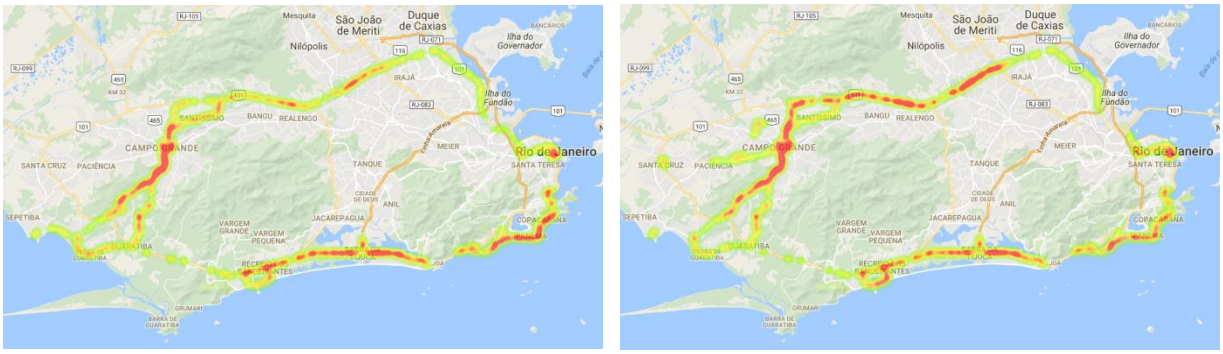
(d)



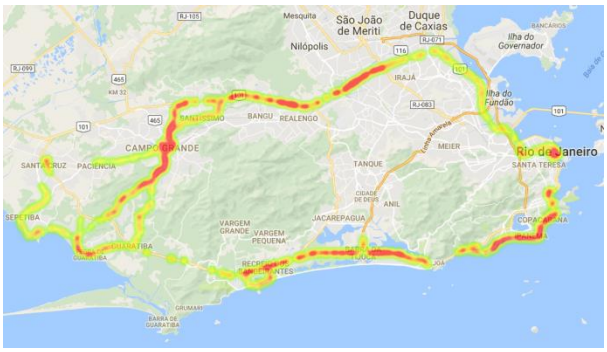
(e) (f)



(g) (h)



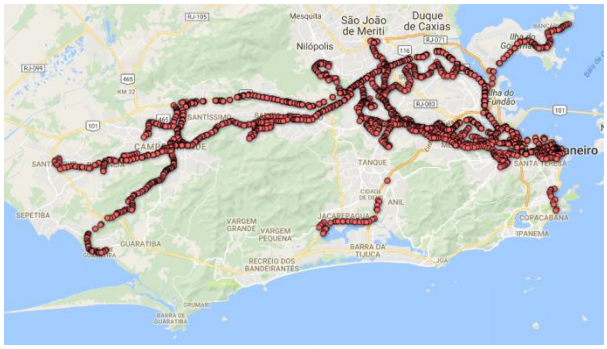
(i) (j)



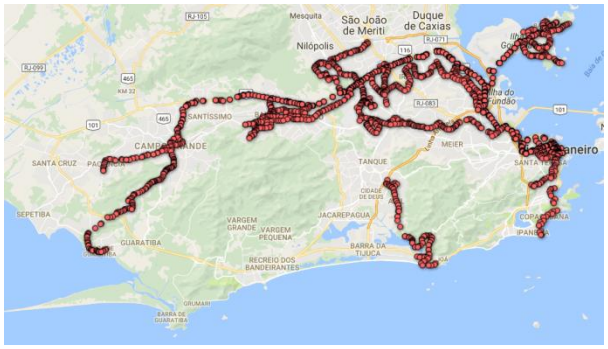
(k)

Figura 45 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

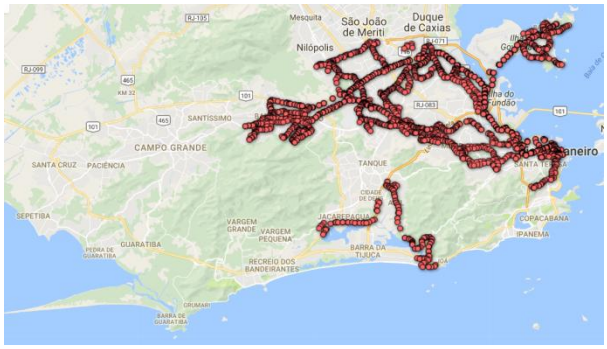
Apêndice M – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016



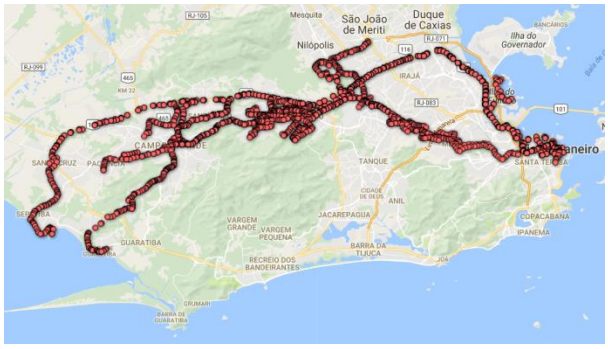
(a)



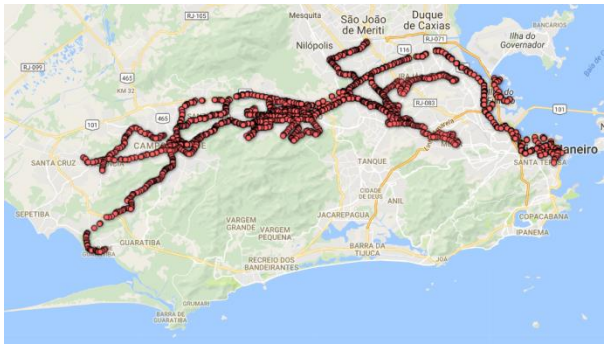
(b)



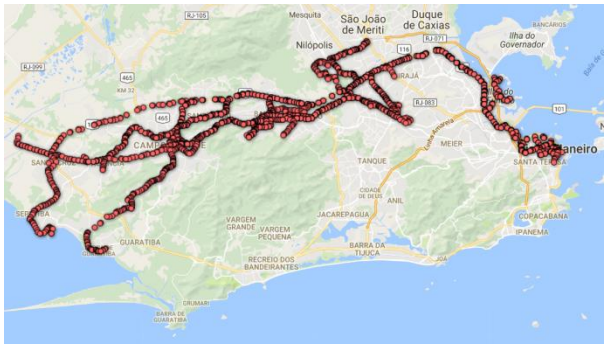
(c)



