



IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA DEVIDO ÀS DISCREPÂNCIAS  
ENTRE O PLANEJADO E O EXECUTADO DE UMA REDE  
METROVIÁRIA – O CASO DO RIO DE JANEIRO

Bruno Pustilnick Maia

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Hostílio Xavier Ratton Neto

Rio de Janeiro  
Outubro de 2020

IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA DEVIDO ÀS  
DISCREPÂNCIAS ENTRE O PLANEJADO E O EXECUTADO  
DE UMA REDE METROVIÁRIA – O CASO DO RIO DE  
JANEIRO

Bruno Pustilnick Maia

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

---

Prof. Hostílio Xavier Ratton Neto, Dr.

---

Prof. Juan Pedro Moreno Delgado, Dr.

---

Prof. Matheus Henrique de Sousa Oliveira, Dr.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2020

Maia, Bruno Pustilnick

Impactos na Mobilidade Urbana Devido às Discrepâncias  
Entre o Planejado e o Executado de uma Rede Metroviária -  
O Caso do Rio de Janeiro / Bruno Pustilnick Maia. - Rio de  
Janeiro: UFRJ/COPPE,2020.

XVI, 128 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Hostílio Xavier Ratton Neto

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de  
Engenharia de Transportes, 2020.

Referências Bibliográficas: p.99-110

1. Rede metroviárias. 2. Mobilidade Urbana. 3. Grafos.  
I. Ratton Neto, Hostilio Xavier. II.Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, COPPE,Programa de Engenharia de  
Transportes. III. Título.

*Ao meu avô Hélio, que partiu pouco antes deste trabalho ser concluído e que se juntou à Marília para olhar por nós.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus familiares mais próximos, que sempre acreditaram e me incentivaram a continuar lutando. Minha mãe, meu pai e minhas tias. E aos meus avós, que, mesmo não estando mais presentes, foram e sempre serão fonte de inspiração.

À família Gerasso, em especial à Marina, por me apoiar e dividir momentos alegres e difíceis nesta caminhada.

Ao professor Hostílio Xavier Ratton Netto pela excelência na orientação, por sempre contribuir com ensinamentos valiosos, pelo incentivo, paciência e dedicação. Sua participação foi fundamental em todas as fases do trabalho.

Ao corpo docente pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos dentro e fora do Programa de Engenharia de Transporte, por terem tornado toda essa jornada mais prazerosa e significativa.

À CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

Aos funcionários do PET, em especial à Jane e Helena, que sempre foram extremamente atenciosas e solícitas, não sendo possível esquecer que logo no primeiro dia, no qual o PET passava por um sério problema hidráulico, me atenderam do lado de fora da secretaria pois eu estava com um pé quebrado e de muletas.

Ao senhor Mário Carlos Silva Lopes pelo apoio em parte fundamental da pesquisa.

E a todos aqueles que acreditam no ensino público e lutam por ele.

*Porque as perguntas realmente sérias são apenas aquelas que uma criança pode formular. Só as perguntas mais ingênuas são realmente perguntas sérias.*  
*(Milan Kundera, A Insustentável Leveza do Ser)*

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPACTOS NA MOBILIDADE URBANA DEVIDO ÀS DISCREPÂNCIAS  
ENTRE O PLANEJADO E O EXECUTADO DE UMA REDE  
METROVIÁRIA – O CASO DO RIO DE JANEIRO

Bruno Pustilnick Maia

Outubro/2020

Orientador: Hostílio Xavier Ratton Neto

Programa: Engenharia de Transportes

O presente trabalho procurou compreender se a baixa participação de uma rede metroviária na mobilidade urbana está relacionada com possíveis discrepâncias de seu traçado em suas fases de planejamento e execução. O objetivo foi comparar a função que essas redes exercem sob a ótica de mobilidade sustentável, que entre outros aspectos, defende a integração harmoniosa entre o uso do solo e a infraestrutura de transportes. Para tanto, foi dividido em três etapas: uma revisão bibliográfica do conceito de mobilidade sustentável, dos métodos de classificação das cidades com base no uso do solo, e de classificação das redes metroviárias com base em suas características topológicas. A classificação da cidade projetada com base nos principais motivos de viagem, e topologicamente as redes planejadas e executadas. E a comparação dos resultados obtidos. Para o caso estudado, a cidade do Rio de Janeiro, concluiu-se que sua baixa participação na mobilidade não estaria relacionada com as discrepâncias entre o planejado e o executado, mas sim com a dissonância entre a distribuição do uso do solo e a função desempenhada pela rede através de seu desenho.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE IMPACTS ON URBAN MOBILITY DUE TO THE DISCREPANCIES  
BETWEEN THE PLANNING AND EXECUTION OF A METRO NETWORK- THE  
CASE OF RIO DE JANEIRO

Bruno Pustilnick Maia

October/2020

Advisor: Hostílio Xavier Ratton Neto

Department: Transportation Engineering

The present work aims to understand if the low participation of a metro network in urban mobility is related to possible discrepancies in its topology between their planning and execution phases. The goal is to compare the role that these networks play under the perspective of sustainable mobility, which, among other aspects, advocates the harmonious integration between land use and transport infrastructure. To reach this objective the methodological procedure was divided into three stages: first, a bibliographic review about the concept of sustainable mobility, the methods of classifying cities based on land use, and the methods of classifying subway networks based on their topological characteristics. The second stage is dedicated to classifying the city designed and realized form based on the main reasons for travel, and topologically the planned and executed networks, using the city of Rio de Janeiro as a case of study. The third stage consists in comparing the results obtained. For this case study the conclusion is that its low participation in mobility is not related to the discrepancies between the planned and the executed network, but rather with the dissonance between the distribution of land use and the role performed by the network through its design.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Descrição do problema de pesquisa e hipóteses	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Justificativa	3
1.4 Delimitação da pesquisa	4
1.5 Procedimento da pesquisa e organização da dissertação	4
<b>2 A MOBILIDADE URBANA E AS REDES METROVIÁRIAS</b>	6
2.1 A evolução do conceito de mobilidade	6
2.2 A mobilidade sustentável e os benefícios do modo metroferroviário	10
2.3 A forma das cidades	13
2.3.1. <i>A cidade vista a partir de suas centralidades</i>	15
2.3 A topologia no estudo das redes de transportes	19
<b>3 MÉTODOS E TÉCNICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES E DAS REDES</b>	25
3.1 A mensuração e classificação das cidades a partir de aglomerações: método de Tsai.	25
3.1.1 <i>Autocorrelação Espacial</i>	27
3.1.1.1 <i>Matriz de vizinhança</i>	28
3.1.1.2 <i>Critérios de vizinhança</i>	28
3.1.1.3 <i>Índices de Autocorrelação Espacial</i>	29
3.1.2 <i>Índice Global de Moran I</i>	29
3.1.2.1 <i>Diagrama de espalhamento de Moran</i>	30
3.1.2.2 <i>Indicadores Locais de Associação Espacial</i>	32
3.2 Caracterização das redes <i>metroviárias</i> com base na teoria de grafos: método de Derrible.	34
3.2.1 Estado	38
3.2.2 Forma	38
3.3.3 Estrutura	37
<b>4 ESTUDO DE CASO</b>	39
4.1 A localização e mensuração das variáveis emprego formal e habitação.	46
4.2 A cidade e a rede projetadas para 1990	47
4.2.1 Previsão de distribuição da população para 1990	49

4.2.1.1	<i>A Visão dos Planejadores(população)</i>	49
4.2.1.2	<i>A aplicação do índice de Moran às previsões sobre a população</i>	50
4.2.2	Previsão da distribuição de empregos para 1990	53
4.2.2.1	<i>A Visão dos Planejadores(emprego)</i>	53
4.2.2.2	<i>Aplicação do índice de Moran às previsões aos empregos</i>	54
4.2.3	A Rede de Metrô Proposta para o Ano de 1990	57
4.2.3.1	<i>A Justificativa para a implantação de uma rede metroviária</i>	57
4.2.3.2	<i>As redes propostas</i>	59
4.2.3.3	<i>A análise da rede planejada através das características Estado, Forma e Estrutura</i>	61
4.2.3.3.1	<i>Estado da rede planejada</i>	63
4.2.3.3.2	<i>Forma da rede planejada</i>	64
4.2.3.3.3	<i>Estrutura da rede planejada</i>	65
4.2.4	A caracterização da rede planejada	65
4.2.5	A Relação entre as formas da cidade e o desenho da rede planejada.	66
4.3	A cidade e a rede no século XXI	67
4.3.1	A distribuição da população	69
4.3.2	A distribuição dos empregos	71
4.3.3	A rede metroviária no século XXI	75
4.3.3.1	<i>A análise da rede executada através das características Estado, Forma e Estrutura</i>	75
4.3.3.2	<i>Estado da rede executada</i>	77
4.3.3.3	<i>Forma da rede executada</i>	78
4.3.3.4	<i>Estrutura da rede executada</i>	79
4.3.4	A caracterização da rede executada	79
4.3.5	A relação entre as formas da cidade e o desenho das redes	80
<b>5</b>	<b>A ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS E SEMELHANÇAS ENTRE O PLANEJADO E O EXECUTADO PARA A REDE E O USO DO SOLO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO</b>	<b>82</b>
5.1	As redes planejada e executada	82
5.2	Compatibilidade das formas das cidades e das redes.	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>99</b>
	APÊNDICE I- POPULAÇÃO POR BAIROS PROJETADA PARA 1990	111

APÊNDICE II- EMPREGOS POR BAIROS PREVISTOS PARA 1990-----	113
APÊNDICE III- POPULAÇÃO POR BAIRRO EM 2010-----	114
APÊNDICE IV - EMPREGOS FORMAIS POR BAIRRO EM 2017-----	118
APÊNDICE V - DADOS BÁSICOS DAS REDES-----	122
APÊNDICE VI- INDICADORES DAS REDES -----	123
APÊNDICE VII- ZONAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO EM 2020-----	124
APÊNDICE VIII- BAIROS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO EM 2020-----	125
ANEXO I - MACRO E MICROÁREA DELIMITADAS PELO GRUPO DE ESTUDOS-----	126
ANEXO II- MAPA DA REDE EM 2020-----	127
ANEXO III- A REDE PLANEJADA PARA 1990(RIO IIB) -----	128

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelo simplificado de organização interna das cidades proposto por E. Burgess na década de 1920. -----	14
Figura 2.2: Modelo detalhado e personalizado de organização interna da cidade do Rio de Janeiro proposto por Souza. -----	15
Figura 2.3: Variação dos tipos de cidade de acordo com a distribuição de seus centros de atividades.-----	17
Figura 3.1: Concentração de idosos na cidade de São Paulo-----	28
Figura 3.2: Exemplo do gráfico de dispersão do índice global de Moran. -----	31
Figura 3.3: Exemplo do gráfico de dispersão do índice global de Moran. Indicações de autocorrelação espacial positiva e negativa.-----	32
Figura 3.4: Exemplo de mapas de aglomeração e de significância obtidos pelo índice local de Moran. -----	27
Figura 3.5: Exemplo de grafo para estudo das redes metroviárias. Baseado em Derrible (2010)-----	33
Figura 3.6: Exemplo de grafo, somente estações finais e de transferência-----	34
Figura 3.7: Exemplo de grafo com arestas múltiplas-----	34
Figura 4.1: Localização do estado do Rio de Janeiro no Brasil.-----	41
Figura 4.2: Localização do estado do Rio de Janeiro no Brasil.-----	41
Figura 4.3: Participação dos modos de transporte na mobilidade da cidade do Rio de Janeiro.-----	42
Figura 4.4: Grafo que representa o desenho da rede planejada para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 1990.-----	42
Figura 4.5: Grafo que representa o desenho da rede executada para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2020.-----	43
Figura 4.6: Destino das viagens na região metropolitana do Rio de Janeiro-----	43
Figura 4.7: Origem das viagens na região metropolitana do Rio de Janeiro-----	44
Figura 4.8: Origem das viagens em transporte coletivo na região metropolitana do Rio de Janeiro -----	45
Figura 4.9: Origem das viagens em transporte individual na região metropolitana do Rio de Janeiro -----	45
Figura 4.10: Microárea delimitada pelo grupo de estudos. -----	47
Figura 4.11: Delimitação aproximada do antigo estado da Guanabara e da microárea---	48

Figura 4.12: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição da população projetados para o ano de 1990. -----	51
Figura 4.13: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população projetada para o ano de 1990. -----	52
Figura 4.14: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população projetada para o ano de 1990. -----	52
Figura 4.15: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990. -----	54
Figura 4.16: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990 -----	55
Figura 4.17: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990. -----	56
Figura 4.18: Desenho da rede metroviária projetada para o ano de 1990. -----	61
Figura 4.19: Desenho esquemático em forma de grafo da rede metroviária projetada para o ano de 1990. -----	62
Figura 4.20: Classificação da característica “estado” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO II B) projetada para o ano de 1990 -----	64
Figura 4.21: Classificação da característica “forma” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO II B) projetada para o ano de 1990 -----	64
Figura 4.22: Classificação da característica “estrutura” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO II B) projetada para o ano de 1990. -----	61
Figura 4.23: Mapa da divisão por bairros da cidade do Rio de Janeiro e da localização das estações de metrô no ano de 2020-----	64
Figura 4.24: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010. -----	69
Figura 4.25: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010. -----	70
Figura 4.26: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010. -----	70
Figura 4.27: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição de empregos no ano de 2017-----	71
Figura 4.28: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos para o ano de 2017. -----	72

Figura 4.29: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos para o ano de 2017-----	73
Figura 4.30: Número de empregados formais por bairros. São mostrados no gráfico os 10 bairros mais significativos-----	74
Figura 4.31: Percentual de empregados formais por bairros. -----	74
Figura 4.32: Desenho esquemático em forma de grafo da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020. -----	76
Figura 4.33: Classificação da característica “estado” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020.-----	78
Figura 4.34: Classificação da característica “forma” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020.-----	78
Figura 4.35: Classificação da característica “estrutura” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020.-----	79
Figura 5.1: Classificação da característica “estado” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro.-----	83
Figura 5.2: Classificação da característica “forma” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro-----	84
Figura 5.3: Classificação da característica “estrutura” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro-----	85
Figura 5.4: Cobertura da rede metroviária projetada para 1990 e as zonas da cidade do Rio de Janeiro. -----	87
Figura 5.5: Cobertura da rede metroviária executada em 2020 e as zonas da cidade do Rio de Janeiro. -----	88
Figura 5.6: A relação entre a autocorrelação espacial de habitação e empregos, e a cobertura da rede metroviária na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1990.- -----	89
Figura 5.7: Bairros da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro com características alto-alto/alto-baixo para empregos e/ou habitação, não cobertos pela rede metroviária na projeção realizada para o ano de 1990. -----	90
Figura 5.8: Bairros das zonas norte e central com significância estatística para o índice de Moran não cobertos pela Linha 2(Madureira, Ramos e Caju). -----	91
Figura 5.9: Bairros das zonas sul e central com significância estatística para o índice de Moran não cobertos pelas Linha 1 e 2 (Gamboa, Rio Comprido e Urca).-92	

Figura 5.10: A relação entre a autocorrelação espacial de habitação e empregos, e a cobertura da rede metroviária na cidade do Rio de Janeiro para o século XXI.-----93

Figura 5.11: Área coberta pela rede metroviária em 2020. -----94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Classificação proposta da centralidade das cidades através do índice global de Moran. -----	26
Tabela 3.2 :Valores de classificação da centralidade a partir do índice global de Moran.- -----	27
Tabela 4.1: Dados básicos da rede planejada -----	60
Tabela 4.2: Dados da rede planejada como um grafo para a obtenção dos valores de seus indicadores. -----	63
Tabela 4.3: Dados da rede planejada para o cálculo de suas características. -----	63
Tabela 4.4: Dados da rede executada como um grafo para a obtenção dos valores de seus indicadores. -----	77
Tabela 4.5: Dados da rede executada para o cálculo de suas características-----	77



## 1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um tema fundamental no debate e na prática dos mais diversos campos da ciência, entre eles o transporte. A procura pelo equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental, tem guiado os pesquisadores no que tange atender às necessidades de deslocamento. O atingimento desse equilíbrio passa por compreender e adaptar o uso do solo de tal forma que a necessidade de deslocamento seja mitigada o máximo possível, e caso não possa ser evitada, que seja realizada com baixo gasto energético, de forma segura, confortável e economicamente viável para todos os cidadãos. Dessa maneira, o uso do solo e a malha de transportes devem estar em consonância para chegar o mais próximo possível do equilíbrio ideal.

Alguns modos de transporte favorecem a mobilidade sustentável pois conseguem realizar viagens com poucos impactos, como é o caso do metroviário. O fato de, em muitos casos, operar no subsolo, transportar grande número de passageiros por viagem, apresentar baixa ocorrência de acidentes, possuir intervalos mais curtos e regulares que outros modos, além de utilizar energias consideradas mais limpas, torna o uso do metrô compatível com a ideia de equilíbrio na relação entre os desejos de viagens da população e a qualidade de vida no meio urbano. Ao contemplar essas duas necessidades a rede metroviária beneficia tanto os seus usuários quanto não usuários, já que seus efeitos são sentidos mesmo fora do seu sistema.

No entanto, seu custo de implantação é elevado, tanto no aspecto financeiro (com aportes consideráveis dos setores público e privado) como social (há o envolvimento, ainda que indireto, da população do local de implantação da rede, com perturbações no seu cotidiano durante as obras) e até ambiental, se grandes intervenções em áreas naturais forem necessárias. Além disso, são estruturas de grande porte e de complexa implantação e modificação, sendo, portanto, pouco flexíveis para sofrer alterações ao longo do tempo.

Assim, diante dos custos e benefícios que uma rede metroviária apresenta, espera-se que ela seja umas das protagonistas na mobilidade urbana. Quando isso não ocorre é necessário verificar as razões que a relegaram a outra posição. Os motivos podem envolver questões tarifárias, políticas públicas precipitadas ou negligentes, problemas operacionais e até a própria distribuição espacial da rede. Esta última, talvez seja a de maior importância, já que se relaciona diretamente com o uso do solo. Logo, identificar se há dissonância entre a função exercida pela rede e o uso do solo é uma questão proeminente para a mobilidade.

Compreender se o planejamento e a execução deste tipo de rede estão em consonância com o uso do solo pode revelar se o problema de sua baixa participação reside nessa questão ou em outras. Se sim, ajustes devem ser feitos em sua expansão para que se torne mais participativa na mobilidade, intensificando seus impactos positivos. Do contrário, se não há problemas relevantes que envolvam o planejamento e a execução de seu traçado, é possível que sua baixa participação envolva outras questões.

### **1.1 Descrição do problema de pesquisa e hipóteses**

Redes metroviárias que possuem baixa participação na mobilidade podem apresentar incompatibilidade do desenho de suas redes com a forma das cidades onde se encontram. Isso significa que uma cidade policêntrica (ou seja, uma cidade que possui mais de um núcleo de importância social, política e/ou econômica), por exemplo, pode estar sendo servida por uma rede metroviária que favorece uma estrutura urbana de elevada concentração socioeconômica em apenas um área ou zona, apresentando uma rede de desenho monocêntrico.

Enquanto cidades podem ser bastante dinâmicas, mudando rapidamente suas características econômicas e populacionais em poucos anos, redes metroviárias possuem uma natureza menos mutável, com estações e linhas que após serem implantadas no tecido urbano mantém sua localização por décadas, e em alguns casos, por mais de um século.

É, portanto, fundamental que se compreenda a forma tanto da cidade como de sua rede metroviária. No entanto, essa tarefa envolve considerar o que determina essa forma. Para cada caso é necessário verificar quais os maiores motivos de deslocamento da população do meio urbano investigado e como ela se distribui pelo território.

Diante destes fatos, objetiva-se responder as seguintes perguntas:

- Como a discrepância entre o planejado e o realizado para o desenho de uma rede metroviária impacta em sua participação na mobilidade urbana?
- Existe compatibilidade entre a forma da cidade em questão e de sua rede metroviária?
- Como mensurar, classificar e monitorar tanto a forma das cidades como a das redes?

As hipóteses levantadas são:

- As diferenças apresentadas na execução da rede determinam sua função na mobilidade, e podem ser positivas, caso a rede acompanhe as mudanças no tecido urbano; ou negativas, caso esta não se adeque às características do uso do solo.

- Caso exista um descompasso entre o desenho da rede metroviária e a localização, tanto da residência da população, como de suas principais atividades, é possível que a baixa participação da rede na mobilidade da cidade tenha uma de suas raízes nesse problema. Caso contrário, outros motivos que levam à baixa participação da rede devem ser analisados.
- Técnicas de análise de estatística espacial podem ajudar a promover um acompanhamento de longo prazo tanto para o uso do solo como para o tamanho e forma das redes.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo principal foi analisar se a baixa participação de uma rede metroviária na mobilidade está relacionada com uma possível discrepância entre o planejado e o executado para o seu desenho. Ou seja, verificar se os desenhos proposto e executado para uma rede possuem compatibilidade ou não com a distribuição das atividades que mais geram viagens em um determinado tecido urbano, constatando se houve falhas na fase planejamento, de execução, em ambas ou em nenhuma.

Para tanto, outros objetivos foram propostos para que fosse atingi-lo. São eles:

- Caracterizar a forma dos usos do solo na cidade que abriga a rede metroviária estudada, tanto no que foi projetado quanto em sua situação atual. Ou seja, determinar como estão distribuídas as atividades que mais geram viagens.
- Caracterizar a forma rede metroviária quanto à sua função na mobilidade urbana, tanto na fase de planejamento, quanto na de execução. Isso significa verificar a influência da distribuição das estações e do traçado das linhas na acessibilidade das principais atividades da cidade.

## **1.3 Justificativa**

O sistema metroviário demanda elevados recursos financeiros e operacionais, e sua implantação e expansão exigem tempo e grande envolvimento dos setores público e privado. À medida que a questão de seu papel na mobilidade é discutida e colocada em termos científicos, sua orientação pode ser melhor entendida, mensurada e acompanhada pelos diversos setores da sociedade.

A partir do momento que se debate a concepção do sistema, sua evolução, seu papel como meio de transporte e sua expansão, racionaliza-se sua presença, permitindo

maior controle de gastos, eficiência no planejamento de transportes da cidade e uma ampliação no diálogo com as demais áreas que envolvem o desenvolvimento urbano.

#### **1.4 Delimitação da pesquisa**

O campo de estudo da pesquisa se refere às cidades que apresentam malha metroviária em expansão, em função do risco de que essa expansão não tenha seguido sua concepção inicial, tendo como referência os respectivos planos norteadores e elementos caracterizadores de sua implantação.

O estudo de caso escolhido para a abordagem deste trabalho foi a rede metroviária da cidade do Rio de Janeiro, tendo seu recorte temporal do ano de sua concepção em 1968 até 2020. A abrangência geográfica tem como limite a área da cidade, e a comparação será realizada com demais casos internacionais.

#### **1.5 Procedimento da pesquisa e organização da dissertação**

A presente pesquisa foi dividida nas seguintes etapas em sequência:

- Definição do problema, objeto de estudo, dos objetivos, hipóteses e delimitação da pesquisa;
- Levantamento e definição dos conceitos e técnicas para atingir os objetivos;
- Adoção de um estudo de caso (rede e cidade);
- Aplicação dos conceitos e técnicas ao estudo de caso;
- Análise dos resultados;
- Verificação da compatibilidade dos resultados obtidos com as hipóteses;
- Conclusão.

Com base nesse procedimento, a dissertação foi dividida em 5 capítulos, nos quais cada etapa da pesquisa é expressa.

No presente capítulo é realizada a apresentação do tema, do objeto, do problema, dos objetivos, hipóteses e delimitação da pesquisa.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica dos conceitos e técnicas para a classificação das redes e das formas das cidades.

No capítulo 3 os conceitos e técnicas selecionados para a aplicação no estudo de caso são apresentados e destrinchados.

No capítulo 4 os conceitos e técnicas selecionados são aplicados ao estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro, tanto para as projeções realizadas no planejamento como para a rede executada.

No capítulo 5 foi produzida uma comparação entre as redes planejada e executada, e as formas da cidade projetada e realizada.

No capítulo 6 é feita uma conclusão sobre os resultados obtidos, as comparações realizadas, o impacto das mudanças diferenças sobre a função da rede estudada e demais observações relevantes.

## **2 A MOBILIDADE URBANA E AS REDES METROVIÁRIAS**

A revisão bibliográfica da presente pesquisa foi realizada com o propósito de reunir fontes que fundamentassem as análises sobre as relações entre o uso do solo das cidades, as redes metroviárias e os impactos dessa interação sobre a mobilidade urbana, a fim de atender aos objetivos definidos.

Em relação à mobilidade urbana procurou-se entender suas diferentes concepções, como foram se alterando ao longo do tempo e quais as demandas dos diferentes atores que a cercam. Em seguida foram exploradas as referências que tratavam dos efeitos das redes metroviárias sobre a mobilidade.

Após essa abordagem foram pesquisadas as referências sobre as como classificar as cidades a partir do uso do solo. Por fim foi verificada a bibliografia sobre estudos topológicos das redes metroviárias, com o intuito de verificar aqueles que poderiam trazer maiores contribuições para a definição da função de uma rede metroviária a partir do seu desenho.

### **2.1 A evolução do conceito de mobilidade**

O ambiente de discussão sobre a mobilidade é variado, passando pela academia, pelos responsáveis pelas políticas públicas e pela sociedade ao longo dos anos. Jones (2014) explora o desenvolvimento do conceito de mobilidade através da interação desses atores, apresentando como estes moldaram o conceito contemporâneo de mobilidade, dividindo sua evolução em três períodos distintos:

Estágio 1: Política de crescimento do tráfego (perspectiva no veículo).

Estágio 2: Políticas de construção do tráfego (perspectiva na viagem).

Estágio 3: Cidades habitáveis (perspectiva na qualidade de vida).

Jones alerta que tais mudanças não ocorrem de forma abrupta, com o abandono completo da visão anterior. Na verdade, o conceito é reformulado com novos parâmetros na fase seguinte, criando e obedecendo um novo contexto que possui a extensão de alguns antigos paradigmas e/ou a inclusão de novos.

O primeiro estágio é associado à expansão da indústria americana de automóveis, que acompanhou o acelerado desenvolvimento das cidades dos países desenvolvidos a partir do século XX. O crescimento da economia e das cidades se retroalimentavam, estimulando a indústria automobilística da época. Manter tal crescimento passava, segundo a visão da época, por questões técnicas e práticas, em especial de engenharia,

resultando na prioridade à construção de vias para o automóvel particular, preterindo os transportes coletivos e não motorizados, assim como diversas atividades, como, por exemplo, o comércio de rua, que teve seu espaço reduzido para o alargamento e criação de vias.

Com o tempo, problemas oriundos dessa política de mobilidade foram se intensificando, indo além do aumento dos congestionamentos, que ao se tornarem mais frequentes, foram exigindo a abertura e alargamento de novas vias. A intensificação da poluição atmosférica e o aumento dos acidentes passaram a ser preocupações prioritárias, pois já afetavam de forma significativa a qualidade de vida dos cidadãos. Percebia-se que não era mais possível aumentar indefinidamente a capacidade das vias para receber novos automóveis particulares, principalmente em cidades nas quais a densidade demográfica fosse mais elevada.

No entanto, as cidades continuavam crescendo e seus habitantes demandavam mais deslocamentos pelos mais diversos motivos. Era necessário lidar com o aumento da demanda e com as limitações da expansão das vias e suas consequências. Neste momento há uma quebra de paradigma, no qual o foco não é mais atender a demanda de mais espaço ou novas vias, mas sim da viagem dos passageiros.

A partir disso, a perspectiva dos planejadores e pesquisadores muda, configurando o início do segundo estágio apresentado por Jones, no qual a prioridade são as políticas de contenção de tráfego, como foco na viagem dos passageiros. Isso significa que as políticas de tráfego deveriam atender aos desejos de viagem da população de forma que fosse viável fazê-lo com a infraestrutura disponível.

Nessa fase o transporte público coletivo ganha destaque, pois é através dele que é possível transportar grande número de passageiros ocupando menor volume de espaço. No princípio desse estágio, procurava-se acomodar o máximo possível de automóveis particulares, para então incentivar o uso do transporte coletivo para aqueles que ainda não haviam adquirido um carro. Essa perspectiva foi reforçada por pesquisas que indicavam equivalência na velocidade do carro particular e do transporte coletivo sobre trilhos, assim como evidências de vantagens econômicas no que concerne ao desenvolvimento do conceito de custo geral, que leva em conta vários componentes de medida de tempo e custos das viagens. (JONES,2014)

A partir de meados da década de 1970 foram levantados alguns questionamentos sobre a perspectiva focada nas viagens, que colocavam em dúvida os motivos dessas escolhas. Assim como ocorreu com o automóvel particular, também foi questionado se

era desejável manter um atendimento ilimitado para a demanda do transporte público. A projeção de crescimento do número de habitantes nas cidades e o reconhecimento da importância do meio urbano para o desenvolvimento das atividades sociais, econômicas e culturais, contribuiu para um movimento de mudança de paradigma para a mobilidade, com maior valorização da cidade como espaço no qual deve-se priorizar a qualidade de vida.

Assim, é alcançado o terceiro estágio do conceito de mobilidade proposto por Jones, onde a cidade é vista como espaço de vivência e onde são desenvolvidas as mais diversas e importantes atividades, logo, a qualidade de vida de seus habitantes deve ser o foco das políticas de trânsito e transporte. A partir de então, os meios não motorizados de deslocamento foram sendo valorizados, com o uso da bicicleta ou o simples exercício de caminhar. Essas formas eram vistas como mais limpas, econômicas e saudáveis.

Jones considerou que essa última perspectiva facilitou a abertura do debate sobre qual seria o objetivo de uma política de transportes: se seria atender a demanda por viagens ou melhorar a acessibilidade das instalações e estabelecimentos, o que não requer, necessariamente, deslocamentos. Algumas medidas típicas desse estágio são:

- Realocar os espaços destinados aos carros e estacionamentos, para modos mais sustentáveis de deslocamento e para as atividades de rua, com taxações para o uso do automóvel particular em períodos de congestionamento.
- Melhorar o transporte público e encorajar a prática de deslocamento por caminhada e bicicleta, através do provimento de novas infraestruturas, campanhas de informação de conscientização e marketing.
- Promoção das mais diversas atividades nas ruas.

Portanto, esse último estágio supera a questão no foco no transporte e passa a favorecer a acessibilidade e a mobilidade.

Esses estágios ocorrem de forma heterogênea para cada área urbana, pois é necessário que as sociedades desses meios urbanos realizem transições em suas concepções sobre mobilidade e qualidade de vida. Para tanto é necessário que haja lideranças políticas comprometidas com o planejamento de longo prazo, como defendido por Dios e Salas(2018), além de maiores cuidados com as escolhas de intervenções voltadas para a mobilidade, pois em alguns casos estas podem ter efeitos estimulantes tanto para práticas sustentáveis como não sustentáveis, como exemplificado por Mäkinen, Kivimaa e Helminen(2015), em seus estudos sobre a relação entre forma urbana e mobilidade em Helsinque e a transição entre governos na cidade.



Alguns obstáculos para atingir o último estágio apresentado por Jones foram explorados por alguns autores em seus estudos de caso. Kandt (2018) constatou ao comparar as cidades de São Paulo, Istambul e Mumbai, que um problema comum em grandes cidades de países emergentes é o de fato de que a estrutura de governança e política que atuam sobre a mobilidade são mais fragmentadas que nos países desenvolvidos, o que resulta em menor sinergia entre as ações tomadas em direção à sustentabilidade. Canitez (2018) também observou problemas semelhantes ao analisar o sistema de transporte de Istambul, e destacou a importância de perspectiva mais holística sobre as redes de transporte. Mas mesmo em países desenvolvidos há problemas dessa natureza, como constatado por Davoudi e Sturzaker (2017) e por Antonson, Hrelja e Henriksson (2016), que consideraram os resultados positivos desse grupo limitados, exatamente pelas deficiências na integração das ações de políticas públicas de mobilidade. Ye *et al* (2015) verificaram que cidades que foram planejadas para serem mais compactas, e teoricamente consumirem menos energia em deslocamentos, aumentam sua produção de gás carbônico através do transporte se não forem adotadas medidas que facilitem a acessibilidade da população às suas atividades.

Quando essa ação é coordenada e sinérgica, os resultados são perceptíveis, como no estudo de Diao (2018), que verificou em Singapura a efetividade da aplicação de medidas de restrição ao uso de automóveis particulares, a promoção do transporte público e integração entre o uso do solo e o plano de transportes. Wolkinger *et al* (2018) encontraram possíveis resultados positivos na saúde da população em áreas urbanas da Áustria diante de estimativas de diminuição de emissão de gases poluentes oriundos de automóveis, através da aplicação de medidas coordenadas de mobilidade sustentável. Ignaccolo *et al* (2016) constataram a importância da consonância entre o uso do solo e os planos de transporte ao verificarem uma possível economia de energia nos deslocamentos diários dos habitantes de Catania, na Itália, através do estímulo ao uso de transportes coletivos ou não motorizados, induzidos por uma distribuição estratégica das atividades pelo tecido urbano.

Para que seja mais inteligível, é fundamental distinguir a mobilidade de outros conceitos que a fundamentam. O conceito de transporte representa a infraestrutura e os serviços que cercam a realização das viagens, promovendo o acesso ao uso do solo. A acessibilidade é a facilidade de alcançar as atividades através dos transportes e de sua integração com o uso do solo; sendo suas barreiras (questões físicas e socioeconômicas) consideradas impedâncias. Por fim a mobilidade é expressa pelos padrões de viagem e

possui foco nas atividades. Assim, a mobilidade ocorre quando há acessibilidade das atividades derivadas do uso do solo urbano através de infraestrutura de transportes (PORTUGAL,2017).

Quanto menores forem os impactos gerados pela mobilidade à qualidade de vida da população, mais ela é aceita e propagada entre os cidadãos, já que se pode manter suas práticas sem gerar prejuízos significativos para eles. Ou seja, são medidas, diretrizes e práticas de deslocamento que podem ser sustentadas por uma comunidade de forma equilibrada e saudável, nos mais diversos sentidos. Atendendo esses requisitos, pode-se definir a mobilidade de uma localidade como sustentável.

## **2.2 A mobilidade sustentável e os benefícios do modo metroferroviário**

Visto como o conceito de mobilidade evoluiu e como ele se relaciona com outros que lhe dão sentido, cabe explorar sua relação com a sustentabilidade. O conceito de sustentabilidade vem sendo desenvolvido e aprimorado nas últimas décadas, sendo assunto central em algumas reuniões das Nações Unidas. Durante a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, no ano de 2002, foi produzida uma declaração de reafirmação de comprometimento com o desenvolvimento sustentável, na qual as nações assumiram responsabilidade coletiva sobre seus três pilares: os espectros social, ambiental e econômico.

Dessa maneira a mobilidade urbana deve contribuir para promover o desenvolvimento desses três pilares da sustentabilidade de forma harmoniosa. Isso é possível se as medidas apresentadas pelo terceiro estágio da evolução da mobilidade, apresentado por Jones, for uma das bases do planejamento das cidades. Isso significa que não deve haver crescimento econômico sem equilíbrio socioambiental, nem desenvolvimento socioambiental que não esteja associado ao crescimento econômico para sustentá-lo a longo prazo.

Sob esse olhar, a avaliação da mobilidade deve ser feita através da integração entre a infraestrutura, serviços de transporte e o uso do solo, já que essa interação é a que aproxima ou distância a população das atividades em um território, impactando as escolhas dos usuários. Quanto mais coordenados são esses elementos, mais próximos do equilíbrio entre os espectros econômico, social e ambiental a mobilidade será, tornando-se assim, sustentável.

É preciso atentar para o fato de que a mobilidade sustentável não deve ser considerada como um objetivo genérico, imutável e aplicável a qualquer realidade. Da

Silva, Costa e Macedo (2008), verificaram que no Brasil as concepções de mobilidade urbana dependem da área analisada, pois a importância de cada dimensão da sustentabilidade (econômica, social e ambiental), varia. O peso dado a cada uma está relacionado às questões locais, com suas potencialidades e problemas, resultando em noções particulares de mobilidade sustentável. Essa concepção pode ser associada a visão de Bannister (2008), que coloca como um dos desafios da aplicação de intervenções para a promoção da mobilidade sustentável o convencimento da opinião pública e a captação do apoio dos diversos setores da sociedade; e de Lohrey e Creutzig (2016), que constataram que a forma urbana e os meios de transporte em uma cidade podem influenciar as prioridades no que tange as preocupações com a sustentabilidade. Essas medidas devem estar alinhadas com os desejos e necessidades da comunidade na qual serão aplicadas.

Portanto, ainda que mantenha suas bases na tríade das dimensões econômica, social e ambiental, a mobilidade sustentável será moldada pelas idiosincrasias locais, expressas pela interação entre as redes de transporte, sociedade e uso do solo. Assim, conhecer essa interação ajuda a compreender o quanto e como a mobilidade sustentável é expressa em um determinado local.

De qualquer forma, algumas medidas, como a valorização do transporte público, são amplamente aceitas como eficazes para diminuir os danos oriundos da mobilidade. Entre os modos que mais contribuem para mitigar esses impactos estão aqueles que operam sobre trilhos, como foi destacado no terceiro estágio da mobilidade urbana de Jones. Dessa maneira, cabe compreender como esses modos são capazes de contribuir para uma mobilidade mais sustentável.

Litman (2007) avalia os benefícios gerados pela implantação e utilização das redes ferroviárias e metroviárias, tanto endógenos como exógenos, para os usuários e não usuários. Em relação aos congestionamentos, o autor sugere que podem ser reduzidos com o transporte sobre trilhos de três formas:

- 1- Com o usuário de carro migrando para o modo sobre trilhos, o que reduziria seu tempo de viagem, somado a uma percepção do seu melhor aproveitamento durante o trajeto, já que o passageiro pode realizar outras atividades como estudo, relaxamento ou trabalho (dependendo das condições dos trens e das estações), em vez de apenas dirigir.;

- 2- Quanto piores forem as alternativas, mais relutante o usuário do carro estará em trocá-lo em favor do transporte coletivo, principalmente em horários de pico de tráfego. Do contrário, com a melhoria do transporte sobre trilhos, a chance dessa troca ocorrer é maior, beneficiando tanto o usuário do transporte coletivo, quanto aquele que se manteve no rodoviário individual;
- 3- O transporte sobre trilhos estimula o desenvolvimento de *TODs (Transit Oriented Development)*. Segundo Lima, Paraízo e Kós(2015) o *TOD* é uma política de transporte urbano que visa maximizar a prática da mobilidade sustentável através de uma interação mais eficaz do uso do solo, priorizando a proximidade dos cidadãos com suas atividades e o uso de modos de transporte mais sustentáveis e coletivos.

Além desses benefícios, o transporte sobre trilhos gera economia com estacionamento e no consumo de combustíveis e energia, além de reduzir acidentes, emissão de gases poluentes e ruídos, melhorando a saúde da população. Em relação aos impostos pagos, o transporte sobre trilhos demanda cerca de US\$ 100,00 per capita anualmente, porém gera uma economia indireta de US\$450,00 no mesmo período. Os elevados gastos iniciais seriam justificados pelos benefícios gerados (LITMAN,2007).

Mais um exemplo dos efeitos positivos da presença de uma rede metroviária pode ser visto na pesquisa de Zheng, Zhang e Wang (2009). Os autores verificaram que no fim da primeira década do século XXI a cidade de Beijing investia fortemente na construção de vias férreas, e questionaram se isso de fato poderia diminuir os congestionamentos e a poluição atmosférica na cidade. Para tanto, propuseram um teste empírico, no qual o objetivo era constatar se as escolhas do local de residência e do modo de transporte eram realizadas em conjunto pelas famílias da cidade. Constataram que o melhor acesso ao metrô reduziu a probabilidade de um cidadão típico de Beijing possuir um carro, no entanto isso não afetou a distância percorrida por modo rodoviário.

A pesquisa de Barros, Martínez e Viegas (2017) também concluiu o efeito das redes metroviárias sobre a probabilidade de o cidadão abdicar do uso do carro. Analisando bairros de Lisboa, os pesquisadores concluíram que o fator mais relevante para seus habitantes caminharem em trechos de suas atividades cotidianas é a presença de uma estação de metrô próxima, pois isso tornaria desnecessária a posse de um automóvel. Inclusive esse é um fator de escolha de local de moradia.

Portanto, o desenvolvimento de vias metroviárias desencoraja o uso do modo rodoviário, reduzindo a propensão de aquisição de carros, e com isso mitigando os congestionamentos e seus efeitos sobre o meio ambiente.

São muitas as vantagens advindas do bom uso de um sistema metroviário de qualidade, principalmente no que diz respeito à qualidade de vida, não só de seus usuários, mas também da sociedade como um todo.

### **2.3 A forma das cidades**

Como visto, a compreensão de quão sustentável é a mobilidade de uma cidade depende do entendimento da relação entre infraestrutura e uso do solo. A maneira como as atividades se distribuem contribui para orientar as viagens realizadas por seus cidadãos, sendo que tais atividades podem estar concentradas ou dispersas pelo tecido urbano. Souza(2003,p.64) afirma que “*qualquer cidade apresenta diferentes tipos de espaços, de acordo com a atividade predominante*”.

O mais comum é que as cidades possuam uma área que concentre atividades, mormente denominada como centro, muitas vezes sendo o seu núcleo histórico. À medida que se desenvolve, tal centro tende a se expandir formando uma área ou zona central de negócios, mais conhecida pela sigla em inglês CBD (*Central Business District*). Além do CBD as cidades podem possuir subcentros, que contam com parte dos serviços e comércio que são encontrados na área central, estando um pouco mais afastados dela. Assim, para as necessidades essenciais, não é necessário que uma pessoa se desloque até o centro (CBD) para atendê-las (SOUZA,2003).

Cidades maiores possuem mais chance de apresentar subcentros, já que a distância de certos pontos até o centro pode configurar uma impedância para o passageiro. Cidades menores tendem a formar menos subcentros, preservando sua centralidade. Em alguns casos, os subcentros crescem o suficiente para diminuir a importância da área central. Muito do que era exclusivo do CBD(serviços sofisticados, tipos específicos de comércio) vão sendo migrados ou instalados nos subcentros, pois o próprio tamanho da cidade, pode, em alguns casos, afastar alguns tipos de consumidores da área central, o que estimula a aproximação de certos tipos de uso do solo à áreas adjacentes ou até afastadas do CBD. Um exemplo são os *shopping centers*, que em diversos países podem se instalar fora do CBD, entre eles, o Brasil (SOUZA,2003).

Ainda segundo Souza(2003) os subcentros refletem a condição socioeconômica da população do seu entorno, o que significa que sua formação não está atrelada à alta

renda, podendo ser formado através do comércio popular, desde que seja grande e sofisticado suficiente para deter sua população ali, não obrigando-a a encontrar o que necessita na área central.

A questão da formação ou não de subcentros é importante para compreender como o solo é utilizado em uma cidade, e como essa distribuição de atividades lhe confere uma forma. Assim, entende-se que o que dá forma às cidades é a maneira como os usos dos solos se concentram, criando centralidades.

Alguns modelos buscavam caracterizar a estrutura interna das cidades, a fim de explicar seu desenho e funcionamento. Souza (2003) apresenta a proposta de Burgess elaborada na década de 1920, que retratou a estrutura das cidades estadunidenses, nas quais a suburbanização foi promovida pelas classes mais abastadas, fruto de uma competição por melhores espaços de moradia. Também apresenta os modelos de H.Hoyte, C. Harris e Ulmann, que tentaram retratar a realidade das cidades latino-americanas nos anos 1980, mas sem a devida precisão e conhecimento da diversidade da região. O próprio Souza propôs algumas divisões socioespaciais para a metrópole do Rio de Janeiro, com maior nível de detalhamento em comparação com os autores citados, gerando modelos que iam se modificando com o tempo.

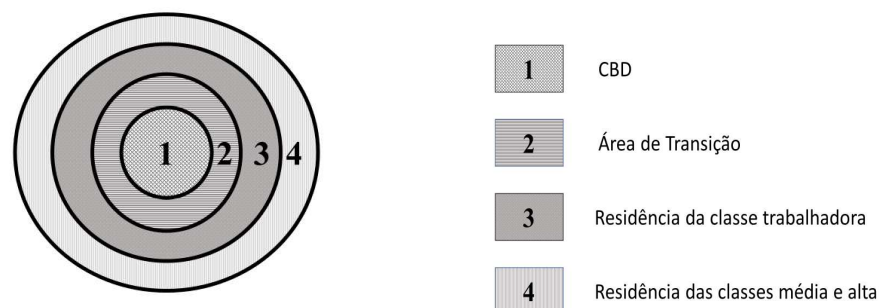


Figura 2.1: Modelo simplificado de organização interna das cidades proposto por E. Burgess na década de 1920. Adaptado de Souza (2003, p.73).

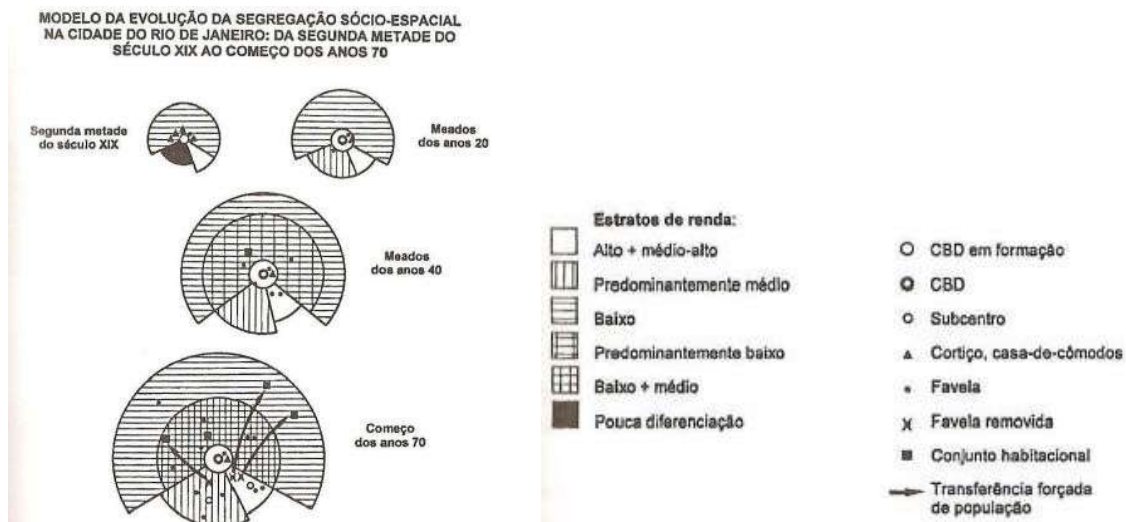


Figura 2.2: Modelo detalhado e personalizado de organização interna da cidade do Rio de Janeiro proposto por Souza (2003, p. 79).