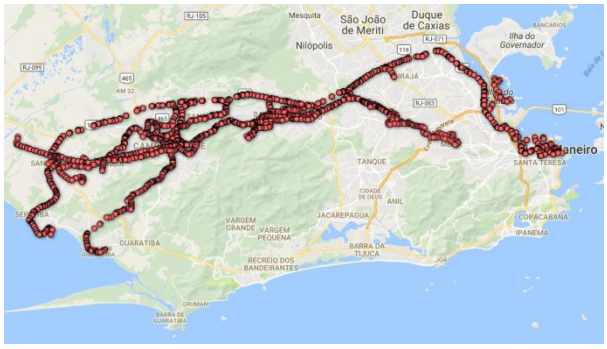
(d)



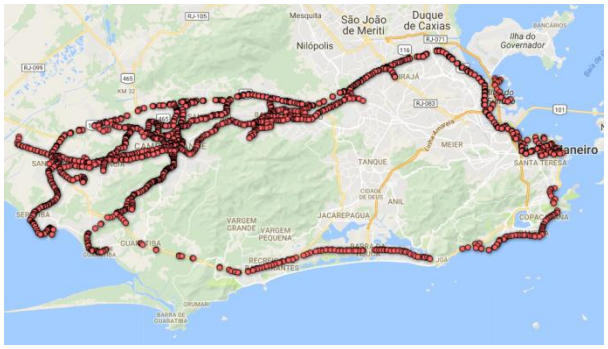
(e)



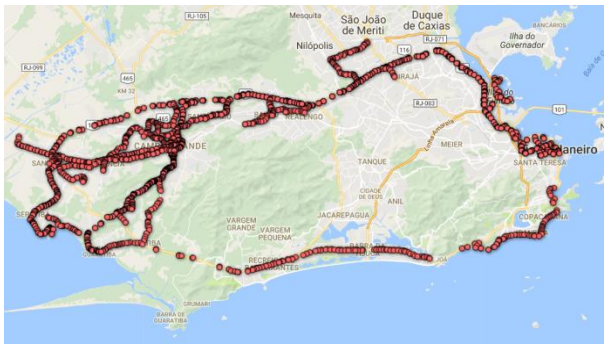
(f)



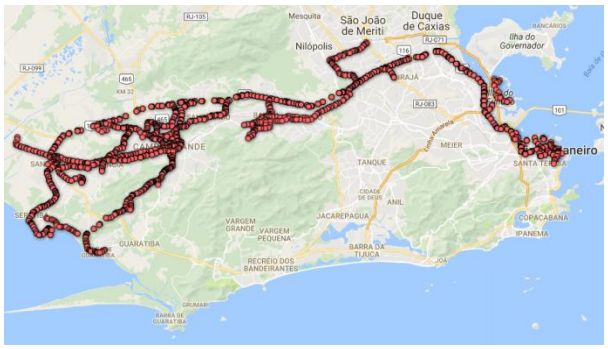
(g)



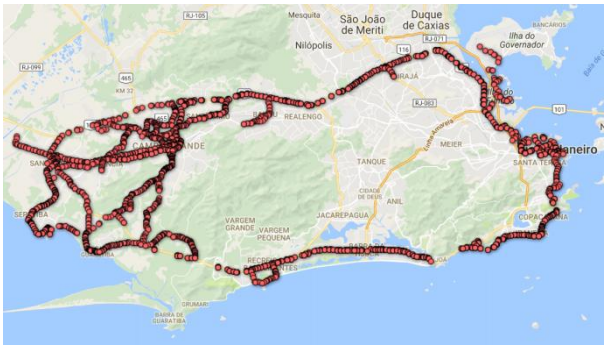
(h)



(i)

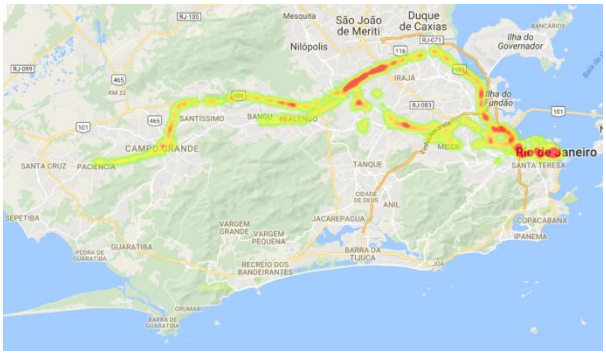


(j)

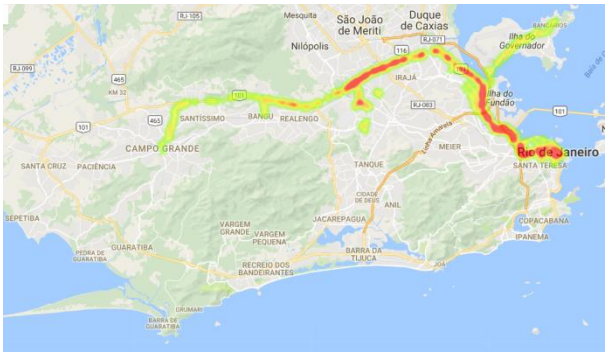


(k)

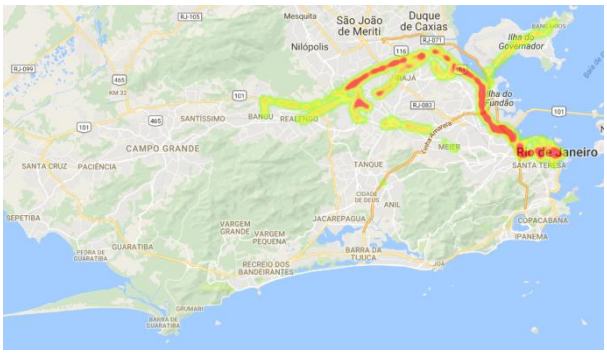
Figura 46 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



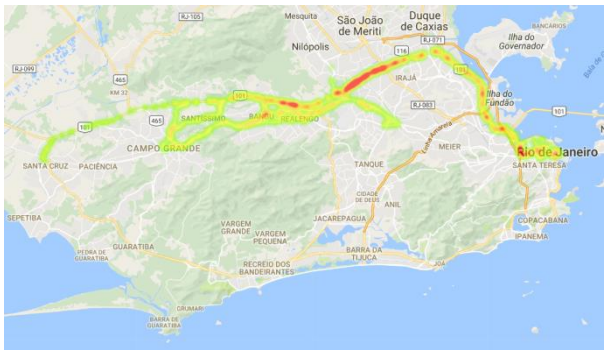
(a)



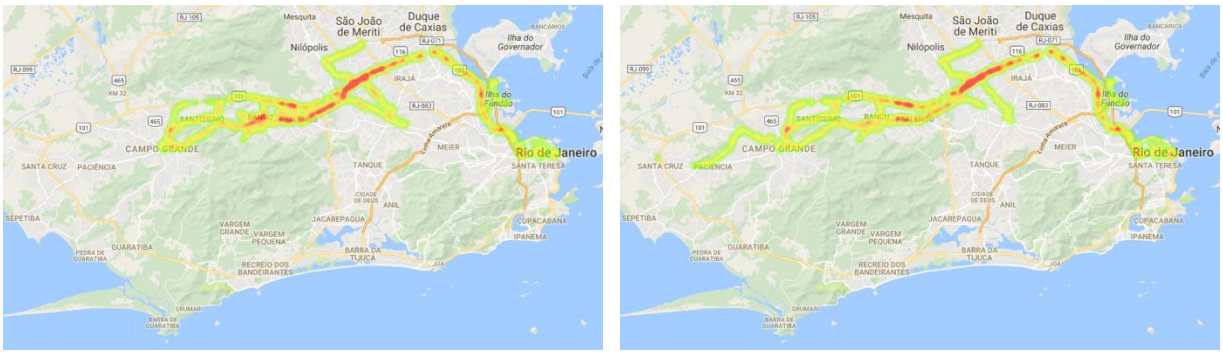
(b)



(c)

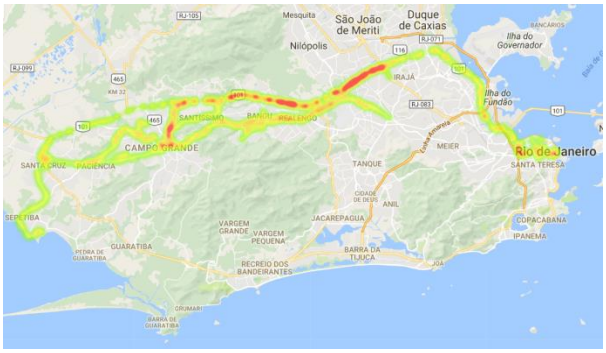


(d)

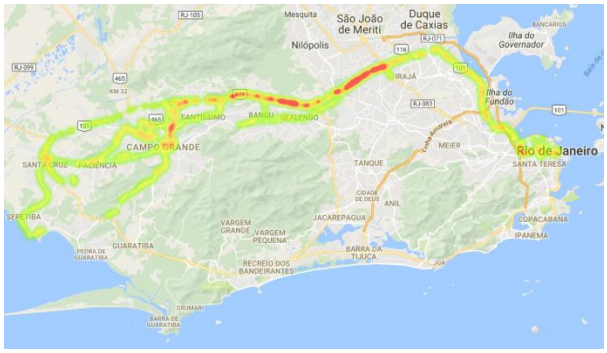


(e)

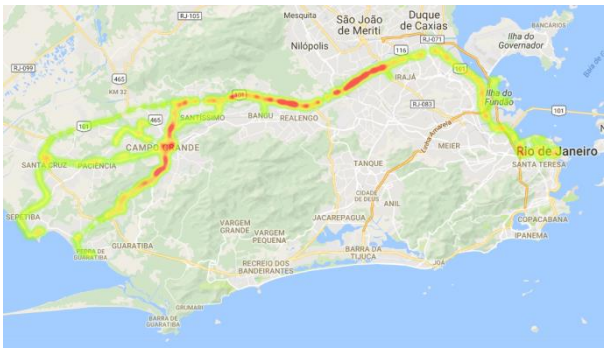
(f)



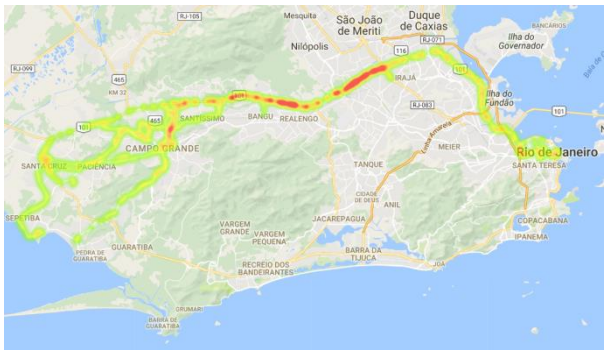
(g)



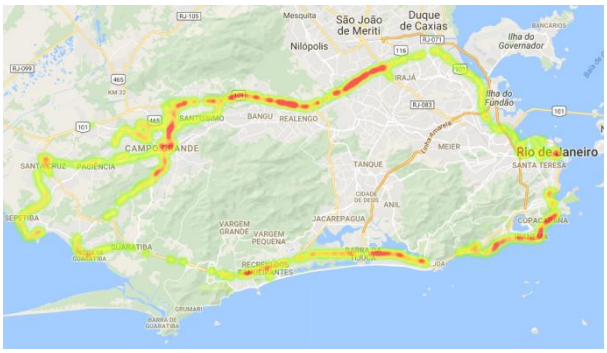
(h)



(i)



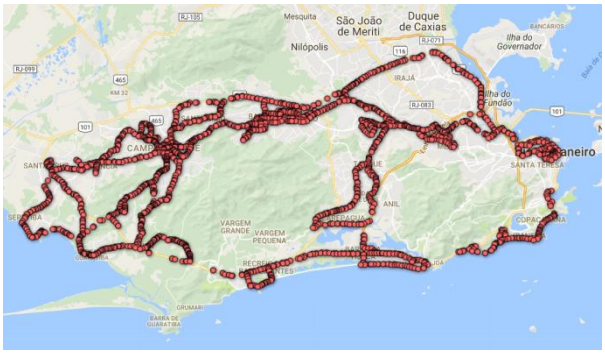
(j)