Pacione (2005) dedica uma obra inteira à geografia urbana e explora, entre outros temas, as diferentes estruturas internas das cidades em diversas regiões do mundo, separando uma sessão exclusivamente para as cidades localizadas no “terceiro mundo”, que abrange a América Latina, a África, e parte da Ásia.

Modelos são importantes para a compreensão geral do padrão apresentado em uma região, no entanto, para fins de análise da mobilidade, suas informações podem ser demasiadamente superficiais para trazer detalhes fundamentais e definidores. É necessário estabelecer outro parâmetro de análise, mais específico, com grau de precisão que possa ser mensurado matematicamente. Isso pode ser feito através das centralidades de cada meio urbano.

### 2.3.1. A cidade vista a partir de suas centralidades

A centralidade, como conceito de constituição da forma e da estrutura de uma área urbana, é abordada de forma mais quantitativa e personalizada por alguns autores, que buscam meios de compreender seu grau de centralidade através de uma variável (emprego ou habitantes, por exemplo). A distribuição desta representa a forma da cidade. É muito comum que a variável eleita seja o emprego ou postos de trabalho, já que na cidade capitalista (e provavelmente em qualquer outro modelo socioeconômico) esta é a principal atividade e motivo de deslocamento.

As propostas de classificação de uma área urbana a partir do padrão de centralização de uma variável são diversas e extensas na literatura, com diferentes abordagens e objetivos.

Há muitos casos em que a centralidade das atividades está relacionada com questões de saúde e meio ambiente. Yin *et al*(2018) utilizaram modelos de regressão para investigar a relação entre concentração de atividades no solo urbano e a formação de ilhas de calor. Yuan *et al*(2018) avaliaram a associação entre a forma urbana, expressa por suas centralidades, e a qualidade do ar na China, aplicando um modelo de regressão linear em 157 cidades, constatando que as mais compactas apresentam menos poluição atmosférica.

Seguindo essa linha Kaza (2020) explora a relação entre consumo energético para viagens, a centralização das atividades e a forma das cidades, constatando que cidades mais compactas e contíguas demandam menos energia em suas viagens, logo geram menor impacto no meio ambiente. No entanto, ao analisar o padrão de viagens de cidades nos Estados Unidos, Duranton e Turner (2018) concluíram que somente a densificação e a concentração das atividades urbanas podem ter pouca influência sobre as viagens individuais se outras medidas restritivas ao uso do carro não forem adotadas.

A compreensão da evolução da forma urbana também é explorada por alguns autores, levando em conta a variável tempo em suas análises, como Wentz *et al*(2018) que verificaram como a análise de elementos específicos da forma urbana e de suas centralidades podem contribuir para a avaliação de políticas de sustentabilidade das cidades, entre eles o tempo de desenvolvimento ou mudança da distribuição espacial dos usos do solo. Outros exemplos dessa abordagem são os estudos de Aguilar e Hernandez (2016) sobre a evolução da configuração policêntrica do tecido urbano da Cidade do México entre 1989 e 2009; e Shen e Karimi (2018) sobre a evolução das centralidades da cidade de Shangai, na China. Seguindo essa linha, outros exemplo são os estudos realizados por Salvati, Sateriano e Rontos (2016) sobre as cidades na Grécia, adotando o período entre 1991 e 2011 como referência; e por Zambon *et al* (2017) sobre a transição da estrutura urbana de monocêntrica para a policêntrica na Europa, utilizando como estudos de caso as cidades de Barcelona, Roma e Atenas.

Outras abordagens envolvem questões sociais e econômicas, como é o caso do estudo de Lee, Vojnovic e Grady (2018), que analisam como a forma espraiada da cidade de Detroit é um fator de exclusão social de grupos mais vulneráveis como mulheres, negros e pobres, pois estes têm maiores dificuldades no uso do transporte por habitar em localidades com menor investimento nessa área. Marmolejo-Duarte (2017) verificou que os preços das moradias em uma cidade policêntrica podem estar mais relacionados à estratificação social do que uma questão de acessibilidade das atividades na cidade, como verificado em sua pesquisa sobre Barcelona. Há inclusive casos que levam em conta



possíveis deficiências na coleta de dados de países em desenvolvimento, como é o caso da proposta de Jayasinghe, Sano e Rattanaporn(2017), que utilizam conceitos de conectividade e integração local e global das redes de transporte de cidades que não possuem dados de uso do solo atualizados, para que seja possível compreender suas centralidades através da atração de viagens em zonas de tráfego.

No entanto, é frequente que entre os mais diversos métodos de mensuração, as áreas urbanas sejam divididas em monocêntricas – com um único núcleo concentrando todo ou quase todo o atributo estudado, e convergindo fluxos até ele-; policêntricas- com a presença de diversos núcleos, que em maior ou menor grau, concentram o atributo escolhido e disputam a convergência de fluxos; e dispersas- na qual não há ao menos um núcleo claramente estabelecido, sendo que os fluxos neste tipo de tecido urbano não são convergentes.

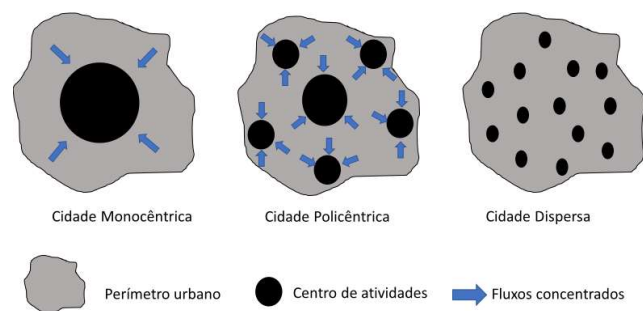


Figura 2.3: Variação dos tipos de cidade de acordo com a distribuição de seus centros de atividades.

Elaboração própria. Baseado em Bertaud(2002).

A forma que uma cidade assume é importante pelos efeitos que pode produzir sobre as diversas searas da vida dos seus cidadãos. Camagani, Gibelli e Rigamonti (2002) constataram que o transporte público na cidade de Milão vinha sendo em parte prejudicado pela sua forma dispersa, pois mais investimentos eram necessários para provê-lo, além da cobrança de uma tarifa elevada. Isso gerava desinteresse do capital privado em investir no setor. Por outro lado, os efeitos econômicos sobre o transporte individual eram mais suaves, o que não condiz com as políticas de mobilidade sustentável. Zhang, Sun e Li (2017) também estabeleceram relações entre economia e a forma das cidades chinesas, onde verificaram que, ao contrário do que teorias anteriores apontavam, a forma policêntrica tem potencial de gerar mais efeitos positivos do que negativos para o desenvolvimento econômico urbano.

Entre as três formas, a que causa maior discussão é a policêntrica, pois as divergências de sua definição são mais acentuadas na literatura. Isso talvez ocorra por ser um processo crescente em diversas cidades no mundo, o que gerou estudos sobre sua identificação e processo de formação, como feito por Zhong *et al*(2017) sobre o processo de urbanização de Singapura. Pessoa (2011, p.297) afirma que a policentralidade possui um “*significado amplo e complexo, que viária dependendo das perspectivas social, econômica e histórica da análise*”.

Em seu trabalho é explorado o conceito de policentrismo, e como ele pode ser classificado no caso brasileiro. Conclui que as interpretações são divergentes pois abordam contextos e escalas distintas, mas que encontram ponto comum ao definir o policentrismo como “*uma área urbana com pluralidade de centros*”

Pessoa (2011) ainda acrescenta que há duas formas de abordar a estrutura de áreas urbanas e relacioná-las com seu grau de policentrismo: a analítica e a normativa. Enquanto a primeira considera a “realidade do sistema urbano”, ou seja, um sistema já existente ou emergente; a segunda possui um teor orientador, buscando atender um plano político.

A presente pesquisa buscou utilizar uma visão analítica das redes, já que o objeto em si não era a estratégia de política pública que orientou o desenvolvimento da cidade ou de sua rede de transportes, mas sim sua organização atual e planejada. Entendeu-se necessário abordar técnicas e métodos de mensuração e classificação das atividades do meio urbano independentes, na medida do possível, de questões político-administrativas.

Analisar e classificar um meio urbano por sua centralidade é uma tarefa que exige equilíbrio entre os graus de generalização e detalhamento daquilo que se pretende representar. Os aglomerados urbanos são únicos, com multiplicidade de características que torna generalizações e modelos prontos demasiadamente pobres para gerar uma classificação fidedigna, levando a representações precipitadas, como revelado por Souza (2003). Ao mesmo tempo, detalhar todos ou a maioria dos elementos que constituem um tecido urbano, mensurá-los, estabelecer relações entre eles, para então gerar uma classificação de sua estrutura, foge da proposta da presente pesquisa.

Assim, entendeu-se que era preciso filtrar os elementos mais relevantes do meio urbano e classificar sua estrutura a partir deles. Dessa maneira, refutou-se a ideia de uma classificação geral e ampla para o meio urbano, para analisá-lo por atividades selecionadas. Ou seja, uma cidade pode ser policêntrica quanto a um elemento (habitação, por exemplo) e monocêntrica para outros (empregos, por exemplo), ou possuir forma similar para ambos, ou ainda se apresentar dispersa para um ou para ambos. Isso resulta

em diferentes formas urbanas para o mesmo meio, cabendo verificar o quão compatíveis, interdependentes e harmoniosas são.

Pereira *et al* (2011,p.14) classificaram as diferentes dimensões morfológicas pelas quais a forma de uma cidade pode ser definida ou descrita:

- Distribuição / Concentração:

- A distribuição: atividades são iguais ou desigualmente distribuídas;
- Concentração: mensura o quanto um fenômeno está desproporcionalmente distribuído, comparando sua ocorrência em uma unidade com a área total.

- Centralidade:

- Capta em que medida os empregos estão próximos ao CBD. Comumente expressa a partir da estimação de gradientes de densidade monocêntrica ou por curvas de distribuição acumulada.

- Aglomeração:

- Capta como os empregos formam aglomerações em determinadas áreas ou se estão dispersos homogeneamente no tecido urbano.

Tsai(2005) utiliza a dimensão da aglomeração para determinar a forma das cidades em monocêntrica, policêntrica ou dispersa a partir da variável emprego. Seu método pode ser aplicado em diferentes meios urbanos, já que se fundamenta na autocorrelação espacial, técnica de estatística espacial que é utilizada em diferentes áreas da ciência. Pela sua ampla aplicabilidade em diferentes meios urbanos, seu método foi selecionado para caracterizar o uso do solo na presente pesquisa.

## **2.4 A topologia no estudo das redes de transportes**

A mobilidade sustentável, entendida como resultado de uma interação positiva entre a infraestrutura de transportes e o uso do solo, nas três dimensões basilares do desenvolvimento sustentável, é um dos conceitos adotados no presente estudo. Até o momento foi explorado como identificar e classificar o uso do solo, expresso como definidor da forma do meio urbano. Resta, portanto, definir como a infraestrutura de transporte atua para promover a mobilidade.

Como visto, o transporte metroviário, em uma escala macro, é de grande serventia para a promoção da mobilidade sustentável, sendo importante avaliar como ele se relaciona com o uso do solo. Assim, esse subcapítulo explora meios de avaliar e

classificar as redes metroviárias quanto às suas formas e funções na mobilidade, assim como feito com as atividades urbanas.

No entanto, avaliar como uma infraestrutura de transporte se relaciona com o seu meio, pode levar à diversas abordagens, já que tal relação implica em diversas impedâncias, que podem ser de várias naturezas. O olhar sobre o modo metroviário pode ser feito a partir de questões técnicas, tarifárias, operacionais, institucionais, entre outras. Como aqui a proposta é relacionar seu papel na mobilidade, diretamente atrelado à distribuição de atividades pelo meio urbano, cabe assumir como ângulo de análise sua forma, expressa em sua estrutura como rede. Faz-se necessário explorar sua topologia, ou seja, como se distribuem e se conectam suas estações e linhas.

Até o início do século XXI os componentes de sistemas de rede eram conectados de forma aleatória, no sentido de que não havia um padrão que permitisse que qualquer sistema pudesse ser estudado pelas mesmas bases. No entanto, a partir da primeira década dos anos 2000 diversos estudos começam a encontrar padrões que indicam que diversos sistemas apresentam estruturas similares, criando uma quebra de paradigma. Essas descobertas colocaram novamente em evidência os estudos das redes (BARABÁSI, 2009).

Segundo Dias (2009, p. 148), fluxos pressupõem a existência de redes, sendo sua primeira propriedade a conexidade. Os nós de uma rede seriam os seus lugares de conexão, e é por ela que a rede solidariza seus elementos, sendo possível também gerar uma situação de exclusão. Não haveria, dessa forma, uma rede que pudesse ser totalmente solidária, que atinja a todos, já que seu aspecto excludente resulta das “*coações técnicas, econômicas, políticas e sociais*”.

Isso significa que, no caso da rede metroviária, espera-se que a organização dos seus pontos de conexidade, que são expressos por suas estações, ao serem analisados sob o ângulo da solidarização dos seus elementos, que podem ser entendidos aqui como infraestrutura que promove acessibilidade, possam ser compreendidos de maneira conjunta e interativa, promovendo uma relação que expressa sua função na mobilidade.

De alguma forma o desenho da rede gera impactos positivos para mobilidade urbana, mas é improvável que em certa medida não exclua uma parcela da população de seus benefícios, gerando impedâncias, assumindo assim, sua face excludente.

Ainda segundo Dias (2009, p.149), desde o século XX as abordagens sobre as redes não consideram mais tratá-las de forma isolada, “*sendo necessário compreender suas*

*relações com a urbanização, com a divisão territorial do trabalho e com a diferenciação crescente que esta introduziu entre as cidades.”.*

Santos (2006, p.188) afirma que com as redes, cria-se paralelamente ordem e desordem no território, já que as redes “*integram e desintegram, destroem velhos recortes espaciais e criam outros*”. A implantação de uma rede de transporte segue essa lógica, pois deseja-se modificar o recorte espacial na qual é inserida.

Portanto, obedecendo a visão de mobilidade urbana adotada, que conta com a integração dos transportes com o uso solo, entende-se que a identificação da função de uma rede na mobilidade passa por uma caracterização topológica.

Uma definição formal de rede foi proposta por Curien.(1988, p.212, apud, Santos, p.176).:

*Toda infraestrutura, permitindo o transporte de matéria, de energia ou de informação, e que se inscreve sobre um território onde se caracteriza pela topologia dos seus pontos terminais, seus arcos de transmissão, seus nós de bifurcação ou de comunicação.*

A definição de Curien, considerada por Santos como cunhada sob o aspecto da realidade material, apresenta um olhar sobre a rede que se aproxima do estudo dos grafos. Não é objetivo do presente estudo apresentar uma revisão da teoria de grafos, mas sim como ela é utilizada para o estudo topológico das redes metroviárias.

A rede como estrutura pela qual um sistema funciona é comumente expressa na forma de um desenho esquemático. Nesse tipo de representação, podem ser observados nós e arcos, que indicam a localização e as características de seus elementos. Cada rede possui uma idiossincrasia, demandando ferramentas e métodos específicos, fazendo com que generalizações induzam os pesquisadores e analistas a equívocos. Esses arranjos únicos geram diferentes efeitos no meio em que atuam e sobre o sistema que sustentam.

As redes de transporte não fogem à essa regra e, quando planejadas, as decisões sobre sua topologia devem considerar algumas especificidades, já que, como observado por Lin e Ban (2013) e por , algumas teorias gerais sobre as redes não conseguiram representar os sistemas de transporte de forma próxima a realidade.

Magnanti e Wong (1984) ao abordarem modelos e algoritmos para o desenho das redes, preocuparam-se em discriminar as de transportes, ainda que utilizassem os mesmos modelos matemáticos das demais. Para os autores, as redes de transporte se diferenciam em cinco pontos. São eles:

I- As escalas de tempo: os efeitos do planejamento de uma rede de transportes devem considerar o longo prazo, o que eleva o grau de incerteza dos resultados.

II- Oferta e demanda: a construção de rodovias e ferrovias altera o uso do solo e o padrão de demanda dos usuários.

III- Tráfego e congestionamento: enquanto nas redes de comunicação os retardamentos de fluxo ocorrem nos nós da estrutura (por exemplo, na fila de espera telefônica de uma empresa), nas redes de transporte os usuários gastam mais tempo nos arcos (nas linhas férreas, nas ruas e estradas, por exemplo).

IV- Escolha de rota dos usuários: nas demais redes, como a de comunicação, o sistema tem o controle sobre a escolha das rotas, atuando de forma holística sobre os nós, arcos e fluxos. Na rede de transportes, não há tal controle, sendo o usuário o responsável por essa definição, exigindo do planejador uma percepção do seu comportamento.

V- Variação de demanda: outros sistemas operacionais não são tão sensíveis à variação de demanda como o de uma rede de transporte, sobre a qual o administrador exerce menor controle, correndo maiores riscos de prover excesso ou falta de oferta durante a operação.

Soma-se a essas especificidades o fato de as redes de transportes serem majoritariamente planares. Isso significa que, sendo analisada como um grafo, essas redes criam um nó à medida que dois arcos se cruzam, gerando uma nova possibilidade de caminho. Além disso, não é comum que nós muito distantes apresentem ligação direta entre eles, sendo necessário passar por outros para que se possa criar um caminho. Essas características são bastante comuns nas redes metroviárias (DERRIBLE, 2010).

Os estudos que se utilizam da topologia das redes para a realização de análises vêm ganhando cada vez mais adeptos nos últimos anos, principalmente na literatura internacional, sendo uma ferramenta cada vez mais aceita pela comunidade científica na área de transportes.

Zhang, Miller-Hooks e Denny (2015) utilizam a análise topológica para avaliar a capacidade de um sistema de transporte para lidar com desastres em sua rede, mensurando sua resiliência. Um estudo próximo desse tema foi realizado por Nistor, Dhemer e Pickl (2015) no qual analisaram a capacidade de reabilitação de uma rede metroviária em caso

de um ataque terrorista. Li, Wang e Wang (2019) analisaram a topografia da rede metroviária de Beijing para determinar as estações mais importantes para a resiliência do sistema.

Derrible e Kennedy (2009a, 2009b) caracterizaram redes de metrô ao redor do mundo, analisando os efeitos e propriedades de seus desenhos. Kurant e Thiran (2006) propuseram um algoritmo para a análise comparativa do fluxo de tráfego de três diferentes modos de transporte público de massa (entre eles o metrô), onde encontraram diferentes padrões de comportamento em redes reais.

Zhu e Luo (2016) se utilizam dos estudos topológicos das redes complexas para analisar o metrô de Guangzhou, na China, concluindo que se trata de uma rede do tipo aleatória, e que suas características indicam uma queda de eficiência no serviço, com sobrecarga nas estações de transferência. Portugal, Carmo e Netto (2002) discutem projetos metroviários com base no modelo de grafos, utilizando a rede do Rio de Janeiro como exemplo.

Turner e Gonzalez-Navarro (2018) estabelecem uma relação entre a extensão das linhas metroviárias e a centralização das cidades através da análise de imagens que apresentassem concentração de iluminação no período noturno, concluindo que cidades maiores tendem a possuir uma rede metroviária, mas que isso não possui grande impacto sobre o aumento da população. Roth *et al* (2012) concluíram em sua pesquisa topológica que, no longo prazo, as forças e leis que regem a evolução do desenho das redes metroviárias são independentes das diferenças econômicas e históricas que as cercam.

Alguns autores exploraram o fluxo de passageiros através da topologia das redes de metrô, como foi o caso de Raveau, Muñoz e Grange (2019), que apresentam um modelo de escolha de rota para redes de transporte público, que incorpora variáveis da topologia das redes, complementando as mais tradicionais, baseadas no nível de serviço (tempo de viagem, custos, transferências) e nas características demográficas e socioeconômicas dos passageiros (salários, motivo de viagens etc.). Xu, Mao e Bai (2016) utilizaram dados de viagens do sistema metroviário de Beijing para caracterizar o padrão do fluxo individual de passageiros para criar um grafo de hierarquização das estações; enquanto Xiao, Jia e Wang (2018), utilizaram a mesma rede para analisar sua vulnerabilidade topológica frente a variação do fluxo de passageiros, determinando as estações de transferência mais importantes para sua resiliência. Um estudo similar foi realizado por Xia *et al* (2020), que propôs um novo método de hierarquização de

importância das estações metroviárias de Xangai, baseado nos padrões do fluxo de passageiros.

Diversos autores se valem dos estudos dos grafos para realizar suas análises, traduzindo as informações retiradas dos desenhos das redes e as racionalizando para atingir seus objetivos.

O que se verifica, portanto, é que os sistemas de transporte vêm sendo estudados a partir de princípios topológicos por pesquisadores em todo o mundo. No entanto, no Brasil, esse tipo de pesquisa, que tem foco no transporte público de massa, não vêm sendo explorado com a mesma intensidade, com poucas publicações dessa natureza. Essa lacuna pode ser preenchida com estudos de redes de transporte público que apresentem deficiências oriundas do formato de sua estrutura, sem prejuízo de análise daquelas que sejam consideradas eficientes.

Tal iniciativa se faz necessária na medida em que o transporte público coletivo vem perdendo espaço para as opções privadas e individuais, trazendo prejuízos para a mobilidade urbana.



### **3 MÉTODOS E TÉCNICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES E DAS REDES**

A revisão bibliográfica contribuiu para a compreensão da dimensão de possibilidades de análises sobre os temas abordados e para realizar um filtro do que melhor atenderia os objetivos da pesquisa. O conceito de mobilidade sustentável foi abordado por diversos autores e contribuíram para a definição de parâmetros de análise baseados nessa concepção.

Já para o estudo do uso do solo das cidades, a produção de Tsai(2005) se destacou pela possibilidade de aplicação em diversos casos, ou seja, aplicável, a princípio, em qualquer meio urbano.

No caso da caracterização topológica das redes a proposta de Derrible (2010) mostrou-se mais assertiva para os objetivos propostos, também pelo fato de sua utilização ser aplicável em diversos estudos de caso.

#### **3.1 A mensuração e classificação das cidades a partir de aglomerações: método de Tsai.**

Tsai(2005) propôs uma classificação que utiliza a aglomeração de empregos como variável para a caracterização das formas da cidade. No entanto, na prática, outras variáveis podem ser utilizadas no mesmo procedimento. Sua escolha pela aglomeração é fundamentada ao propor a análise de quatro variáveis para caracterizar quatro dimensões da forma urbana no nível metropolitano: tamanho(extensão), intensidade das atividades, grau no qual essas atividades são igualmente distribuídas, e sua compactação/espraçamento

Basicamente Tsai propôs que o tamanho(extensão) da área urbana varia entre pequena e grande; a densidade entre alta e baixa; o grau de equidade entre equilibradamente distribuído e concentrado em algumas subáreas; e o grau de aglomeração entre amplamente espalhado e extremamente aglomerado.