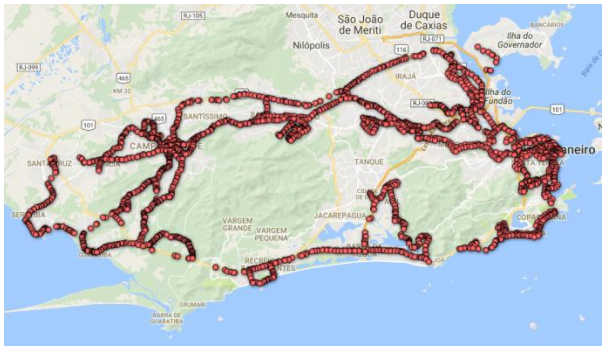
(k)

Figura 47 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com proximidade elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

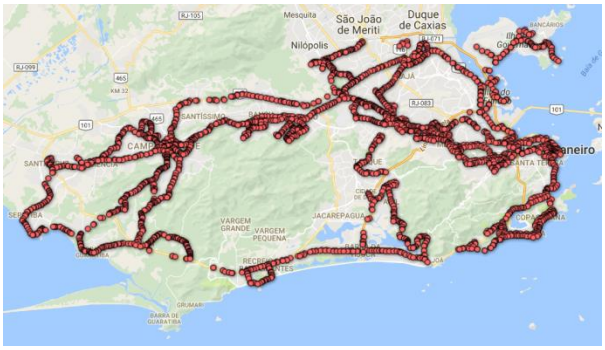
Apêndice N – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014



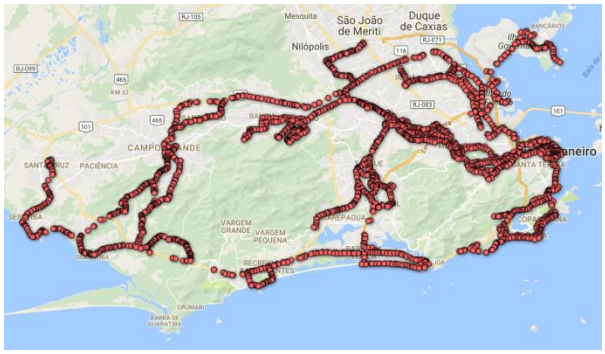
(a)



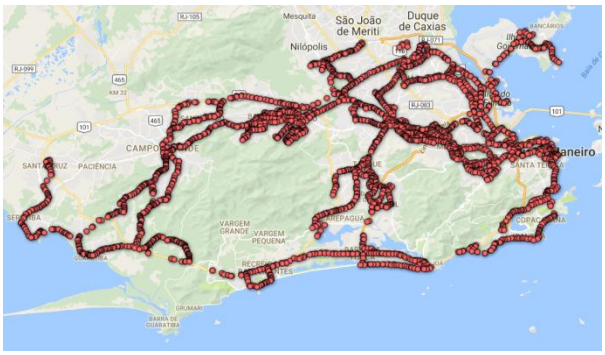
(b)



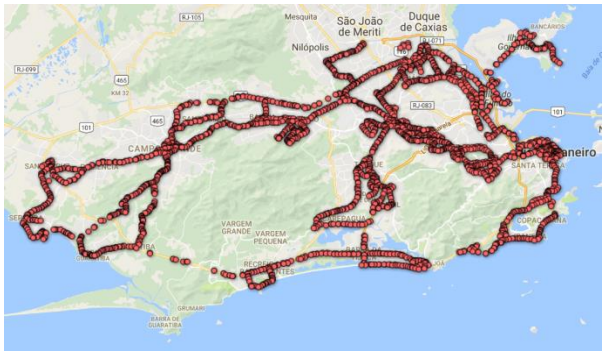
(c)



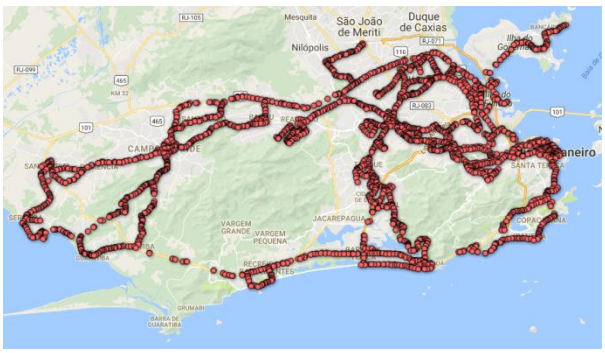
(d)



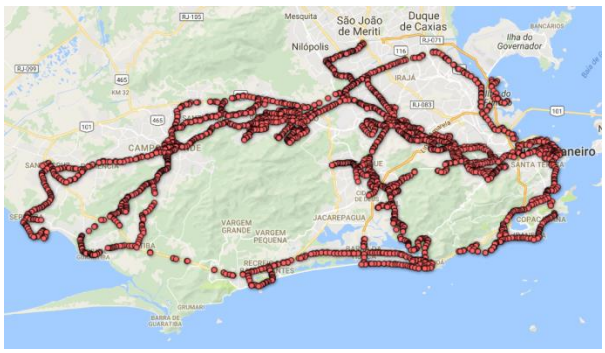
(e)



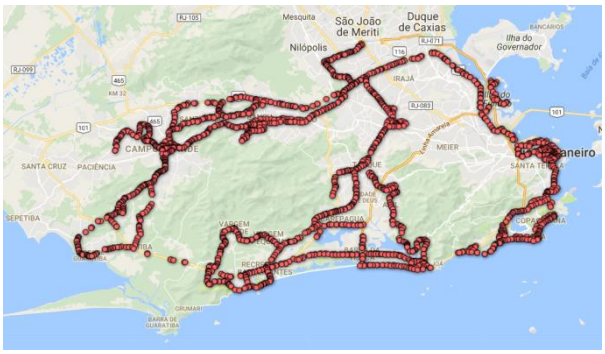
(f)



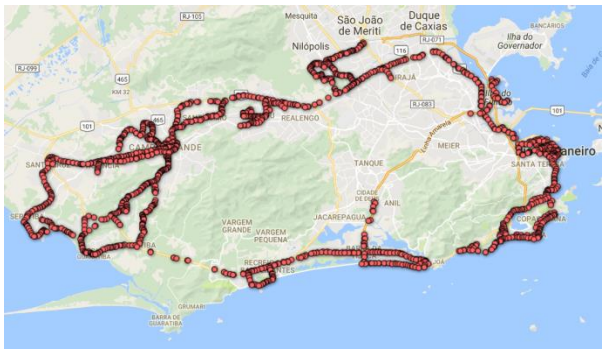
(g)