Em relação ao tamanho ou extensão, Tsai alegou que, apesar de conseguir distinguir formas com base no emprego, em termos de estatística espacial, variáveis como população são menos sensíveis ao consumo de área per capita. Entende-se que, duas cidades podem possuir o mesmo número de habitantes, mas a depender do quanto cada um deles ocupa de espaço (consumo de solo per capita), sua extensão pode ser maior ou

menor. Assim, Tsai entendeu que a população é uma variável independente da densidade, enquanto a extensão do solo não.

Para a segunda dimensão, a densidade, é considerado que ela pode mensurar a intensidade com a qual as atividades são realizadas no solo urbano, mas não é capaz de revelar sua distribuição, já que não consegue distinguir diferentes formas de estrutura espacial.

A terceira dimensão, o grau de equidade na distribuição das atividades, que demonstra o quanto estão concentradas em subáreas, utiliza o coeficiente Gini, que mede o grau de equidade na distribuição de emprego e população por unidade espacial dentro de uma área urbana. No entanto, esta dimensão não revela se as áreas que concentram população e/ou emprego estão aglomeradas.

A quarta dimensão, o grau de aglomeração, que estima o quanto as áreas da cidade que concentram uma variável estão aglomeradas, consegue identificar padrões estruturais que revelam se as atividades desempenhadas se concentram em uma única área, em mais de uma localidade, ou estão espalhadas pelo território. Ou seja, o grau de aglomeração consegue identificar se uma cidade ou área metropolitana possui forma monocêntrica, policêntrica ou dispersa. Tsai acrescentou que é possível identificar padrões de descontinuidade e de corredores de atividades, assim como desenvolvimento em saltos.

Em suas simulações de autocorrelação espacial, utilizando os índices Moran e Geary (que são utilizados para investigar as relações do valor de uma variável de uma área com a de seus vizinhos), concluiu que o primeiro é mais apropriado para esse tipo de caracterização, já que os valores encontrados em Geary podem levar a interpretações erradas da forma da cidade. Ele usa como exemplo o fato de alguns valores muito próximos indicarem formas espaciais diferentes.

Para Tsai (2005) o coeficiente de Moran é capaz de distinguir a compactação da cidade (usando como variável de área os postos de trabalho) de uma forma de espalhamento. De maneira geral, quanto mais compacta for a área urbana analisada, maior é o coeficiente de Moran. Dessa forma, para essa caracterização, concluiu, através de testes com diversas situações de distribuição espacial, que para cada valor do coeficiente de Moran existe uma forma urbana correspondente:

Forma Urbana	Descentralizada	Policêntrica	Monocêntrica
Valor do Moran Global	baixo	intermediário	elevado

Tabela 3.1: Classificação proposta da centralidade das cidades através do índice global de Moran (TSAL,2005).

Tsai(2005) ainda verificou que, para calcular o coeficiente de Moran, o critério de peso baseado em distância possui melhor aplicabilidade do que o critério de contiguidade em termos de capacidade de caracterizar diferentes formas.

Teoricamente, o coeficiente de Moran viária entre -1 e 1, no entanto, em seu experimento, essa variação se apresentou muito menor (entre -0,01 e 0,13). Esse intervalo curto, segundo o próprio autor, pode ser consequência dos pesos adotados. Seguindo a classificação proposta, entende-se que, para a aplicação de seu método, deve-se considerar:

Forma Urbana	Descentralizada	Policêntrica	Monocêntrica
Valor do Moran Global	$\leq -0,01$	$> -0,01$ e $< 0,13$	$\geq 0,13$

Tabela 3.2 :Valores de classificação da centralidade a partir do índice global de Moran. (TSAI,2005)

A questão da definição de formas urbanas é um assunto extenso e não há um claro consenso, já que, como visto, as abordagens variam conforme a região pesquisada, os modelos matemáticos ou conceituais utilizados, a escala de análise, a variável escolhida etc.

A análise através de dimensão da aglomeração, além de melhor representar a forma urbana, como demonstrado por Tsai, pode ser utilizada com os recursos técnicos disponíveis para a presente pesquisa.

### 3.1.1 Autocorrelação Espacial

A autocorrelação espacial é um recurso de análise que se baseia nas características de localização e de valores de um mesmo tipo de objeto. Ou seja, visa tratar similaridades no que tange sua localização e seus atributos (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

A autocorrelação será positiva caso feições que estejam próximas entre si apresentem similaridades em seus atributos. Caso contrário, se forem mais similares em atributo com feições distantes do que com seus vizinhos mais imediatos, então será negativa. A ausência de autocorrelação ocorre se o valor do atributo for independente da localização (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Um exemplo de autocorrelação espacial é dado por Câmara *et al* (2004), ao apresentar um mapa de concentração de idosos na cidade de São Paulo com base em dados de 1991. No mapa há maior concentração de idosos na área central do que na periferia.

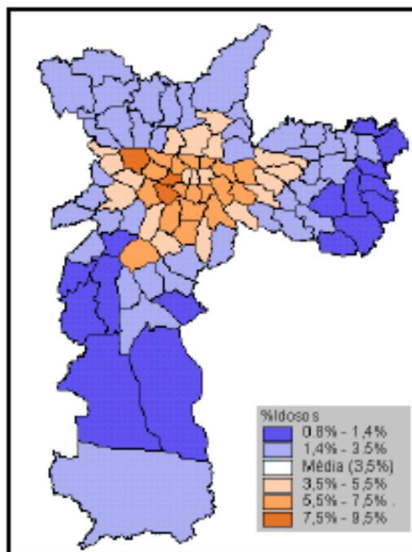


Figura 3.1: Concentração de idosos na cidade de São Paulo (CÂMARA *et al.*, 2004, p. 13).

Se há autocorrelação espacial, deve-se procurar estatísticas que incorporem a relação do espaço com a variável escolhida. Para que seja possível verificar esse fenômeno, alguns procedimentos devem ser realizados, como por exemplo, construir uma matriz de vizinhança (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

#### 3.1.1.1 Matriz de vizinhança

Para comparar a similaridade dos atributos geográficos em feições vizinhas, estabelece-se um critério de vizinhança. A partir deste critério, define-se uma matriz de pesos  $W$  na qual cada elemento  $W_{ij}$  mede a proximidade de vizinhança entre  $i$  e  $j$ ; sendo a linha e coluna da matriz, respectivamente (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

A única diferença entre uma matriz de vizinhança e uma matriz de vizinhança normalizada é que a soma dos elementos que são vizinhos em uma linha será igual 1. A matriz normalizada é interessante de ser usada quando se calcula a média dos valores vizinhos (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

#### 3.1.1.2 Critérios de vizinhança

Um dos critérios de vizinhança de maior uso é de contiguidade. Neste caso  $W_{ij}=1$  se as regiões  $i$  e  $j$  são contíguas (ou seja, são vizinhas); e  $W_{ij}=0$  caso não sejam.

Essa contiguidade pode se apresentar no modelo *Rook* (Torre) ou *Queen* (Rainha). Com polígonos irregulares a diferença entre Rainha e Torre é pouco relevante (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Outro critério possível é o de distância. Determina-se os “*n*” vizinhos mais próximos, uma distância máxima e estabelece-se as funções de distância (*W<sub>ij</sub>* com valores contínuos). É interessante ser utilizado quando há pontos isolados (uma ilha, por exemplo).

De acordo com Vasconcelos e Feitosa “*O critério adotado para construir uma matriz de vizinhança revela a estrutura espacial considerada na análise, e pode alterar os resultados das medidas de autocorrelação espacial.*” (2017, p.28).

### 3.1.1.3 Índices de Autocorrelação Espacial

Os índices globais apresentam uma medida única para toda a área analisada, como, por exemplo, o índice de Moran e o índice Geary. Os índices locais são decomposições dos índices globais, gerando um índice para cada elemento em um mapa. Tanto para o global como para o local, o índice de Moran é o mais comum nas análises de autocorrelação (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

### 3.1.2 Índice Global de Moran I

O índice global de Moran possui valores que variam entre -1 e 1, sendo:

- 1= Extrema autocorrelação espacial positiva. Feições similares em localização e atributos.
- -1= Extrema autocorrelação negativa. Feições similares em localização possuem atributos menos similares do que feições distantes.
- 0 = Ausência de autocorrelação. Quando atributos são independentes da localização.

Matematicamente o índice global de Moran é expresso como:

$$I = \frac{n}{\sum_i^n \sum_j^n} \cdot \frac{\sum_i^n \sum_j^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.1)$$

onde:

- $W_{ij}$ : é o peso;  $W_{ij} = 1$ , se as observações  $i$  e  $j$  são vizinhas.
- $y_i$  e  $y_j$ : representam o valor da variável na localização  $i$  e a média da variável, respectivamente

- $n$ : é o número de observações
- $I$ : Índice de Moran- métrica utilizada para testar a hipótese de autocorrelação espacial.

O índice de Moran propõe um teste no qual a hipótese nula é de independência espacial, sendo seu valor igual a zero. A hipótese é sempre nula. Caso seja rejeitada, então passa-se para a hipótese experimental (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Para ter certeza da hipótese de autocorrelação realiza-se um teste de pseudosignificância. Nele, são realizadas diferentes permutações dos valores de atributos associados às regiões (polígonos no mapa). A cada permutação, é gerado um novo arranjo espacial, onde os valores estão redistribuídos entre as feições. Apenas um dos arranjos corresponde à observação desejada, logo, pode-se construir uma distribuição empírica.(VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Ao redistribuir aleatoriamente os dados pelas áreas, são obtidos diferentes resultados para o índice de Moran. Isso permite a construção de um histograma. Segundo Vasconcelos e Feitosa “*se o valor do índice de Moran medido originalmente corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então trata-se de valor com significância estatística*”. (2017, p.39). Ou seja, há uma chance de o índice estar correto ao se afastar do conjunto de dados aleatórios.

Verificando a significância estatística (observado pelo p-valor), rejeita-se a hipótese nula de que não há autocorrelação espacial.

### 3.1.2.1 Diagrama de espalhamento de Moran

É uma maneira adicional de visualizar a dependência espacial, constituído com base nos valores padronizados(score-z). Compara-se os valores padronizados do atributo em uma área com a média dos seus vizinhos, gerando um gráfico bidimensional de valores padronizados ( $z$ ) pela média de seus vizinhos( $wz$ ) ( VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Sendo que:

Score-z:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (3.2)$$

Ou seja,

$$Z = \frac{\text{Valor} - \text{média dos Valores}}{\text{Variância}} \quad (3.3)$$

O gráfico de dispersão gerado por essa fórmula apresenta quatro quadrantes que indicam as diferentes formas de autocorrelação espacial.

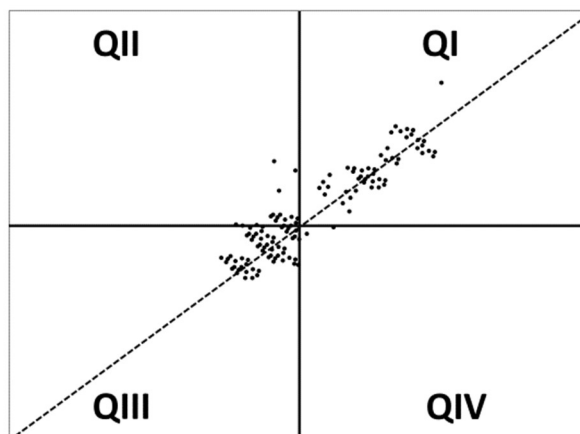


Figura 3.2: Exemplo do gráfico de dispersão do índice global de Moran. Baseado em Câmara *et al* (2004).

No exemplo da figura 3.2 os dados encontrados são distribuídos em seus respectivos quadrantes, evidenciando que tipo de autocorrelação predomina globalmente. Cada quadrante apresenta uma característica:

QI: Os elementos apresentam valores altos e seus vizinhos também(alto-alto).

QII: Os elementos apresentam valores baixos e seus vizinhos valores altos(baixo-alto).

QIII: Os elementos apresentam valores baixos e seus vizinhos também(baixo-baixo).

QIV: Os elementos apresentam valores altos e seus vizinhos valores baixos(alto-baixo).

QI e QIII indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido de que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes. Enquanto isso, QII e QIV indicam pontos de associação espacial negativa, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores distintos (CÂMARA *et al.*, 2004).

Uma linha de tendência é formada indicando a situação global da autocorrelação. Se os valores estiverem acumulados em QI e QIII, a linha de tendência será ascendente e a autocorrelação positiva. Caso se acumulem em QII e QIV, a linha de tendência será descendente, o que demonstrará uma autocorrelação negativa (CÂMARA *et al.*, 2004). A imagem da figura 3.3 exemplifica essa relação:

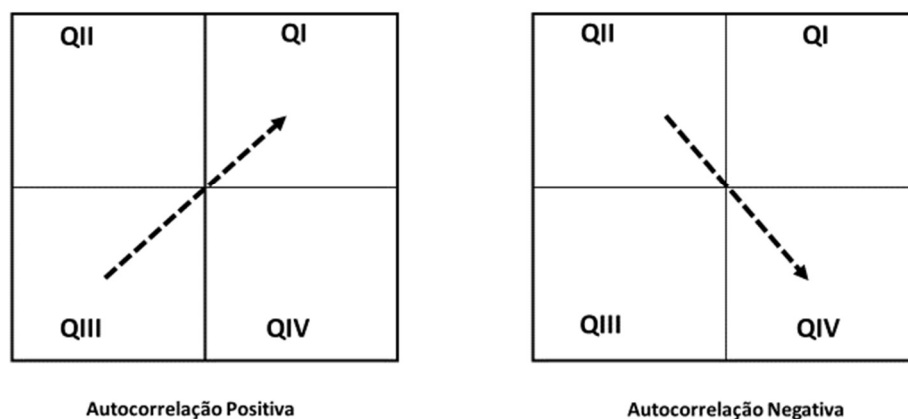


Figura 3.3: Exemplo do gráfico de dispersão do índice global de Moran. Indicações de autocorrelação espacial positiva e negativa. Baseado em Câmara *et al* (2004).

### 3.1.2.2 Indicadores Locais de Associação Espacial

O estimador de autocorrelação espacial Moran (I), apresenta um único valor como medida de autocorrelação espacial para toda a área estudada.

No entanto, muitas vezes é necessário examinar padrões de numa escala maior (mais detalhada). Neste caso, são utilizados Indicadores Locais de Associação Espacial (mais conhecidos pela sua versão em inglês, *Local Indicator of Spatial Autocorrelation-LISA*). A ideia é que esses indicadores, associados aos indicadores globais, criem maior detalhamento e ampliem o conhecimento sobre a dependência espacial estudada (CÂMARA *et al.*, 2004, VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Para Vasconcelos e Feitosa (2017), os indicadores locais de associação espacial produzem um valor específico para cada objeto. Isso acarreta a identificação de:

- Aglomerações(*clusters*): objetos com atributos de valores semelhantes;
- Isolamentos (*outliers*): objetos anômalos;
- Presença de mais de um regime espacial.

Segundo(ANSELIN, 1995), um indicador local de associação espacial(LISA) deve satisfazer dois requisitos:

- Permitir a identificação de padrões de associação espacial significativos;
- Ser uma decomposição do índice global de associação espacial.



Segundo Vasconcelos e Feitosa (2017), matematicamente o indicador local de Moran ( $I_i$ ) é expresso como:

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_j - \bar{y})}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (3.4)$$

- $W_{ij}$ : é o peso;  $W_{ij} = 1$ , se as observações  $i$  e  $j$  são vizinhas.
- $y_i$  e  $y_j$ : representam o valor da variável na localização  $i$  e a média da variável, respectivamente
- $n$ : é o número de observações
- $I_i$ : Índice de Moran- métrica utilizada para testar a hipótese de autocorrelação espacial. Significa, neste caso, que a fórmula será aplicada em cada elemento do mapa.
- $\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}$ : serve apenas para a padronização da variável (para que sempre esteja entre -1 e 1, variância/ quantidade de elementos vizinhos).

Se  $I_i > 0$ : *clusters* (aglomerações) de valores similares (altos ou baixos)

Se  $I_i < 0$ : *clusters* (aglomerações) de valores diferentes (valor alto com vizinhança baixa; valor baixo com vizinhança alta).

Seguindo a lógica do índice global, a avaliação da significância do índice local de Moran é feita a partir da hipótese de normalidade. Pode ser realizada também, a partir dos valores dos atributos, uma simulação da distribuição por permutação (VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

A partir da significância estatística de Moran  $I_i$  é possível gerar mapas que evidencie onde estão as feições que mais se diferenciam do restante. Esse mapa é conhecido como “LISA map” (ANSELIN, 1995, CÂMARA, *et al.*, 2004, VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Neste mapa os índices são classificados como:

- Não significativos;
- Significativos com confiança de 95%, 99% ou 99,9% (os níveis de confiança podem variar dependendo do caso analisado).

Esses valores podem ser combinados com o mapa do índice de espalhamento de Moran. Um mapa é apresentado, ocultando-se todos os elementos que não passam no

teste de certeza, destacando apenas os locais que possuem mais de 95% de certeza de significância (CÂMARA, *et al.*, 2004, VASCONCELOS e FEITOSA, 2017).

Abaixo, exemplos dos mapas de aglomeração e de significância com dados sobre hepatite B na Índia.

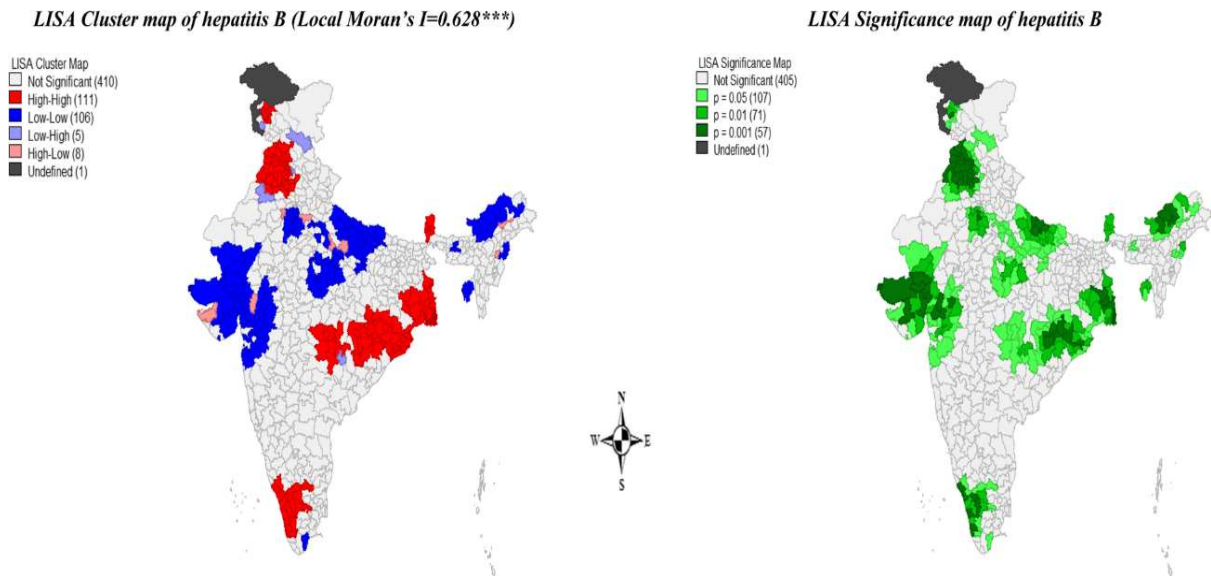


Figura 3.4: Exemplo de mapas de aglomeração e de significância obtidos pelo índice local de Moran (KHAN, SHIL e MOHANTY, 2019,p.6).

Dessa maneira, entende-se que as técnicas de autocorrelação espacial focadas na identificação de aglomerados podem ser eficientes na identificação de padrões de distribuição que sugerem uma forma específica para o tecido urbano para uma dada variável.

### 3.2 Caracterização das redes metroviárias com base na teoria de grafos: método de Derrible.

Entre as abordagens pesquisadas, a considerada mais próxima dos objetivos estabelecidos para o presente estudo é a desenvolvida por Derrible (2010), que crê que analisar redes metroviárias de forma holística é de grande utilidade para a fase de planejamento estratégico do transporte.

Derrible apresenta sua proposta como uma maneira de verificar se as redes possuem propriedades que não foram especificadas e projetadas em sua fase de planejamento, mas que ainda assim estão presentes em sua topologia. Através dessa avaliação, entende que seja possível controlar seu planejamento e expansão, para que no futuro, possa ser compatível com a visão institucional de mobilidade.

Sua proposta, portanto, é compatível com um dos objetivos da presente pesquisa, que é exatamente compreender como a topologia imputa à rede características que lhe conferem uma função na mobilidade. Além disso, permite a comparação do planejado e realizado de uma rede, o que exatamente revela possíveis alterações em sua característica, e conseqüentemente em seu papel na mobilidade.

Para estudar as propriedades e efeitos das redes metroviárias, Derrible utilizou a teoria de grafos considerando suas idiossincrasias, como a presença de linhas e suas sobreposições, e as características dos diferentes tipos de estações, que podem ser terminais (ou finais), de transferência ou simples. Também levou em conta sua característica planar, o que impõe que o cruzamento de duas linhas cria uma estação de transferência, e que duas estações distantes não conseguem, na prática, se conectar diretamente.

Derrible discriminou cada elemento dos grafos, construindo a partir daí sua pesquisa sobre as 33 redes metroviárias ao redor do mundo. Basicamente, reconhecendo que as estações são vértices e os caminhos entre elas as arestas. Essa construção é feita a partir de quatro etapas:

- I- Definição da extensão da rede, do número de linhas e de estações;
- II- Definição de seus vértices terminais e de transferência;
- III- Definição de arestas simples e múltiplas;
- IV- Definição do diâmetro da rede;

Na primeira etapa, após determinar a extensão da rede em quilômetros e a quantidade de linhas, verifica-se quantas linhas são recepcionadas em cada estação. Então, determina-se o número de conexões por estação, sendo as que possuem apenas uma conexão são estações terminais, com duas não recebem classificação e com mais de duas são consideradas de transferência.



Figura 3.5: Exemplo de grafo para estudo das redes metroviárias. Baseado em Derrible (2010).

Na segunda etapa identifica-se as estações como vértices de dois tipos: de transferência e terminais. As demais estações são desconsideradas como vértices no grafo. Somente os vértices de transferência permitem o deslocamento entre linhas.

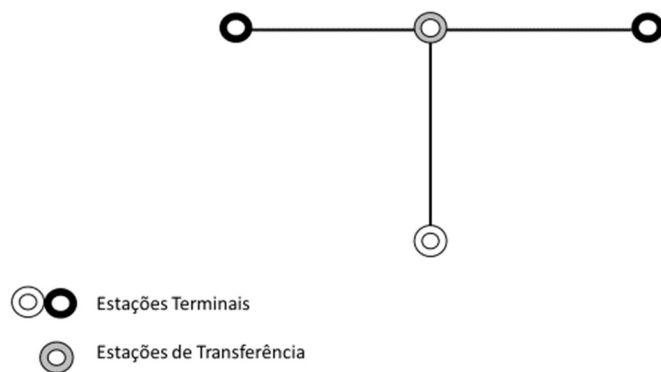


Figura 3.6: Exemplo de grafo, somente estações finais e de transferência. Baseado em Derrible (2010).