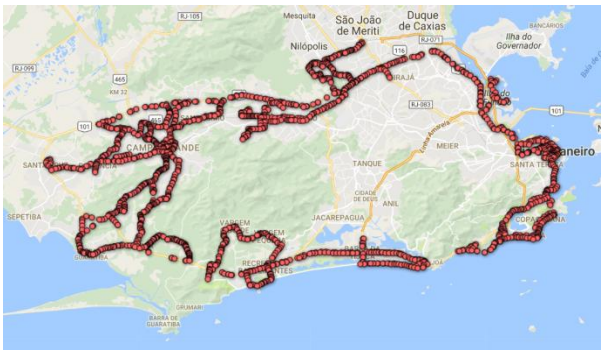
(h)



(i)

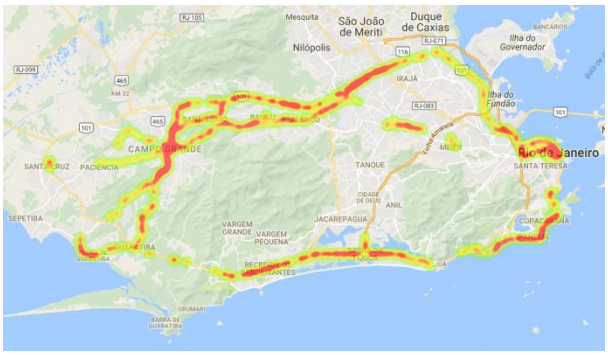


(j)

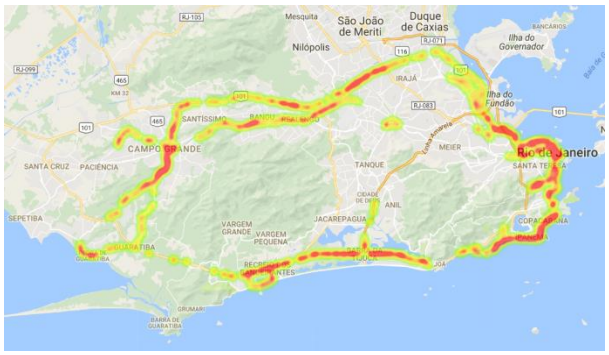


(k)

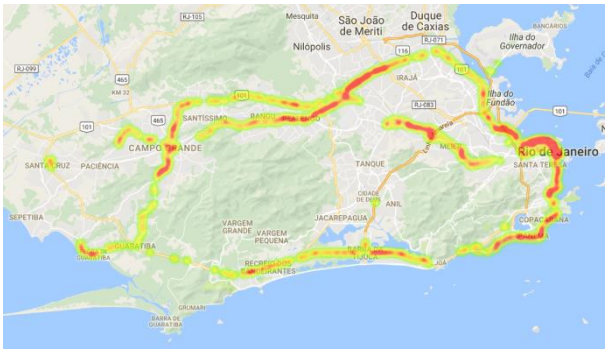
Figura 48 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



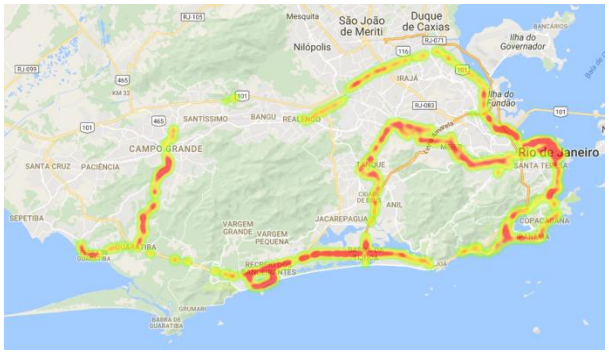
(a)



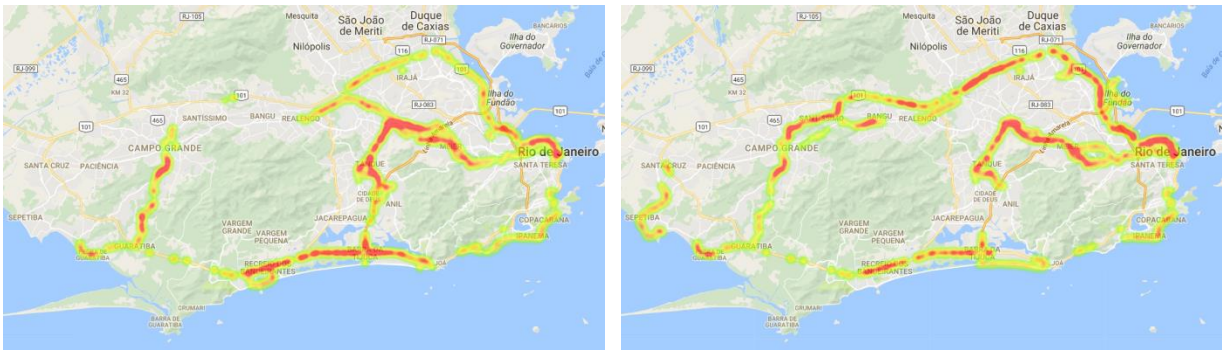
(b)



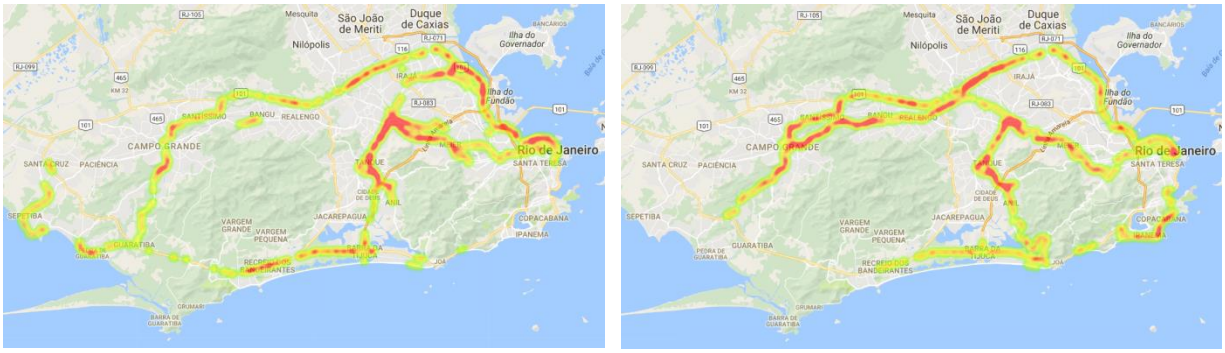
(c)



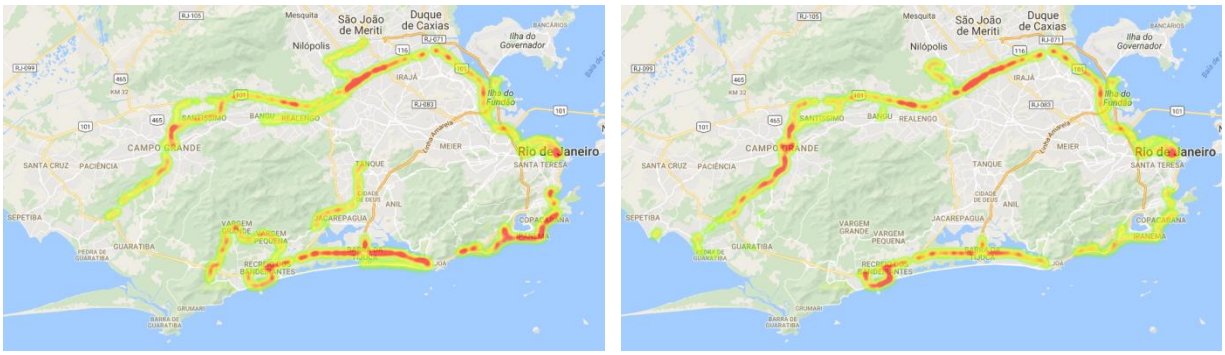
(d)



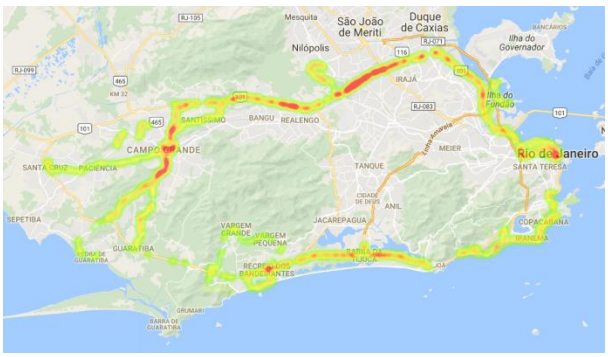
(e) (f)



(g) (h)



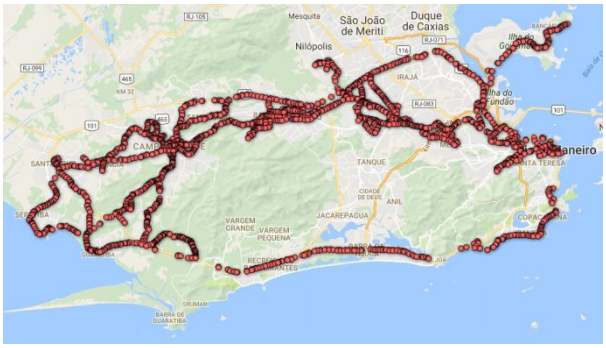
(i) (j)



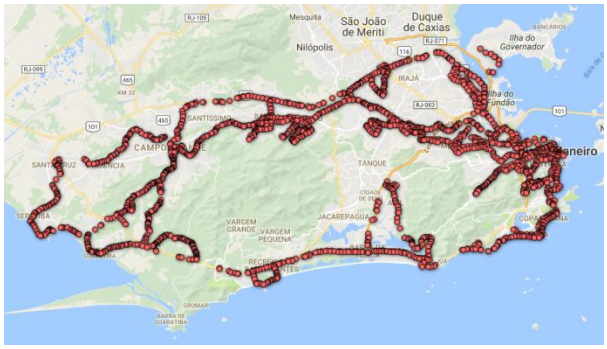
(k)

Figura 49 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2014. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)

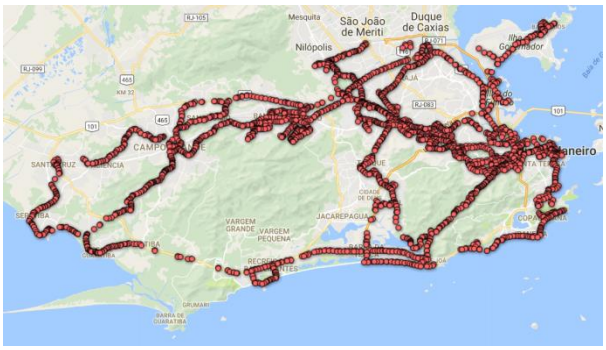
Apêndice O – Mapas contendo pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016



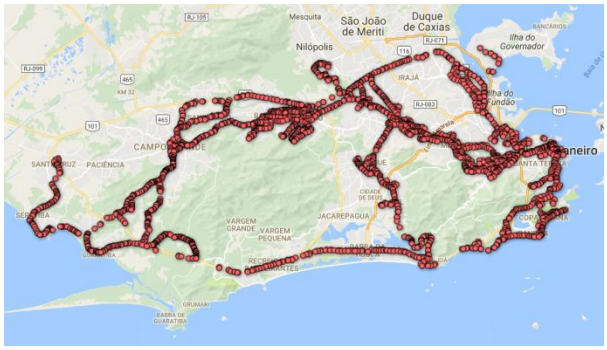
(a)



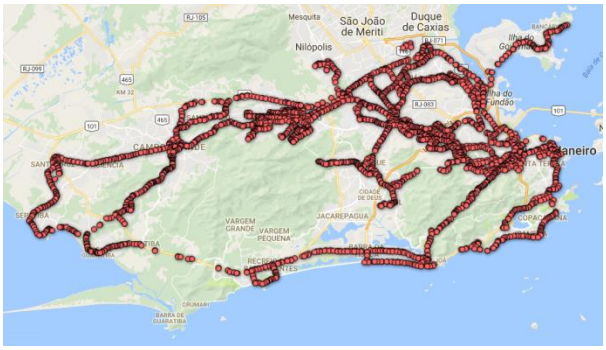
(b)