Na terceira etapa são definidos dois tipos de arestas: simples e múltipla. Assim é possível verificar situações nas quais as linhas se sobrepõem. Enquanto as arestas simples representam uma via férrea comum (com apenas uma linha), na múltipla duas ou mais linhas podem estar presentes entre dois vértices. Uma das arestas é considerada como

simples e a outra como múltipla, sendo essa escolha arbitrária. Isso é feito pois nem sempre é visível no grafo se uma aresta é múltipla ou não. Dois vértices consecutivos que recebem duas ou mais linhas em comum, não necessariamente possuem arestas comuns entre eles.

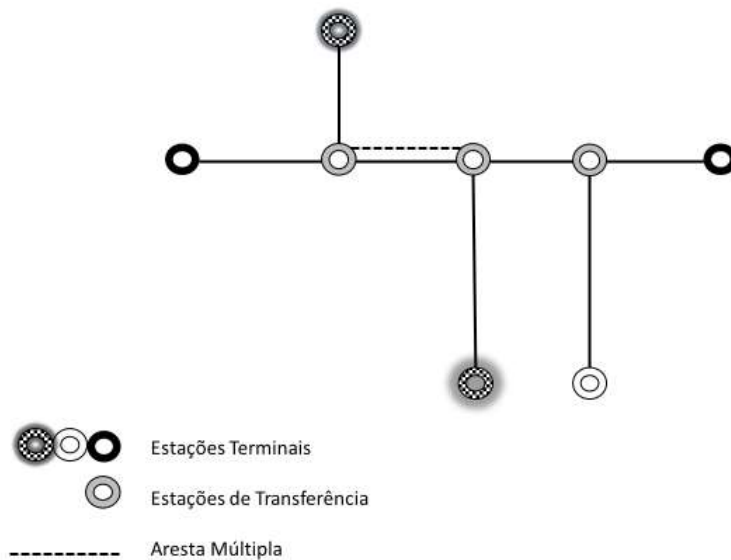


Figura 3.7: Exemplo de grafo com arestas múltiplas. Baseado em Derrible (2010).

Na quarta etapa a tarefa é verificar o número máximo de transferências para se ir de um vértice a outro utilizando o menor caminho. Essa medida é considerada como o “diâmetro da rede” na teoria de grafos. Usa-se como base os dois vértices mais distantes e o menor caminho entre eles. Como o metrô trabalha com linhas, na prática verifica-se o menor caminho entre elas. Para redes pequenas essa constatação pode ser feita visualmente, enquanto para aquelas mais complexas pode ser necessário o uso de programas específicos (DERRIBLE,2010).

A partir desses elementos, Derrible propõe representar as redes metroviárias como grafos e assim caracterizá-las.

Em sua abordagem, entende que estabelecer métodos de caracterização possibilita tanto avaliar o atual cenário das redes, como simular alterações na mesma, identificando aspectos que podem ser melhorados. Embora existam outras características a serem exploradas, aquelas que, segundo seu entendimento, proporcionam uma visão mais clara sobre função das redes metroviárias são “estado”, “forma” e “estrutura”.

### 3.2.1 Estado

O “estado” refere-se à atual fase de desenvolvimento de uma rede, podendo ser mais complexa ou simples em termos topológicos, compondo uma estrutura de análise em fases. Esta característica tem forte ligação com o tamanho da rede. Tal característica envolve dois indicadores: o indicador  $\beta$  de complexidade, que é expresso pela razão entre arestas e vértices em um grafo (consideram-se as estações finais e de transferência como vértices e os caminhos que as ligam como arestas), sendo  $E$ = aresta e  $V$ = vértice; Dessa forma:

$$\beta = E/V \quad (2.5)$$

; e o grau de conectividade  $\gamma$ , que calcula a razão entre o número de arestas presentes e o potencial do grafo. Para as redes planares, com número de vértices maior ou igual a 3, a quantidade potencial de arestas é:  $3V-6$ .

Logo:

$$\gamma = E/Emax, \quad (2.6)$$

dessa forma:

$$\gamma = E/3V-6 \quad (2.7)$$

Em seus estudos, o autor detectou três fases de uma rede em relação ao seu estado: a primeira representa as redes ainda incipientes, recém-criadas ou de pouca extensão, que ainda estão se desenvolvendo, sendo a relação entre  $\beta$  e  $\gamma$  ainda fraca ; na segunda a relação entre  $\beta$  e  $\gamma$  se fortalece, mas ainda com grau de conectividade aquém das potencialidades; na terceira, e última fase, as redes se apresentam próximas do seu maior potencial de complexidade e conectividade.

### 3.2.2 Forma

A “forma” ilustra o quanto as redes são integradas ao meio no qual estão inseridas. As redes podem exercer papéis diferentes dependendo de como foram planejadas. Há três variações da forma das redes: a primeira prioriza o movimento pendular, realizando ligações entre os subúrbios e as áreas centrais das cidades; a segunda concentra-se em uma área específica, detendo-se em servir a população local; a terceira, considerada de cobertura regional, abriga as duas funções anteriores, sendo a mais complexa e completa.

Nesta característica são observados três indicadores: o número de linhas da rede, o número total de estações, e a extensão em quilômetros da rede.

A partir da razão entre a extensão  $R$  e o número total de linhas  $NL$ , Derrible propôs um novo indicador: a média de extensão das linhas ( $A$ ). Logo:

$$A=R/NL \quad (2.7)$$

Também se quantifica o número ( $NS$ ) e o espaço entre as estações ( $S$ ), objetivando extrair mais informações sobre a forma das redes. Poucas estações em linhas muito extensas indicam uma tendência de diminuição de tempo de viagem, favorecendo deslocamentos mais distantes, caracterizando uma cobertura regional. Do contrário, muitas estações em uma pequena extensão de linha, favorece uma cobertura local. Dessa forma:

$$S=R/NS \quad (2.8)$$

### 3.3.3 Estrutura

Em relação à “estrutura”, o autor destaca dois indicadores: a conectividade( $\rho$ ) e o direcionamento das redes( $\tau$ ). O primeiro representa a influência e a importância das estações de transferência, sendo ideal que haja mais possibilidades de transferência em poucas estações. Esse indicador é expresso matematicamente da seguinte forma:

$$\rho= (Vtc-Em)/Vt \quad (2.9)$$

Na equação,  $Em$  é o número de arestas múltiplas (o que evita a contabilização em dobro das transferências);  $Vt$  é o número total de vértices de transferência; e  $Vtc$  o número de possibilidades de transferência.

Já o segundo determina a facilidade de se viajar dentro da rede, evitando múltiplas transferências, geralmente inconvenientes para os passageiros. Sendo  $\delta$  número máximo de transferências, desde que siga o caminho mais curto que demande o maior número de transferências; e  $NL$  o número total de linhas, considera-se:

$$\tau = NL/\delta \quad (2.10)$$

A partir dessa referência teórica entende-se possível classificar e conferir uma função na mobilidade para as redes analisadas em suas fases de planejamento e execução.



#### 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso selecionado é o da rede metroviária da cidade do Rio de Janeiro, que está localizado na região sudeste do Brasil, no estado de mesmo nome. A cidade do Rio de Janeiro ocupa toda a extensão do seu município homônimo, sendo capital do estado e centro de sua região metropolitana, como apresentado nos mapas das figuras 4.1 e 4.2.

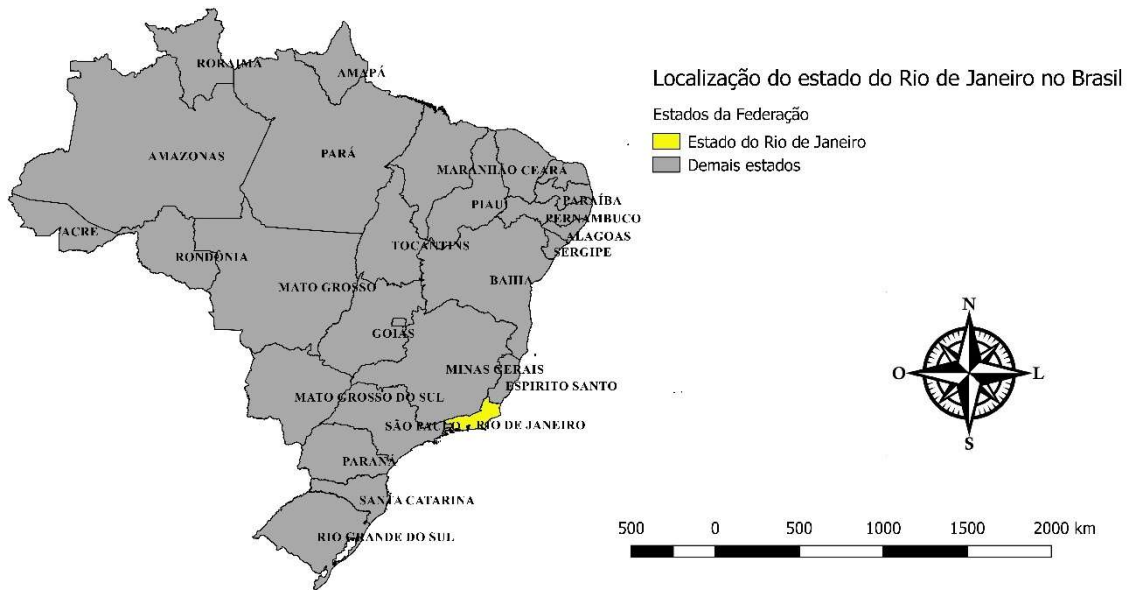


Figura 4.1: Localização do estado do Rio de Janeiro no Brasil. Elaboração própria.

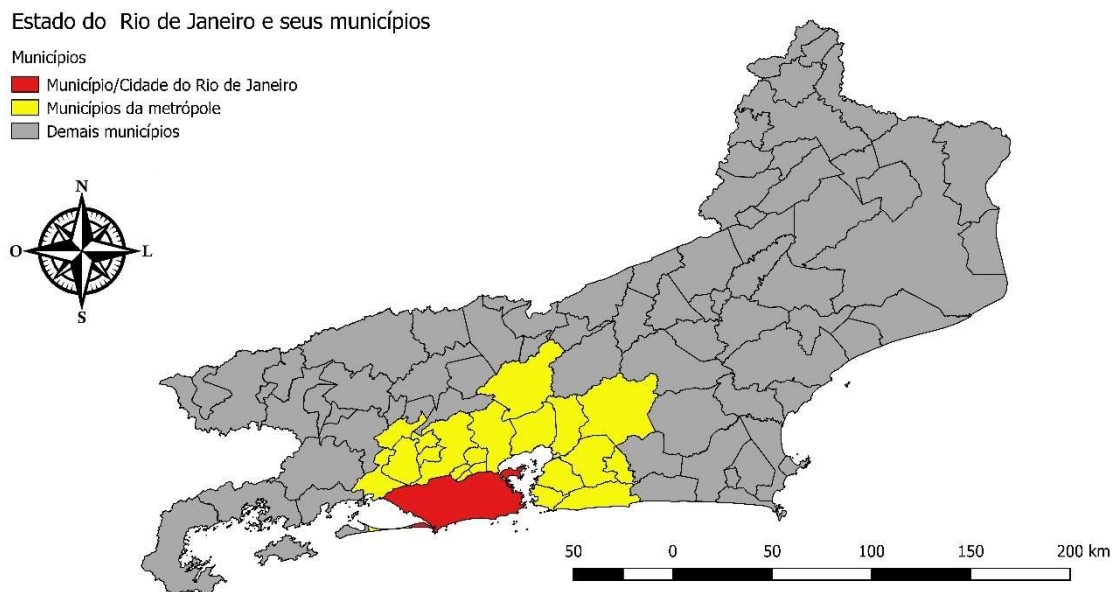


Figura 4.2: Localização do estado do Rio de Janeiro no Brasil. Elaboração própria.

A cidade foi escolhida por dois motivos principais: o primeiro é o fato de a rede responder por uma parcela pequena da mobilidade coletiva da cidade, contemplando apenas 4% do transporte coletivo no ano de 2011(PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO,2015).

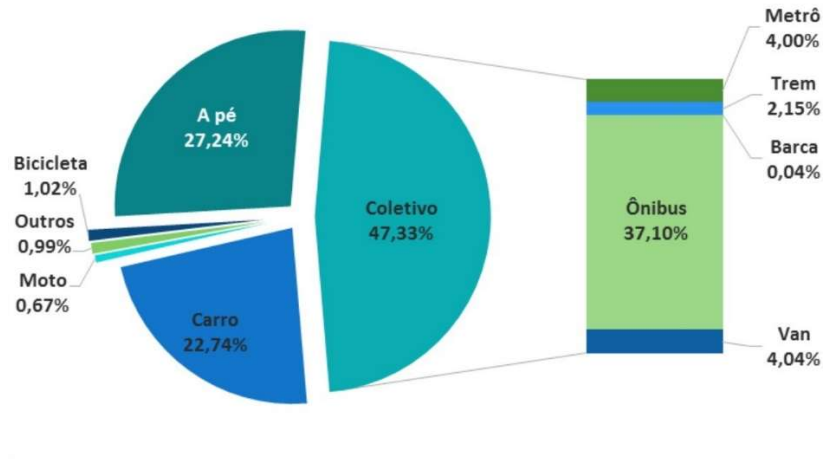


Figura 4.3: Participação dos modos de transporte na mobilidade da cidade do Rio de Janeiro (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2015, p.47).

O outro, é que há diferenças entre o planejado e o executado em relação ao seu traçado. Assim, esse caso se enquadra nos critérios da pesquisa tanto por apresentar um problema na mobilidade (baixa participação), como diferenças em relação ao seu planejamento. Isso abre espaço para que se questione se há causa e efeito entre tais elementos. As figuras 4.4 e 4.5 representam um esquema simplificado do objeto de estudo em sua fase de planejamento e execução.

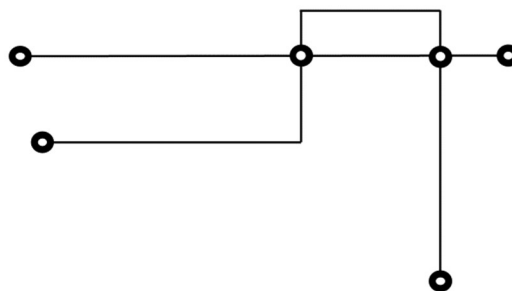


Figura 4.4: Grafo que representa o desenho da rede planejada para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 1990. Baseado em Derrible (2010).

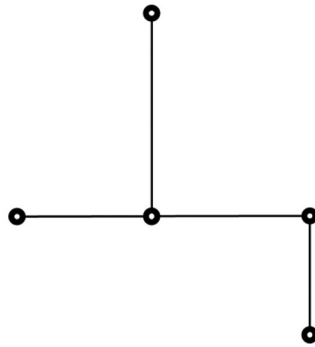


Figura 4.5: Grafo que representa o desenho da rede executada para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2020. Baseado em Derrible (2010).

A cidade do Rio de Janeiro figura como a segunda maior do Brasil em termos de habitantes (com mais de 6 milhões) e de economia (segundo maior PIB), sendo também o centro da segunda maior região metropolitana do país (IBGE, 2020). Trata-se, portanto, de um centro populoso e economicamente importante em nível nacional. Assim, é possível supor que as viagens por motivo de trabalho têm grande potencial de ser o principal motivo de deslocamento motorizado.

Segundo o Plano Diretor de Transportes Urbanos de 2013 da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU), tanto para os modos individuais de transporte como para os coletivos, o principal destino das viagens, depois das residências (que se apresenta como destino de 47,15% das viagens individuais e 47,67% das coletivas), é o local de trabalho, com respectivamente 23,07% e 29,42% do total.

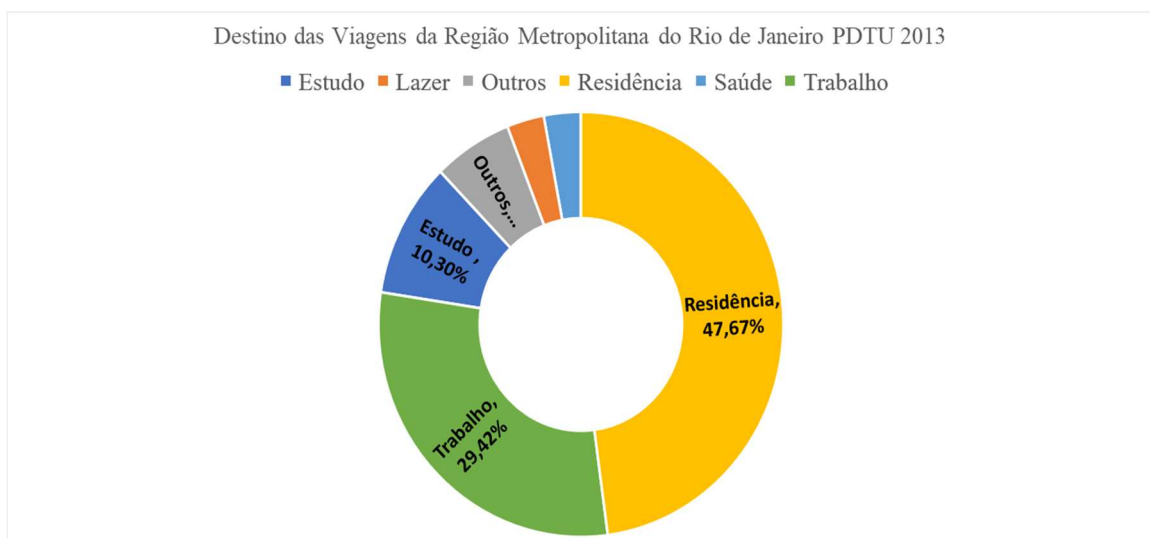


Figura 4.6: Destino das viagens na região metropolitana do Rio de Janeiro. Adaptado de PDTU 2013 (SETRANS, 2015, p.135)

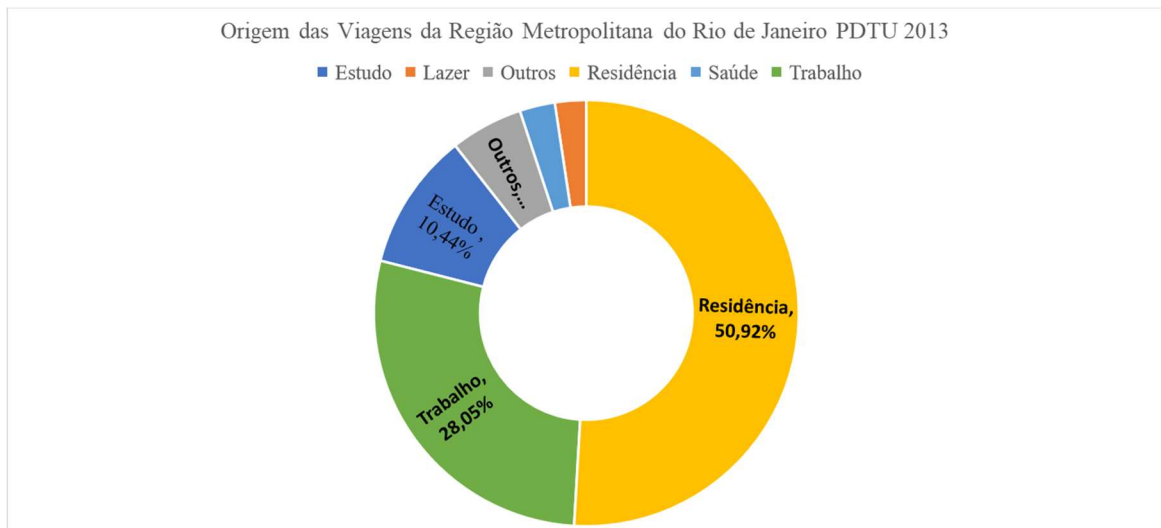


Figura 4.7: Origem das viagens na região metropolitana do Rio de Janeiro. Adaptado de PDTU 2013 (SETRANS, 2015, p.135)

Ainda segundo o mesmo documento, 61,3% do total de viagens tem como origem o município do Rio de Janeiro.

Sobre esses dados é relevante ressaltar que, a cidade não é uma geradora de viagens para outros municípios quando o motivo é o trabalho, com 97,1% de sua população empregada trabalhando no próprio município (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2015, p.34).

A partir disso procurou-se caracterizar a cidade com base nessas duas variáveis de forma independente, ou seja, objetivou-se verificar onde se concentravam os habitantes e os empregos. No PDTU 2013, na questão do trabalho, houve uma categorização entre trabalho formal e informal, no qual o primeiro tem maior peso sobre o uso de transportes motorizados. Para o transporte motorizado individual o trabalho formal é responsável por 77,3% das viagens, enquanto o informal 19,1%. No transporte motorizado coletivo, o trabalho formal responde por 79,8% das viagens, enquanto o informal por 14,6%. Para viagens não motorizadas o peso do trabalho formal cai para 57,2% e o do informal sobe para 36,1%.

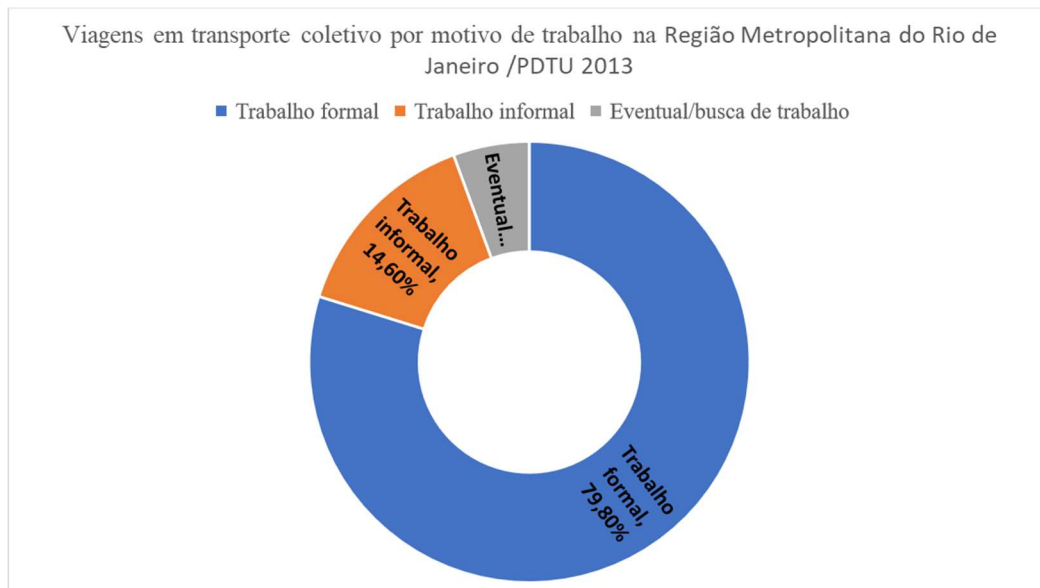


Figura 4.8: Origem das viagens em transporte coletivo na região metropolitana do Rio de Janeiro.  
Adaptado de PDTU 2013 (SETRANS, 2015, p.136)

No transporte motorizado individual, o trabalho formal responde por 77,3% das viagens, enquanto o informal por 19,1%.