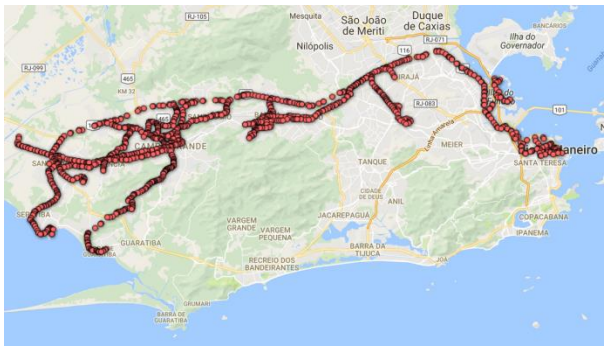
(c)



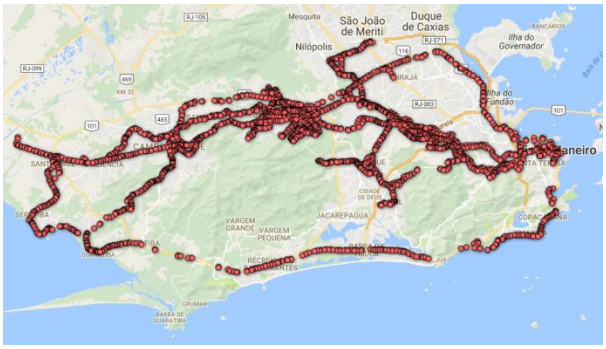
(d)



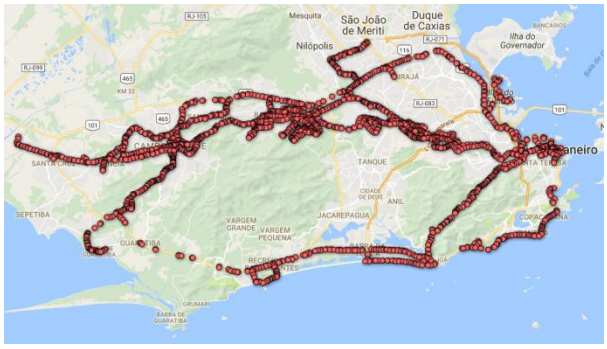
(e)



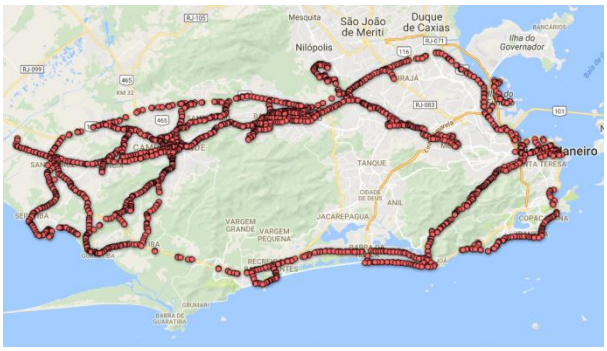
(f)



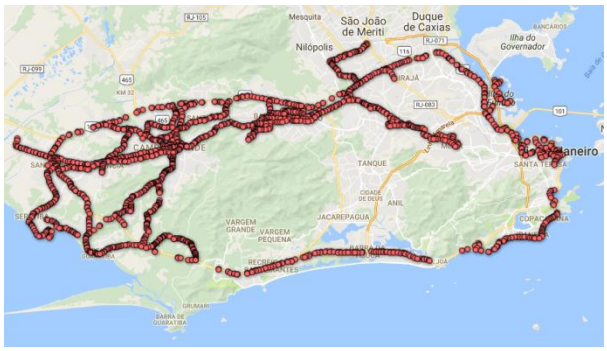
(g)



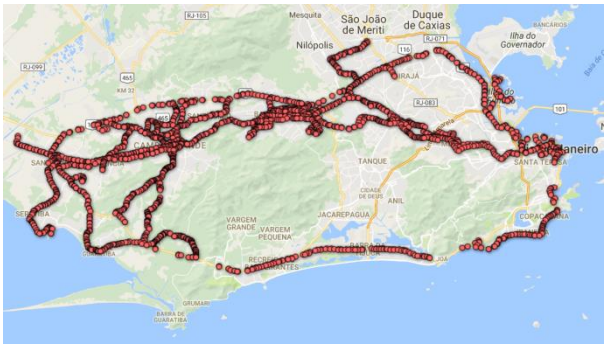
(h)



(i)

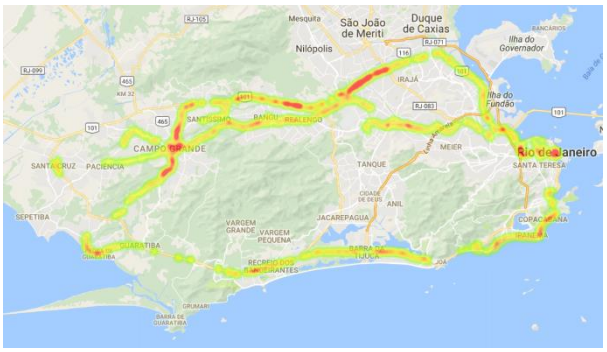


(j)

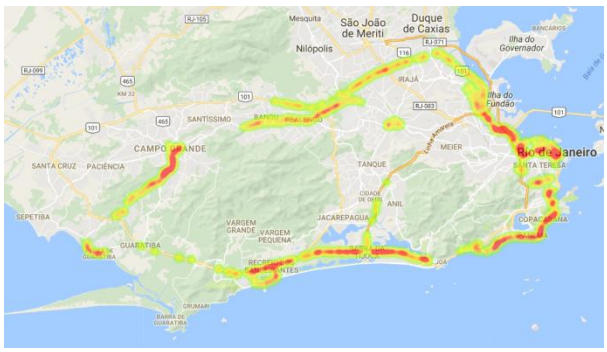


(k)

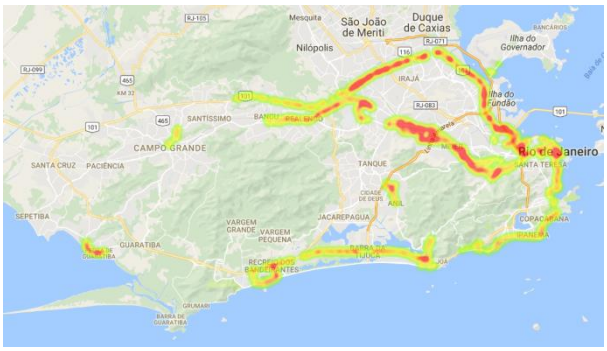
Figura 50 – Mapa do Rio de Janeiro com pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}
Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)