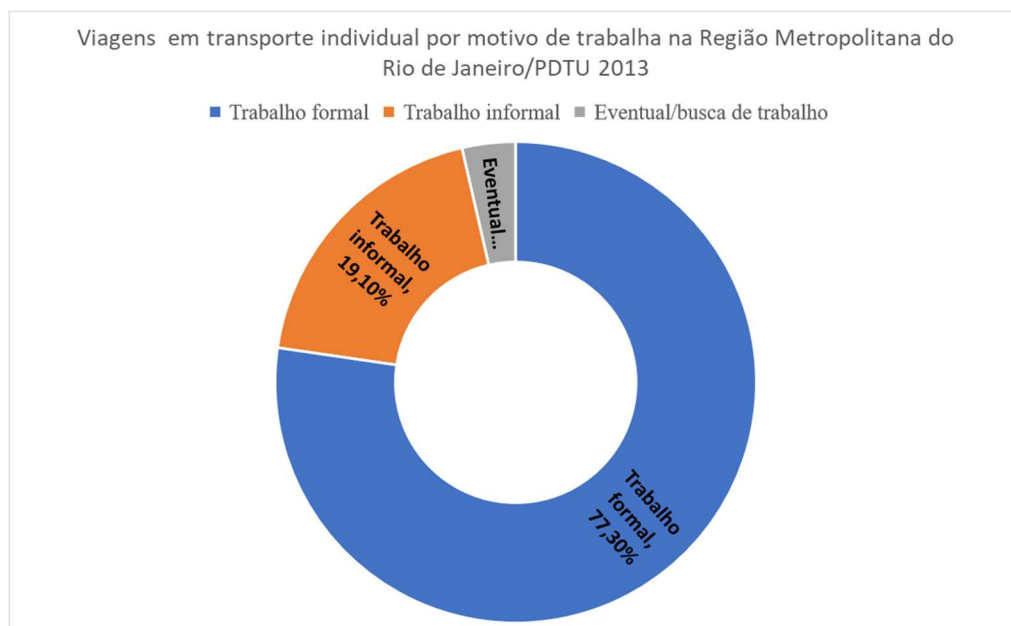


Figura 4.9: Origem das viagens em transporte individual na região metropolitana do Rio de Janeiro.  
Adaptado de PDTU 2013 (SETRANS, 2015, p.136).

Esses fatos evidenciam pontos importantes e que possuem impacto sobre os dados disponíveis sobre empregos na cidade. Não foram encontrados em meios oficiais dados que reportem o número de empregados informais na cidade, sendo apenas registrados os

postos formais entre 2005 e 2017. Esses dados foram categorizados em Regiões de Planejamento pelo e em bairros pelo Instituto Pereira Passos e disponibilizados no portal Data.Rio. No entanto, de acordo com os dados supracitados, as viagens motorizadas são realizadas preponderantemente por trabalhadores formais, sendo esse tipo de posto de trabalho escolhido como variável, além da população.

Já a opção por realizar a análise a partir da escala dos bairros, é baseada no indicador de percentual de população vivendo próxima a terminais e estações de transporte de média e alta capacidade proposto pelo relatório de Indicadores de Efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana (MINISTÉRIO DAS CIDADES,2016), que considera a distância de 1km razoável para o acesso aos sistemas de metrô e transportes sobre trilhos. Além disso, como será visto mais adiante, a escala mais detalhada sobre população nos meios oficiais, é a de bairro, o que de fato se torna um problema ao se tratar de bairros de grande extensão, se for levada em conta o indicador supracitado. Mas ainda assim é a mais detalhada disponível no momento dessa pesquisa.

Assim, compreende-se que a investigação recai, principalmente, sobre o movimento casa-trabalho-casa, sendo o que os postos de trabalho são os formais.

#### **4.1 A localização e mensuração das variáveis emprego formal e habitação.**

Para a aplicação dos cálculos de autocorrelação espacial, os dados devem ser inseridos em mapas, sendo necessário imputá-los em suas respectivas unidades espaciais. A autocorrelação espacial é realizada pelo programa *Geoda*, no entanto, para a imputação e organização dos dados foi utilizado o programa *Qgis*, que possui recursos mais práticos para este fim.

O programa *Qgis*, assim como o *Geoda*, faz parte do grupo de *softwares* que trabalham com o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite visualizar, editar e analisar as informações de dados georreferenciados.

Para utilização do *Qgis* foi necessário baixar do portal DataRio os arquivos de mapa da cidade do Rio de Janeiro, com as divisões dos limites administrativos de seus 162 bairros. Também do DataRio foram retirados o número de empregos por bairros. Os arquivos obtidos foram do tipo vetorial.

O mesmo procedimento foi adotado para os dados de população, para que posteriormente fossem utilizados no programa *Geoda*, para a autocorrelação espacial. Os dados de população também são oriundos do portal DataRio.



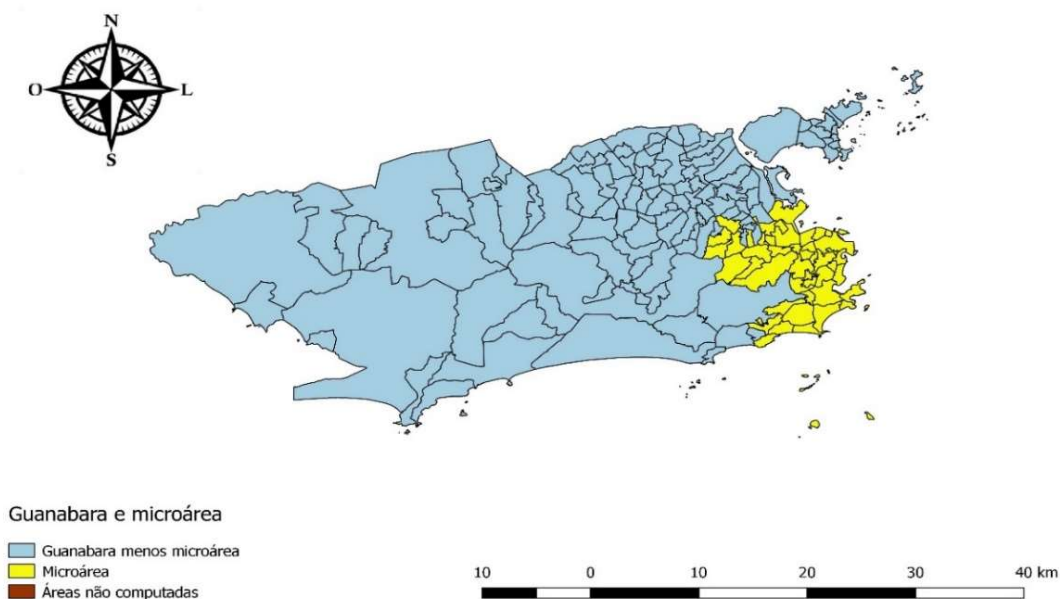


Figura 4.11: Delimitação aproximada do antigo estado da Guanabara e da microárea. Baseado no Livro do Metrô Rio- Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Metropolitano do Rio de Janeiro (2010, p.23).

Antes de explorar os dados do índice do Moran, faz-se importante relatar que em 1968 a cidade possuía uma configuração diferente da atual. Desde então, diferentes bairros surgiram, alterando algumas divisões administrativas. Dessa maneira, na época, foram produzidas tabelas em que diversos bairros que estão presentes nos cálculos para o ano de 2010 não aparecem.

Não foram encontrados *shapes files* (arquivos vetoriais) que reproduzissem as divisões administrativas dos bairros para as épocas de 1968 e 1990. Dessa forma, os bairros que não constam na tabela de 1990 tiveram população considerada nula(zero) para efeitos dos cálculos do índice de Moran. Na prática isso não produz significativas alterações nos resultados dos índices, já que os planejadores desconsideravam povoamento relevante em tais áreas.

Além disso, bairros como a Ilha do Governador, que foram desmembrados em bairros menores entre 1968 e o período da presente pesquisa, tiveram sua população redistribuída entre as feições atuais. Dessa forma foi possível conciliar as informações das previsões, com as configurações atuais da cidade. A divisão das zonas e dos bairros da cidade em 2020 são apresentados nos apêndices VII e VIII.



#### 4.2.1 Previsão de distribuição da população para 1990

As previsões de distribuição da população realizadas pelo grupo de estudo para o ano de 1990 foram submetidas a análise de autocorrelação espacial. Porém, antes de aplicar os cálculos de classificação da forma da cidade projetada, foram explorados os fundamentos que explicam as projeções feitas para a ocupação de seu tecido urbano pela habitação.

##### 4.2.1.1 *A Visão dos Planejadores (população)*

Em consonância com a visão mais atual de mobilidade urbana, que a vincula fortemente ao tipo de uso solo, é importante compreender como tal uso influenciou as projeções do grupo de estudos para a circulação da população, principalmente no que tange o deslocamento casa-trabalho.

Esta visão se faz presente em diversos momentos no livro do Metrô Rio (2010), onde os autores apresentam alternativas ao desenvolvimento urbano da macroárea. Especulavam que a metrópole, a partir de 1968, teria seu crescimento influenciado por alguns empreendimentos em áreas específicas, que são:

- Na zona Oeste, especificamente em Santa Cruz e Sepetiba, para onde foram projetadas a implantação de áreas industriais e portuárias, respectivamente.
- Baixada Fluminense, especificamente em Duque de Caxias, onde era projetada a expansão do polo petroquímico.

De acordo com o grupo de estudos, a efetivação dos empreendimentos na zona oeste faria o governo investir em infraestrutura urbana no sentido leste-oeste a partir da área central da cidade. Enquanto isso, os investimentos na Baixada Fluminense (fora dos limites do então estado da Guanabara), influenciaria a consolidação do crescimento sul-norte da cidade, ainda que os eventos da primeira hipótese ocorressem. Desta forma, conclui-se que, para os planejadores, a cidade cresceria para todas áreas (leste-oeste e sul-norte).

À essa expansão seriam somados projetos na área central da cidade, voltados para a reformas urbanísticas, a fim de desacelerar o deslocamento de moradores para outros bairros considerados mais atraentes, além da construção de sedes do poder executivo, como, por exemplo, seria o novo Centro Administrativo do Estado da Guanabara.

Resumidamente, o grupo de estudos previu para o ano de 1990 um crescimento prevalentemente vertical para a microárea e horizontal para a macroárea. Para esta, destaca-se a visão que entre 1968 e 1990 o uso do solo sofreria poucas modificações. Isso

implica considerar que se previa que uma parte significativa da cidade permaneceria basicamente com uso residencial.

#### 4.2.1.2 A aplicação do índice de Moran às previsões sobre a população

As previsões de distribuição da população realizadas pelo grupo de estudo para o ano de 1990 foram submetidas a análise de autocorrelação espacial.

Em sua aplicação para os dados estimados para 1990, foi utilizado o mesmo *shape file* (arquivo vetorial) para o ano de 2010. Talvez fosse possível produzir um arquivo que retratasse exatamente a divisão administrativa que o grupo de estudos esperava encontrar para aquele ano, ou seja, os bairros, retratados como polígonos, obedeceriam a divisões administrativas esperadas. No entanto, com as diversas mudanças na divisão administrativa da cidade, optou-se por trabalhar com o concreto, o que realmente se aproxima da divisão em bairros da época (1990).

Os bairros que não foram citados pelo grupo de estudos foram considerados como desprovidos de população. Isso, provavelmente, não significa que o grupo de estudos considerava que tais áreas (muitas das quais ainda nem eram urbanizadas) eram inabitadas, mas sim que ali o contingente populacional não era relevante para as projeções de impacto da rede metroviária planejada, ou simplesmente tais bairros ainda não haviam sido criados.

Com base nos dados produzidos pelo grupo de estudos, foi projetada a população por bairro para o ano de 1990. Os dados estão disponíveis no apêndice I.

Através dos índices Global e Local de Moran foi verificada a existência de padrão de autocorrelação espacial na distribuição da população projetada para 1990. Para a determinação do peso, seguindo o método de Tsai(2005) e o manual do Geoda, foi escolhido o critério de distância entre centróides. Essa opção também contribuiu para que algumas áreas não fossem excluídas do cálculo (como ilhas, que são consideradas como polígonos isolados), o que não ocorre com o critério de contiguidade.

Dentro dessa opção há duas formas de calcular as distâncias entre os centróides: euclidiana e arco de distância. No teste de pseudosignificância, a primeira apresentou resultado  $p= 0,1905$  e a segunda  $p= 0,033$ . Assim, optou-se pela medida de arco de distância por apresentar confiança maior no que concerne às suas chances de não ser um dado encontrado ao acaso (96,7% de confiança para o arco de distância e 80,95% para distância euclidiana). Além disso foi aplicado o máximo de permutações permitidas pelo

programa, que é 9.999. Dessa forma o resultado encontrado, que permite rejeitar a hipótese de nulidade de autocorrelação espacial, foi um índice global de Moran de 0,091.

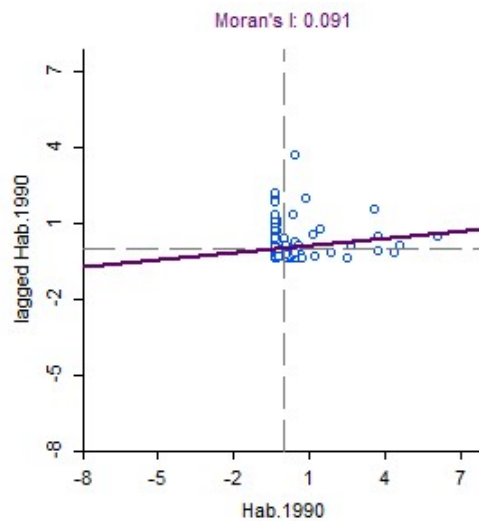


Figura 4.12: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição da população projetados para o ano de 1990.

De acordo com a classificação proposta por Tsai(2005), a cidade apresenta resultados entre -0,01 e 0,13, sendo, portanto, uma área urbana com perfil policêntrico em relação à sua população. Cabe agora, a partir do índice local de Moran, verificar detalhes sobre a forma encontrada.

Assim como para o índice global, procurou-se permutar os valores para que se possa obter resultados mais seguros. Segundo o manual do Geoda não é indicado utilizar o filtro de significância tradicional de 0,05; pois este pode levar à falsos positivos, rejeitando a hipótese de nulidade de autocorrelação, quando na verdade ela existe. É sugerido que se utilize permutações mais apuradas com filtros de 0,01 ou mais próximos de 100%. É sugerida também a possibilidade de utilização de filtros como FDR (False Discovery Rate) e Bonferroni.

Foi escolhido um filtro de 0,01. O filtro revelou poucas áreas relevantes para autocorrelação espacial individual, sendo a grande maioria, 156 de 162, não possuindo significância no filtro aplicado. Assim como feito com o índice global, foi aplicado um número de 9.999 permutações.

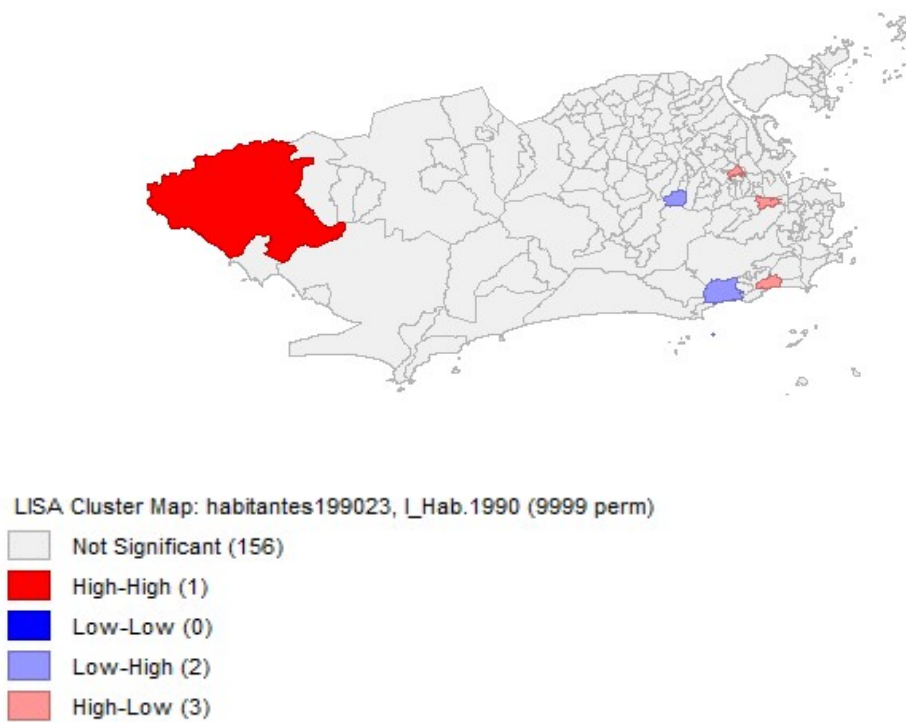


Figura 4.13: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população projetada para o ano de 1990.

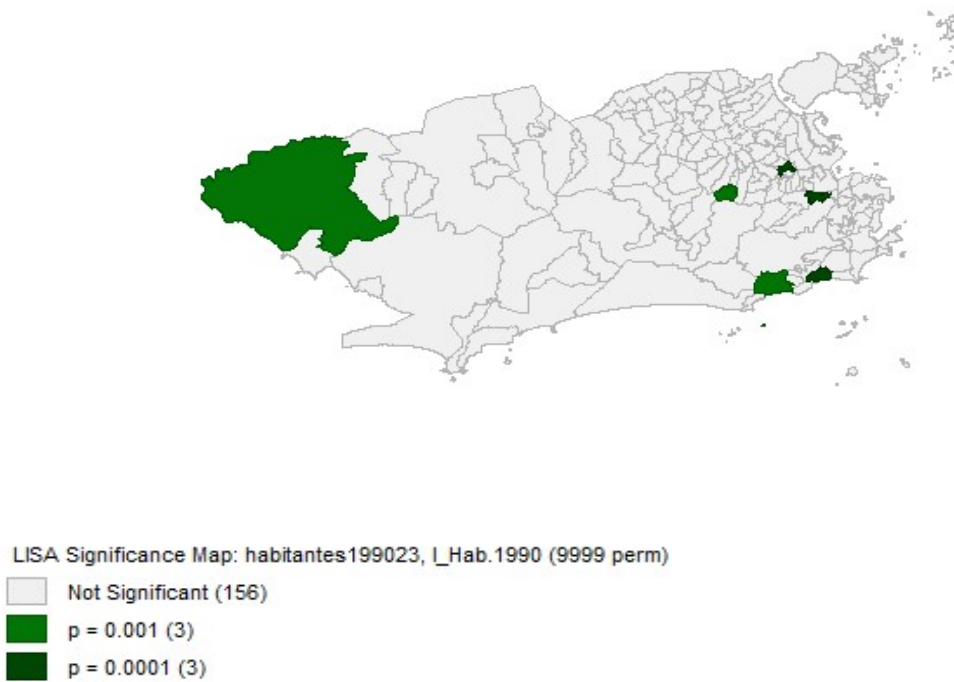


Figura 4.14: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população projetada para o ano de 1990.

Em relação à população, o índice local de Moran não evidenciou nenhum polígono que apresentasse algum dado que contrariasse o índice global. Dessa maneira, confirma-se, de acordo com os critérios adotados por Tsai, a forma policêntrica para a cidade em relação à distribuição de seus habitantes.

#### 4.2.2 Previsão da distribuição de empregos para 1990

Assim como realizado com a população, as previsões de distribuição de empregos foram submetidas à análise da autocorrelação espacial. Da mesma forma, foram explorados os fundamentos que explicam as projeções propostas pelo grupo de estudos.

##### 4.2.2.1 A Visão dos Planejadores(emprego)

Para o ano de 1968, o grupo de estudos contabilizou que, de 1.757.536 pessoas ocupadas em atividades na macroárea, 85% (1.494.608) trabalhavam no estado da Guanabara, e o restante nos seis municípios vizinhos. Uma importante observação do grupo de estudos é a de que na época não parecia haver no país *“nenhuma outra área metropolitana com tamanha discrepância entre a importância econômica do núcleo e das demais áreas”* (METRÔ RIO, 2010, p. 62).

Para o ano de 1990, esperava-se um elevado crescimento do emprego para a indústria nas áreas da macroárea fora da microárea. Essas áreas são os municípios que cercam a cidade (estado da Guanabara) e os bairros da zona oeste, como seria o caso de Santa Cruz. Na microárea seria preponderante os empregos nos comércios e serviços.

Em números, dos 4.073.566 empregos projetados para a macroárea, 2.292.817(56,2%) estariam na microárea; 965.548 na Guanabara menos microárea (23,7%); e 815.201(20%) nos “seis municípios fluminenses”. A previsão era de uma concentração de empregos na microárea, com alguns polos de emprego no restante da macroárea.

#### 4.2.2.2 Aplicação do índice de Moran às previsões aos empregos

Assim como realizado com a população, foram aplicados os índices global e local de Moran com base na previsão de empregos por bairro na microárea e no perímetro do estado da Guanabara (atualmente cidade do Rio de Janeiro). Os dados da distribuição de empregos por bairros estão disponíveis no apêndice II.

Foi aplicado como peso o critério de distância associada à métrica do arco de distância, assim como foi feito com a população. O resultado gerado foi um índice de Moran de -0,015, o que indicaria uma distribuição de empregos dispersa. No entanto, no teste de pseudosignificância, com 9.999 permutações, obteve-se uma confiança de apenas 52%( $p=0,4792$ ). O que não permite dizer com grande nível de confiança que os valores não são aleatórios. Quando aplicada a métrica de distância euclidiana o nível de confiança sobe para 97%( $p=0,0239$ ), gerando um índice global de 0,038. Optou-se, portanto utilizar a métrica de melhor resultado.

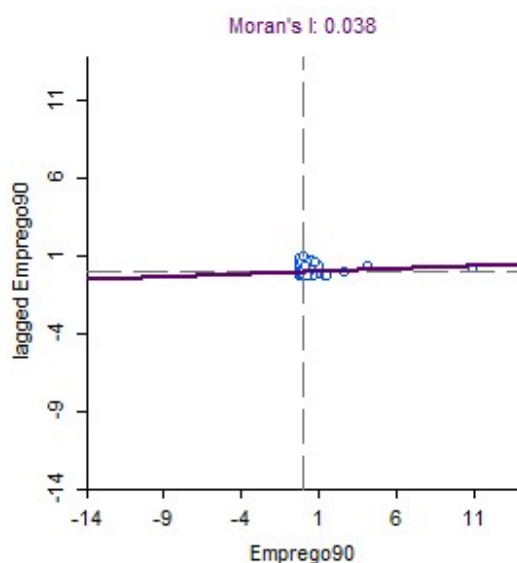


Figura 4.15: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990.

As causas para a resultados tão discrepantes no uso das duas métricas (com p-valor menor para população quando utilizado o arco de distância, e p-valor menor para distância euclidiana na distribuição de empregos) não são claras. Enquanto a métrica de arco indica uma cidade dispersa quanto aos empregos, a métrica euclidiana indica uma cidade policêntrica, no entanto, com maior confiança na rejeição da hipótese nula que a primeira.

A aplicação do índice local de Moran, com filtro de segurança de 0,01 e permutação de 9.999 vezes aponta que dos 162 polígonos analisados, 31 possuíam características relevantemente distintas dos demais com 99,9% ou mais de relevância. Destes, 8 bairros foram classificados como alto-alto, o que indica que há concentração de bairros com número elevado de empregos em um ou mais pontos da cidade. Assim como algumas áreas foram classificadas como alto-baixo, ou seja, possuem muitos empregos com vizinhos com poucos. O mapa de aglomeração (*Lisa Cluster Map*) confirma o que foi verificado pelo índice global de Moran, mostrando que os bairros considerados alto-alto e alto-baixo estão espalhados em diferentes pontos da cidade, o que configura o policentrismo.