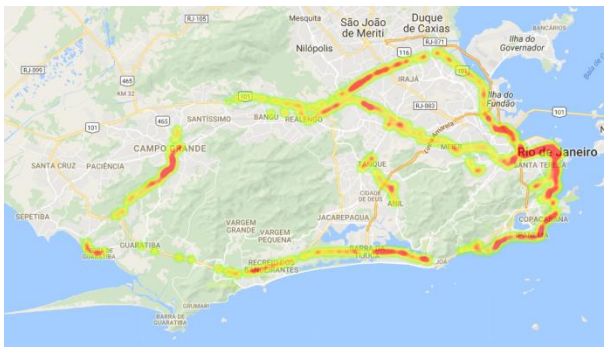
(a)



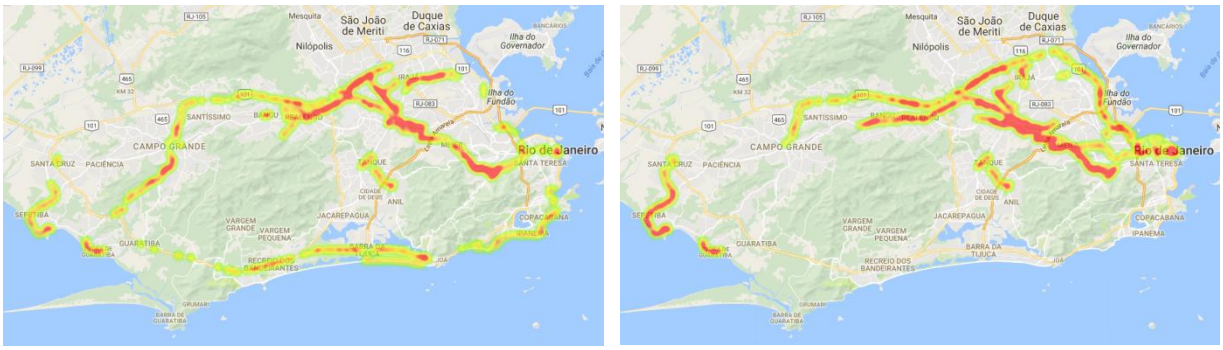
(b)



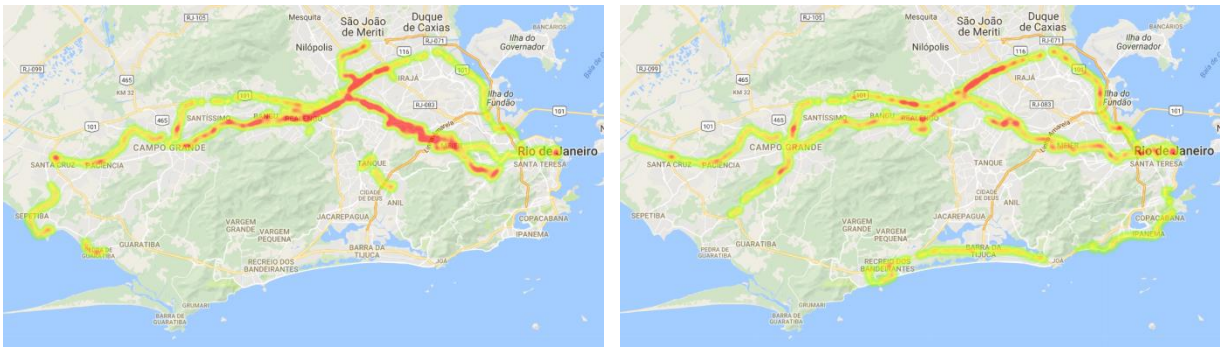
(c)



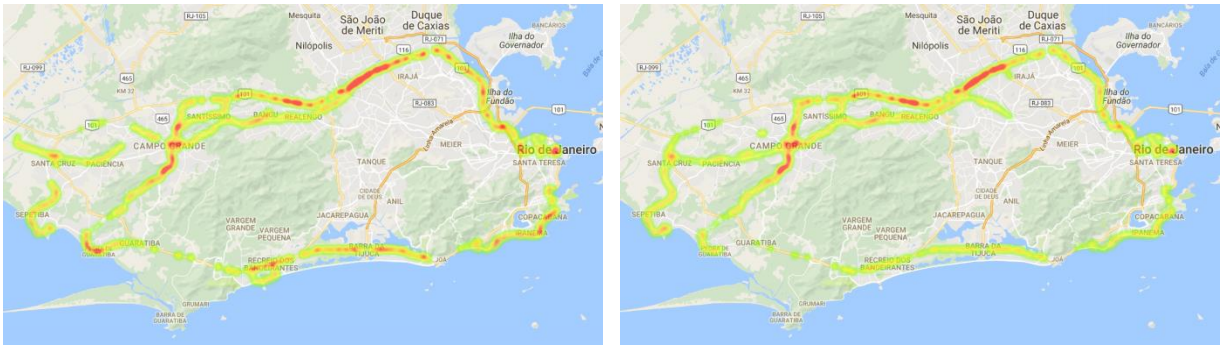
(d)



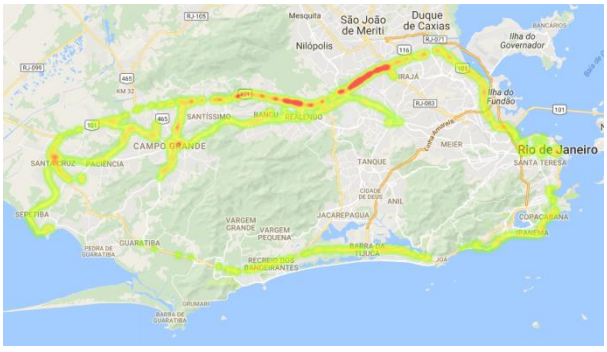
(e) (f)



(g) (h)



(i) (j)



(k)

Figura 51 – Mapa de intensidade dos pontos de ônibus das linhas com intermediação elevada nas redes *Cs* em 2016. (a) Cs^{1}. (b) Cs^{10}. (c) Cs^{20}. (d) Cs^{30}. (e) Cs^{40}. (f) Cs^{50}. (g) Cs^{60}. (h) Cs^{70}. (i) Cs^{80}. (j) Cs^{90}. (k) Cs^{100}

Fonte: Dados cartográficos do Google Fusion Tables (2016)