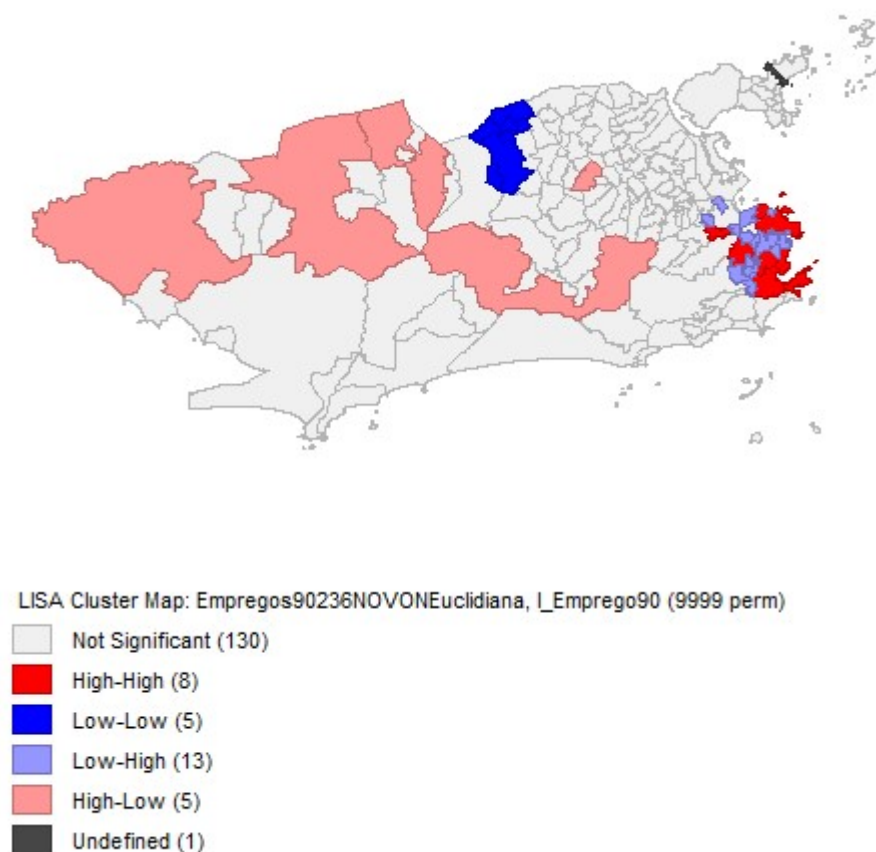


Figura 4.16: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990

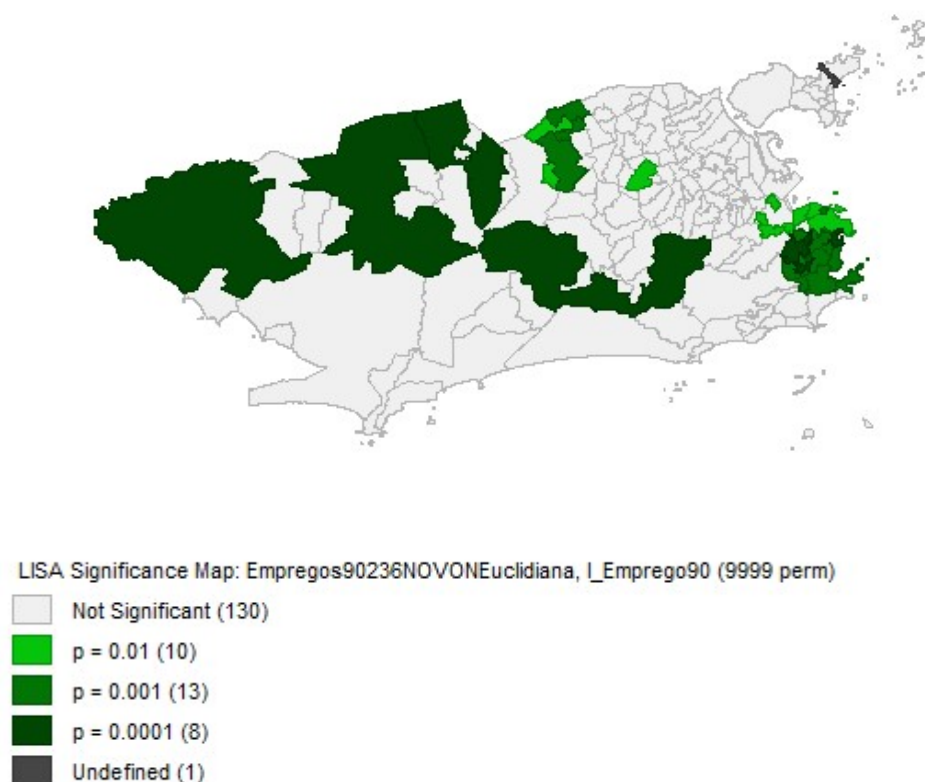


Figura 4.17: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos projetados para o ano de 1990.

A leitura que pode ser feita desses dados é que, ainda que a área nomeada de microárea pelo plano de estudos concentre mais polígonos alto-alto, e que o bairro do Centro concentre quase 30% dos empregos; o que se constata é que não há aglomeração de bairros na mesma região que concentre um número de empregos suficiente para caracterizar a cidade como monocêntrica. Há entre esses bairros alto-alto outros classificados como baixo-alto, e é provável que esse intervalo entre eles caracterize a cidade como policêntrica.

Aqui, para o índice global de Moran, se chega não ao limite da técnica, já que coeficiente de Moran pode ser utilizado em quantos polígonos forem necessários, mas sim das ferramentas disponíveis para a presente pesquisa, já que a escala do bairro é a mais detalhada entre as fontes oficiais. Uma análise mais apurada envolveria verificar dentro dos próprios bairros as localidades que concentrariam os empregos, no entanto essa informação não foi encontrada na presente pesquisa.



#### 4.2.3 A Rede de Metrô Proposta para o Ano de 1990

Definidas as formas projetadas para a cidade em relação à população e ao emprego, cabe agora verificar a função da rede projetada. Esse processo será feito com base no método de caracterização de Derrible (2010). Antes da aplicação dos cálculos será verificado como o grupo de estudos da época justificou a implementação de uma rede metroviária para a cidade.

##### *4.2.3.1 A Justificativa para a implantação de uma rede metroviária*

Com as prognoses realizadas, o grupo de estudos concluiu pela necessidade de construção de uma rede de metrô para a cidade. A visão dos planejadores é resumida em um tópico no qual projeta-se a cidade do Rio de Janeiro sem uma rede metroviária, discriminando em quais aspectos cresceria, decresceria ou se manteria estável.

Projetava-se um aumento em progressão geométrica da população, do número de passageiros, de carros particulares, domicílios, empregos e do fluxo diário de ônibus. Em progressão aritmética cresceriam as obras públicas de tráfego, as áreas de pistas e o número de vias públicas.

As vagas para estacionamento, os cruzamentos de ruas e os canais de tráfego no Centro permaneceriam constantes ou diminuiriam. Decresceriam em progressão geométrica a velocidade média dos ônibus, prejudicando o transporte nas horas de pico de tráfego, levando ao congestionamento progressivo durante algumas horas do dia, ao ponto da área central se tornar intransitável. Esse decréscimo na velocidade do ônibus seria um incentivo para que a população adquirisse mais carros particulares, aumentando os congestionamentos, diminuindo ainda mais a velocidade dos ônibus e dos próprios carros, acarretando a necessidade de restrição da circulação dos carros em alguns horários.

Como consequência econômica e urbanística, temia-se o colapso do tráfego na área central do Rio de Janeiro, prejudicando o acesso de diversos cidadãos aos seus postos de trabalho. Isso resultaria na diminuição do fluxo para o bairro do Centro, reverberando na economia local. Com isso cresceriam os subcentros, com aumento em número e importância de estabelecimentos comerciais, escolas, hospitais, entre outros. Esse deslocamento do centro de gravidade econômico da área central para os subcentros seria negativo, já que os subcentros jamais seriam capazes de substituir a área central, pois a vida urbana se desenvolvia através da concentração das atividades. Considerava-se a centralização das atividades como uma “lei de crescimento”.

*“A centralização- a verdadeira lei do crescimento para qualquer cidade- levará a cidade a dissolução, se o tráfego não evoluir com ela” (METRÔ RIO, 2010, p.168).*

Esta frase exprime muito sobre o planejamento do desenho do metrô, pois não só reflete a centralização de empregos esperada, como parece reforçar que este é o modelo de cidade que deve ser preservado.

O metrô era, portanto, a solução para a crise do tráfego na época, assim como no futuro. Era considerado imperativo possuir um meio de transporte de massa, que não dependesse do tráfego de superfície, rápido, regular e que, onde necessário, subterrâneo. Para os planejadores era desejável que o metrô substituísse todo o tráfego coletivo de superfície da área central. Além disso, o metrô teria a função de ligar o centro às demais áreas já desenvolvidas da cidade, assim como contribuir para a expansão de novos espaços residenciais e industriais.

A forma da cidade não é o único critério que influenciou a proposta da rede de metrô para a cidade do Rio de Janeiro para o ano de 1990. Diversos elementos fundamentais foram levados em conta, como a matriz de viagens, no entanto, sem desconsiderá-los como fatores determinantes, o presente capítulo irá explorar a relação entre as formas da cidade e a rede metroviária projetada para atendê-la.

Outra questão levantada era da compatibilidade entre as capacidades técnicas-econômicas e as necessidades de tráfego: *“Muitas linhas de reduzida capacidade de desempenho exigem maiores investimentos que poucas linhas de grande capacidade de desempenho” (METRÔ RIO, 2010, p.169).*

Essa afirmação é importante e impacta diretamente no tipo de desenho de rede proposto. Segundo Derrible (2010), menos linhas pode significar redes mais extensas, que criam mais acessibilidade dos subúrbios para a área central. O discurso vai sendo construído baseado na importância de levar o trabalhador à área central cidade, em prejuízo à conectividade entre bairros.

Entendia-se que na zona Sul a grande concentração demográfica e de construções em faixas estreitas, favorecia a vazão do tráfego em uma única linha. Na zona Norte, apesar da menor densidade demográfica, a opinião foi a mesma. Nesta zona o metrô deveria penetrar entre as linhas suburbanas de trem, mas somente como meio de transporte complementar, e por isso com número reduzido de linhas.

#### 4.2.3.2 As redes propostas

O grupo de estudos projetou duas redes: Projeto I, também chamado de Linha Prioritária, que contemplava uma área menor e que deveria ser implantado com urgência, já em 1975. O Projeto II, que foi subdividido em II A e II B, este sim, a linha completa para o ano de 1990.

Para a Linha Prioritária foram propostas 22 estações com extensão total de 18.037 km, com distância média entre elas de 0,860 km. A região da Linha Prioritária deveria abranger os bairros de: Ipanema, Copacabana, Botafogo, Laranjeiras, Flamengo, Catete, Santa Teresa, Centro( no planejamento o bairro do Centro foi dividido em Candelária, Norte-Sul, Pedro II, Lapa), Gamboa, Mangue, Rio Comprido, Maracanã, São Cristóvão, Tijuca, Riachuelo, Vila Isabel, Andaraí, Grajaú, e Engenho Novo. Essas localidades abrangeriam uma área de 83,6 km<sup>2</sup> (8360 ha), representando 7,1% da área do Estado da Guanabara e 62% da microárea. Alguns bairros citados tiveram seus nomes modificados ao longo dos anos, mas basicamente a linha atenderia parcialmente as zonas sul, central e norte.

Havia previsão de uso de carros por parte dos moradores do subúrbio para atingir as estações de metrô, transformado o usuário do transporte individual em coletivo. Para tanto, foram previstos estacionamentos próximos, no sistema “*Park and Ride*”.

Foi previsto entre os anos de 1968 e 1975 crescimento demográfico da cidade em 26% e um aumento do número de carros particulares na ordem de 76%. Assim, algumas preocupações sobre a expansão da cidade e a política habitacional acabavam envolvendo o planejamento do metrô, como nos trechos a seguir:

*Um transporte coletivo moderno e rápido, como é sem dúvida, o metrô, deveria interligar o núcleo central do Rio de Janeiro com as suas regiões econômicas periféricas, de tal modo que seja possível desenvolver novas áreas de habitação e economia. (METRÔ RIO ,2010, p.199).*

*O prolongamento da “Linha Prioritária” além da Tijuca, visando a urbanização das áreas ainda desocupadas do vale da Tijuca, tem como finalidade principal a formação de um importante ponto de contato com a estrada de ferro suburbana do Méier, infletindo em seguida para sudoeste, a fim de atingir a Baixada de Jacarepaguá. Essa área oferece condições ideais para a tender à necessidade de maior expansão das zonas residenciais da cidade do Rio de Janeiro em virtude do crescimento da população. (METRÔ RIO,2010, p.210).*

As propostas que cercam o Projeto I, ou Linha Prioritária, são interessantes no que tange a visão dos planejadores sobre o modelo de cidade desejável dentro das possibilidades econômicas e técnicas da época. No entanto, a análise do desenho da rede se dará sobre a proposta completa, contemplada pelos Projetos II A e II B.

Com a implantação da rede total já se previa o fim das barcas entre Rio e Niterói. Há o reforço do ajustamento da rede à região socioeconômica, cujo centro é a cidade do Rio de Janeiro. O desenvolvimento da rede deveria ser feito até 1990, tendo em vista as linhas de ferro já existentes. Já se considerava a baixada de Jacarepaguá com uma reserva urbanizável.

Para a Linha 1, o trajeto sai da zona sul em Ipanema, passa pelo Centro, Tijuca e termina em Jacarepaguá. Entre Ipanema e Tijuca consta a Linha Prioritária.

Para a Linha 2 foi determinado o seguinte trajeto: Niterói em direção ao Rio de Janeiro (atravessando a Baía de Guanabara), cortando o centro da cidade em direção à Pavuna, ao norte. Cogitava-se um prolongamento dessa linha ao norte, além da Pavuna, devido ao desenvolvimento de indústrias nos municípios vizinhos.

Ainda foi levantada a hipótese de uma terceira linha entre as zonas oeste e norte, com o intuito de facilitar a comunicação entre as zonas industriais(norte) e as novas áreas de urbanização(oeste). Uma terceira linhas seria implantada após 1990 e seria uma extensão da Linha 1, onde a estação de Jacarepaguá seria o ponto de retorno entre as duas linhas.

As extensões das duas linhas, que foram efetivamente planejadas, medidas entre o centro e suas estações terminais, são:

Extensão das linhas e número de estações		
Linha	Extensão (km)	Estações
1	37,077	33
2	29,790	22

Tabela 4.1: Dados básicos da rede planejada. Adaptado de Metrô Rio (2010, p. 213).

A ideia era que, mais do que promover a mobilidade, o metrô deveria auxiliar no desenvolvimento urbano. Falava-se em estabelecer ligação com “zona industrial de desenvolvimento”, assim como urbanizar áreas da zona oeste.

Previsão de construção do projeto completo era de 20 anos. Para a linha prioritária o prazo seria menor devido à sua urgência. A capacidade de desempenho prática da rede IIA seria ultrapassada em vários pontos, chegando a 130 mil passageiros acima do limite no trecho entre São Cristóvão e Maracanã. Por esse motivo a escolha dos planejadores foi pela rede IIB, que se distingue da IIA pela ausência do trecho Méier- Mangueira, bem como pela alteração decorrente das linhas 1 e 2. Foi admitido que, para a rede completa,

os efeitos urbanísticos não foram tão estudados quanto para a Linha Prioritária, sendo baseados em “*premissas rudimentares*”. (METRÔ RIO, 2010, p.213).

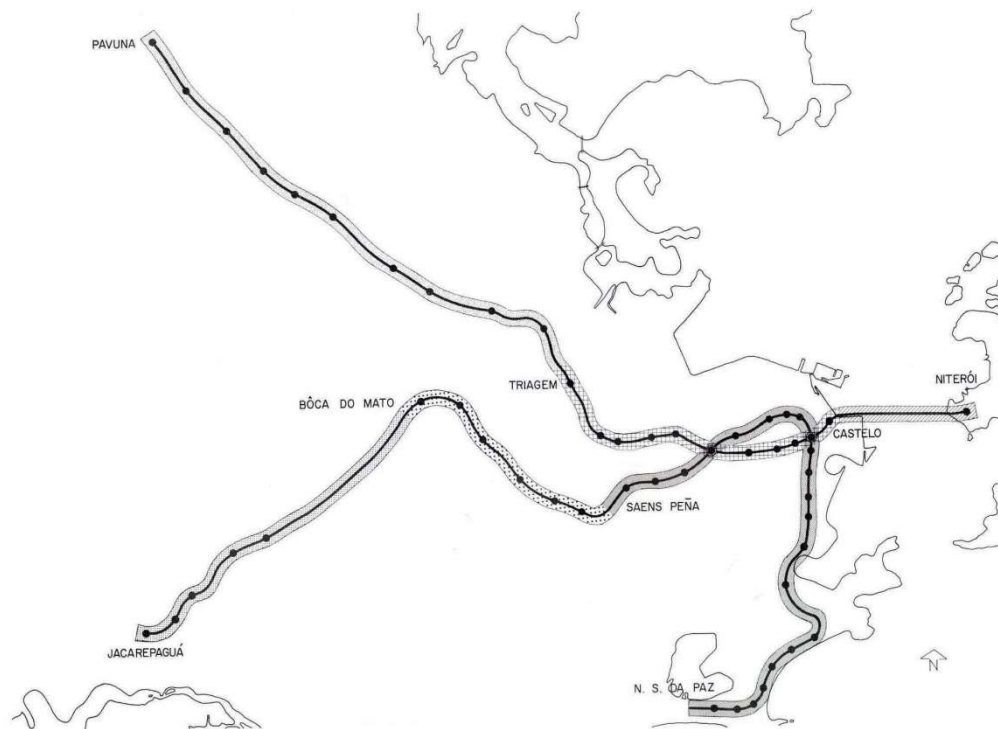


Figura 4.18: Desenho da rede metroviária projetada para o ano de 1990. Adaptado de Metrô Rio (2010, p.215).

Previa-se que o metrô atenderia diretamente 2,2 milhões de trabalhadores, ou 54% de todos os empregos na indústria, comércio e serviços na macroárea. Além disso, também seriam servidos os usuários que tivessem o cotidiano que envolvesse atividades escolares, bancárias ou hospitalares. Contando apenas com dados da época, 79% dos alunos da microárea poderiam atingir a escola somente utilizando o metrô. A faixa de influência (cerca de 600m de raio para a área central) atingiria 90% dos bancos e 69% dos hospitais.

#### 4.2.3.3 A análise da rede planejada através das características Estado, Forma e Estrutura

O método de classificação de Derrible (2010) será aplicado aos dados disponíveis para a rede IIB, projetada pelo grupo de estudos. A rede será comparada com as já expostas por Derrible em seus estudos, cujos dados estão disponíveis nos apêndices V e VI. Isso permite realizar a comparação das discrepâncias entre o planejado e o realizado. Com isso pretende-se discutir como essa diferença se relaciona com a forma da cidade.

O grafo da rede planejada para 1990 é apresentada na figura 4.19. A visualização do grafo auxilia na compreensão dos dados que serão submetidos aos cálculos de cada característica da rede. A imagem revela que a rede possui quatro estações terminais e duas estações de transferência. As linhas 1 e 2 se cruzam duas vezes, o que aumenta o seu potencial de transferências. A linha 3 não foi incluída na análise pois não faz parte do projeto original, sendo apenas uma sugestão de ampliação. Sua inclusão também demandaria o cálculo da distância da linha e do espaço entre as estações, dados que não estavam disponíveis no momento da presente pesquisa. O mapa original com o projeto RioIIB está disponível no anexo XI.

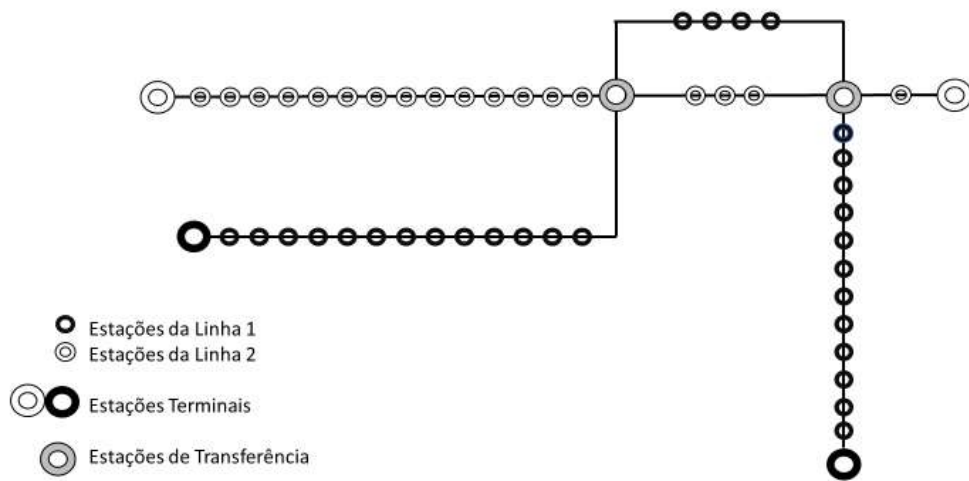


Figura 4.19: Desenho esquemático em forma de grafo da rede metroviária projetada para o ano de 1990.

Com base no grafo acima e nas informações fornecidas pelo livro do Metrô Rio (2010), foi construída uma tabela (4.2) com os dados necessários para a caracterização da rede projetada para 1990.

Dados da rede metroviária do Rio de Janeiro projetada para 1990	
Extensão da linha em Km	67
Estações	55
Linhas	2
Total de vértices	6
Vértices em estações finais	4
Vértices em estações de transferência	2
Número máximo de linhas em uma estação	2
Total de arestas	6
Arestas simples	6
Arestas múltiplas	0
Número máximo de transferências	1

Tabela 4.2: Dados da rede planejada como um grafo para a obtenção dos valores de seus indicadores.

Os resultados obtidos para os indicadores de cada característica estão expressos na tabela 4.3:

Valores dos indicadores para Estado, Forma e Estrutura (1990)						
Estado		Forma		Estrutura		
$\beta$	$\gamma$	A(km)	S(Km)	Vtc	p	$\tau$
1	0,5	33,4	1,26	2	1	2

Tabela 4.3: Dados da rede planejada para o cálculo de suas características.

A partir dessas informações pretende-se caracterizar a rede proposta pelo grupo de estudos.

#### 4.2.3.3.1 Estado da rede planejada

Em relação ao seu “estado”, a rede proposta pelo grupo de estudos está na primeira fase de desenvolvimento, sendo considerada de baixa complexidade, com uma fraca relação entre  $\beta$  e  $\gamma$ . Isso se deve ao número baixo de estações finais e de transferência, assim como o baixo aproveitamento do potencial de arestas (caminhos) entre as estações. Essas são indicações de redes de pequena extensão.

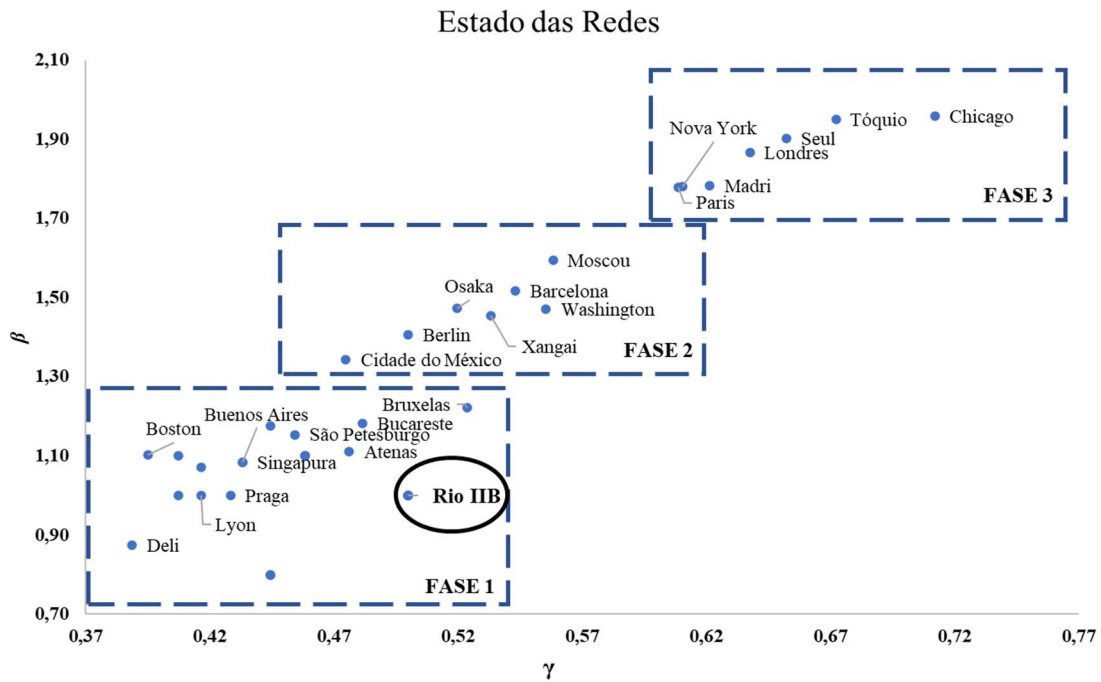


Figura 4.20: Classificação da característica “estado” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO IIB) projetada para o ano de 1990. Baseado em Derrible (2010, p.73).

#### 4.2.3.3.2 Forma da rede planejada

Em relação à característica forma, a rede se apresenta com a cobertura voltada para acessibilidade regional. Isso indica uma grande extensão média das linhas diante do número de estações, constituindo um tipo de forma que favorece a conexão entre áreas periféricas e o centro de negócios da cidade. Nesse caso, a conexão é preterida.

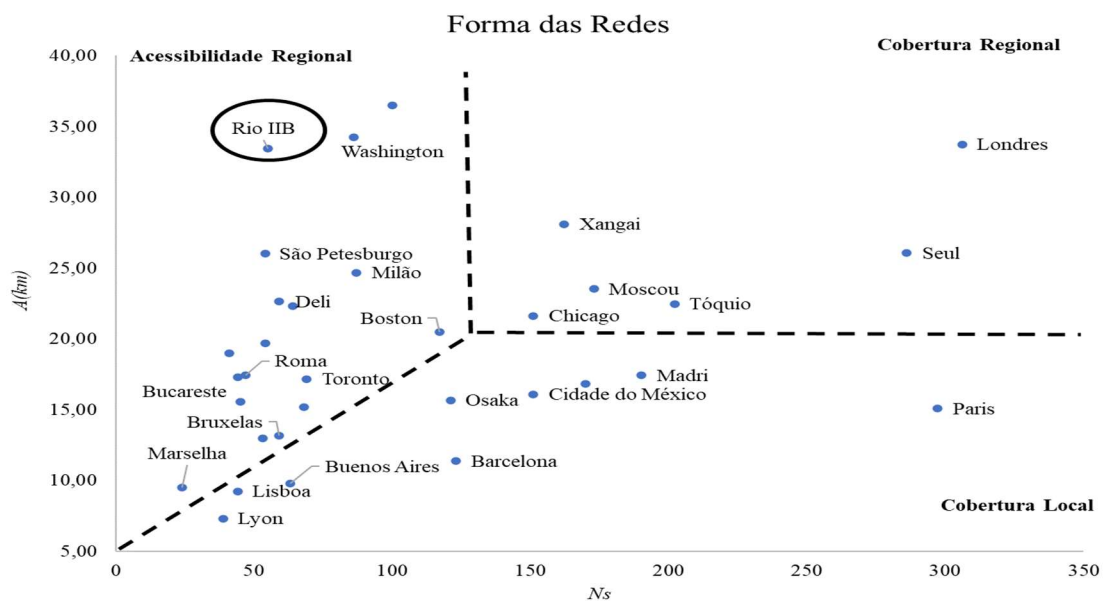


Figura 4.21: Classificação da característica “forma” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO II B) projetada para o ano de 1990. Baseado em Derrible (2010, p.75).



#### 4.2.3.3 Estrutura da rede planejada

No que tange a estrutura, a rede se concentra na conectividade, ou seja, favorece a conexão entre linhas. Essa classificação é resultado do número reduzido de linhas, que impactam no cálculo da conectividade  $\rho$ . Ou seja, ainda que o número de transferência seja pequeno, elas são significativas perante o restrito número de linhas.

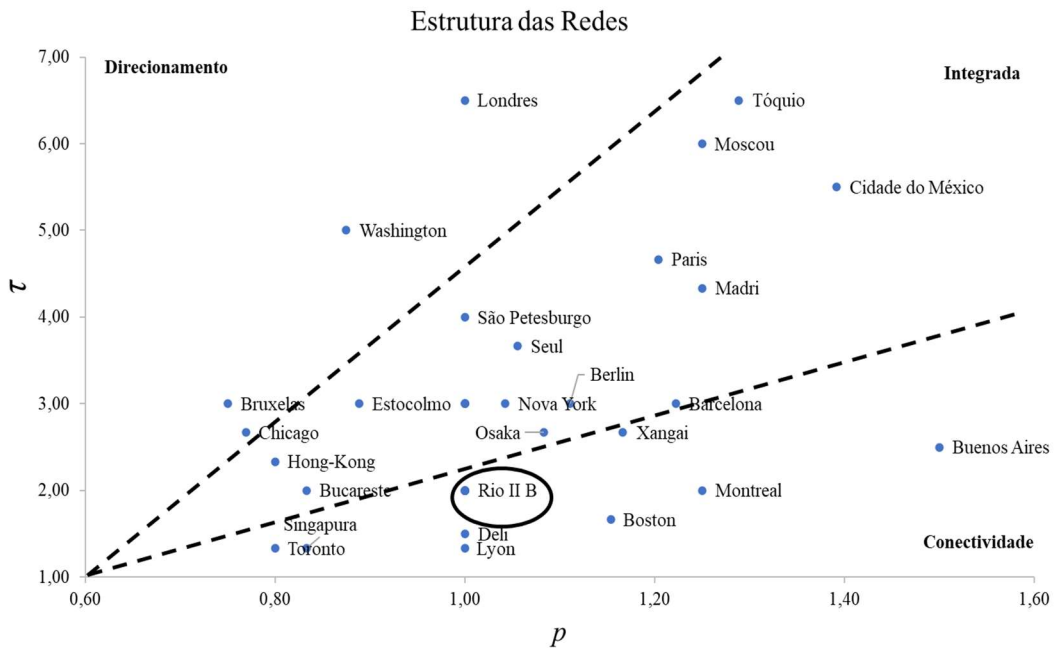


Figura 4.22: Classificação da característica “estrutura” da rede metroviária do Rio de Janeiro (RIO II B) projetada para o ano de 1990. Baseado em Derrible (2010, p.79).

#### 4.2.4 A caracterização da rede planejada

A rede proposta pelo grupo de estudos para o ano 1990 apresenta-se pouco desenvolvida, ainda em fase incipiente; voltada para a ligação entre o centro de negócios da cidade e áreas mais afastadas dele, porém com uma estrutura que favorece a conectividade das linhas.

Essas características são compatíveis com a visão de desenvolvimento urbano dos planejadores, que consideravam a centralização das atividades como vital para o desenvolvimento das cidades. A forma e a estrutura da rede representam esta visão, já que, ao mesmo tempo em que, no caso da forma, há uma predileção em conectar o CBD com outros subcentros e a periferia, a existência de dois pontos de transferência contribui para que mais estações de cada linha possam ser acessadas de mais pontos.

A rede segue o padrão observado por Derrible, no qual redes da primeira fase (estado), que possuem poucas linhas, mormente, possuem uma forma que favorece a

acessibilidade regional. À medida que a rede se desenvolve, ela tende se tornar mais integrada e assumir uma cobertura regional.

#### 4.2.5 A Relação entre as formas da cidade e o desenho da rede planejada.

A proposta nessa parte da pesquisa é compreender a relação entre a forma da cidade em relação aos empregos, à habitação e a rede proposta para o ano de 1990. As cidades, salvo raras exceções, possuem fluxo de pessoas predominantemente por motivo de trabalho. Logo, é fundamental que as propostas de mobilidade atendam este tipo de demanda.

Partindo do princípio que o movimento diário de passageiros mais comum seria o casa-trabalho-casa, espera-se que a rede de metrô proposta supra tal necessidade de forma independente de outras modalidades de transporte sempre da melhor forma possível, já que uma das finalidades deste modo de transporte é mitigar o uso dos modos individuais. Logo, presume-se que a rede deve ligar a residência do passageiro ao seu posto de trabalho com o menor grau de impedância possível. Isso implica possuir um desenho que seja compatível tanto com a distribuição da população como dos empregos.

O primeiro passo para verificar a compatibilidade da rede proposta com a previsão de distribuição da população e emprego, é saber onde a primeira reside. De acordo com o método de autocorrelação espacial, com a aplicação do índice de Moran (global e local), com resultado global de 0,091; o que se configura é uma cidade com formato policêntrico para essa variável.

Essa população, concentrada em diversos pontos, procuraria meios de chegar até os postos de trabalho. Quando aplicado o método de autocorrelação espacial aos empregos encontrou-se o resultado de 0,038. Isso relevou que na projeção do grupo de estudos, que a distribuição dos empregos assumiria uma forma policêntrica, ainda que um dos bairros (Centro) concentrasse quase 30% dos postos de trabalho.

O cenário vislumbrado pelo grupo de estudos, foi, portanto, uma cidade na qual seus habitantes e os postos de trabalho se encontrariam concentrados em alguns bairros. O metrô, do qual se espera (a princípio) protagonismo no transporte em massa, deveria, em tese, atender à essas formas de cidade, de modo que seu traçado não se tornasse uma impedância.

Ao considerar a classificação de Derrible para as características da rede, presume-se que a malha metroviária deveria possuir um longo alcance, ou seja, que ela deveria conseguir atingir áreas que não só o centro, mas aquelas que possuem concentração de

população e emprego. Seria assim cumprida a função de conectar a população ao local de trabalho. Isso não ocorre com a rede proposta, que se localiza na primeira fase de desenvolvimento da característica “estado”, sendo, portanto, uma rede incipiente, pouco desenvolvida, não atingindo diversas localidades do território, obrigando àqueles que desejam alcançá-la a utilizar outros meios de transporte, gerando uma impedância.

Sua estrutura, no entanto, criaria uma situação na qual, apesar da forma estar voltada para acessibilidade regional, proporcionaria, através de dois cruzamentos, conectividade entre as linhas. Ambos os cruzamentos, que proporcionam a transferência entre as linhas, se encontram na área central da cidade, e é possível, ou até provável, que isso tenha sido arquitetado, não somente por uma questão técnica, mas, num sentido mais amplo, pela visão de desenvolvimento urbano dos planejadores.

A premissa de que o desenvolvimento urbano exige a concentração de atividades a partir de uma única área, pode explicar, ao menos em parte (sem levar em conta questões econômicas e técnicas) a ausência de proposta de outros caminhos(arestas) entre as diferentes zonas da cidade. É possível que isso pudesse gerar um efeito sobre a centralização da cidade.

As estações das linhas 1 e 2 não se conectam a não ser pela área central. Isso contribuiria para mitigar processos de crescimento significativo dos subcentros. Uma ligação direta entre as zonas norte, sul ou oeste da cidade poderia estimular investimentos e atrair empreendimentos que envolvessem essas zonas, e que, por consequência, preterissem o CBD, afetando o centro de gravidade de desenvolvimento da cidade. Há de supor que o aumento da conectividade da rede, com mais estações de transferências, e até mesmo seu maior desenvolvimento, com mais estações finais, fosse visto como uma forma de estímulo ao crescimento de subcentros.

O que se verifica é que, ainda que em fase incipiente, a rede, a partir de sua forma, não teria o potencial de colocar o modo metroviário como protagonista da mobilidade da cidade no ano de 1990. Entende-se que é possível supor que essa situação pode não resultar de uma falha de planejamento, mas sim pela necessidade de respeitar a lei de desenvolvimento pautada na centralização de atividades.

### **4.3 A cidade e a rede no século XXI**

Assim como realizado com a rede, a habitação e os empregos nas projeções para o ano de 1990, este subcapítulo é dedicado à caracterização da rede metroviária da cidade

do Rio de Janeiro e de seu uso do solo no século XXI. Utiliza-se essa escala de tempo pois os dados disponíveis variam em sua disponibilidade. Para a habitação utiliza-se os dados disponibilizados pela prefeitura, que se baseia no censo de 2010. No entanto, há uma contagem própria para empregos mais recente (2017), assim como os dados da rede metroviária, que não se alterou desde 2016, ao menos em número de linhas e estações.

O Rio de Janeiro, assim como o restante do país, teve seu momento de acelerada urbanização entre meados e fim do século XX, não apresentando mais crescimento significativo capaz de criar alterações abruptas no ambiente das cidades. Segundo dados da própria prefeitura, a população estimada para 2020 é de 6.661.359, o que representa um aumento de aproximadamente 5% em relação ao último censo, em 2010, que contabilizou 6.320.446 habitantes. No entanto, essa previsão não discrimina os habitantes por bairros. Assim, frente ao crescimento que não foi tão expressivo como em épocas anteriores, sendo incapaz de impactar de forma decisiva nos cálculos, optou-se por manter os dados de 2010.

A figura 4.23 apresenta a atual distribuição das estações metroviárias da cidade e a divisão administrativa dos bairros. A partir dessa atual configuração propõe-se a análise das formas da cidade e da função da rede metroviária.

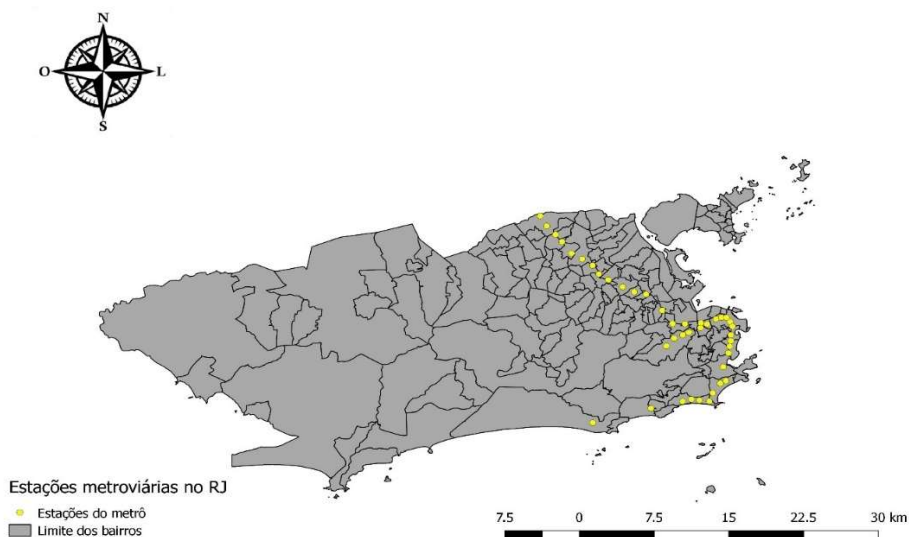


Figura 4.23: Mapa da divisão por bairros da cidade do Rio de Janeiro e da localização das estações de metrô no ano de 2020. Elaboração própria. Baseado em dados do Instituto Pereira Passos (2020).

#### 4.3.1 A distribuição da população

Com base nos dados do portal Data.Rio, do Instituto Pereira Passos, que se apoia no censo nacional de 2010, foram coletados os dados de população para cada bairro da cidade do Rio de Janeiro, que estão disponíveis apêndice III desta pesquisa.

Assim como realizado com a população prevista para o ano de 1990, foram realizados dois testes na aplicação do índice de Moran, sendo escolhido aquele que tivesse o melhor resultado no teste de pseudosignificância. Mais uma vez pelo critério de distância, foram testadas as métricas euclidiana e de arco de distância. A primeira, após uma permutação de 9.999, apresentou p-valor= 0,001, enquanto a segunda p-valor= 0,48. Assim, com confiança de 99,99%, foi escolhido o resultado da métrica euclidiana, que apresentou índice global de Moran igual à 0,095.

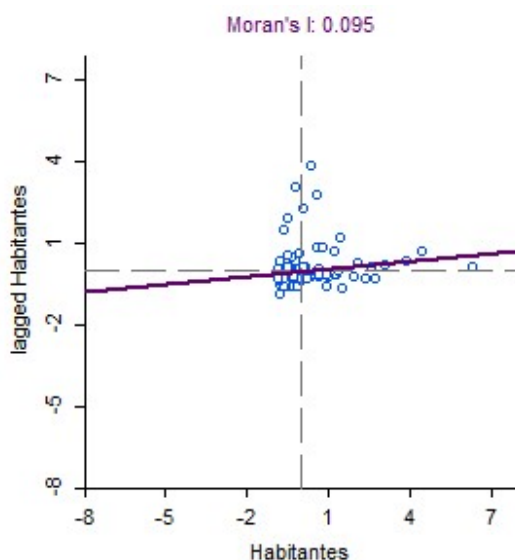


Figura 4.24: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010.

A aplicação do índice local de Moran reforça a observação do padrão policêntrico encontrado pelo resultado global. Utilizando 9.999 permutações e filtro de significância de 0,01; dos 162 polígonos analisados, apenas 18 passaram no teste de significância, o que indica que não há a formação de aglomeração de bairros com os mesmos valores de atributos em quantidade suficiente para indicar uma concentração e conseqüentemente aproximar a forma da cidade do monocentrismo, ou um espalhamento acentuado o suficiente para tornar seu perfil disperso.

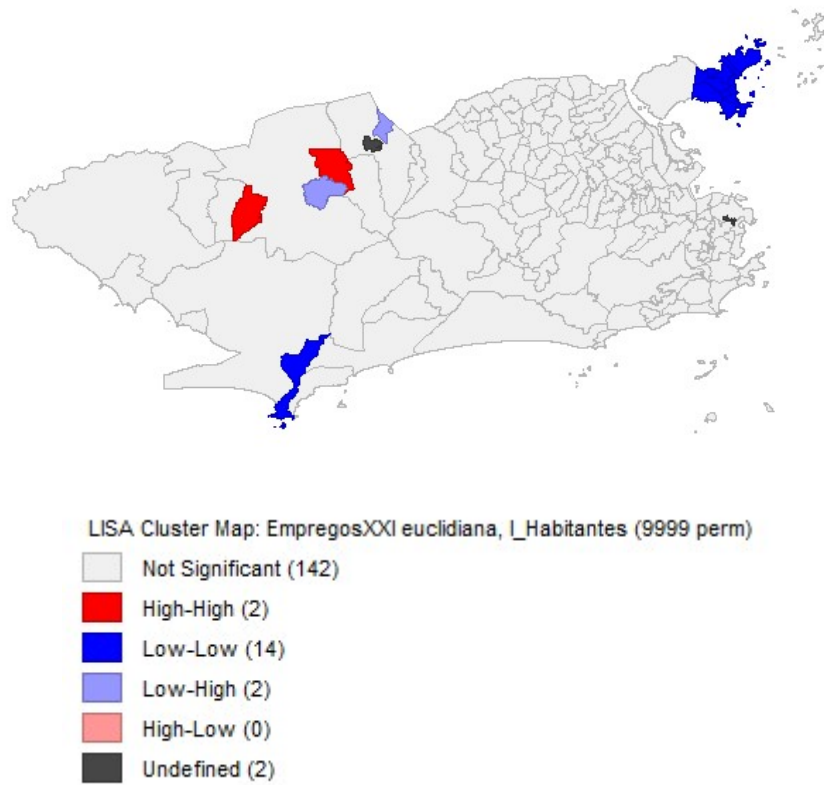


Figura 4.25: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010.

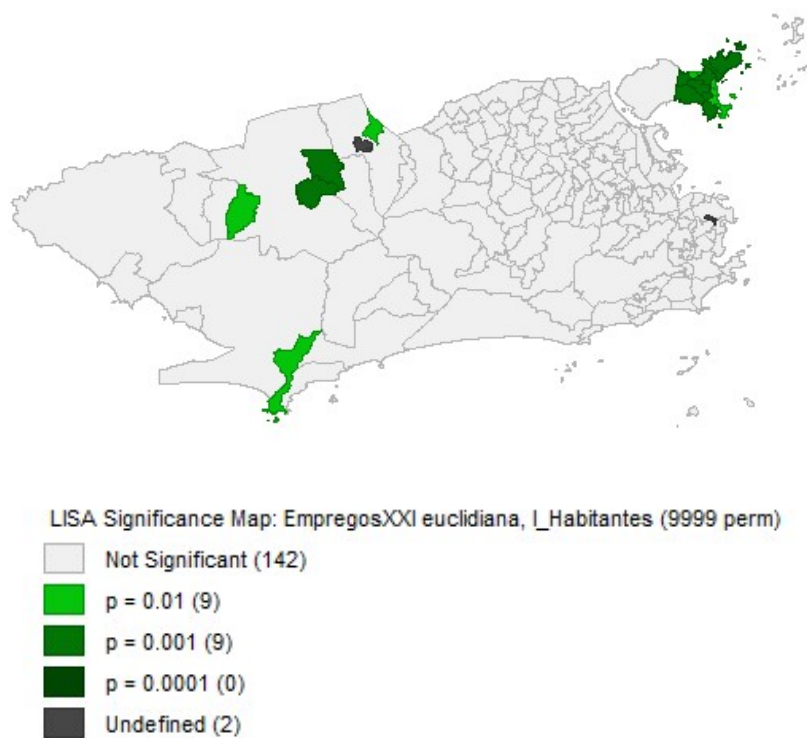


Figura 4.26: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição da população no ano de 2010.

#### 4.3.2 A distribuição dos empregos

Com base nos dados do Instituto Pereira Passos (2020), pela contagem de empregos para o ano de 2017, foram coletados os dados de população para cada bairro da cidade do Rio de Janeiro, que estão disponíveis no apêndice IV desta pesquisa.

No teste de pseudosignificância a métrica euclidiana mostrou-se mais confiável que o arco de distância, obtendo p-valor = 0,0234. O arco de distância apresentou p-valor = 0,14. Com praticamente 98% de confiança da métrica euclidiana, o índice global de Moran para a distribuição de empregos na cidade obteve resultado de 0,036. Isso coloca a cidade como policêntrica em relação à essa variável.

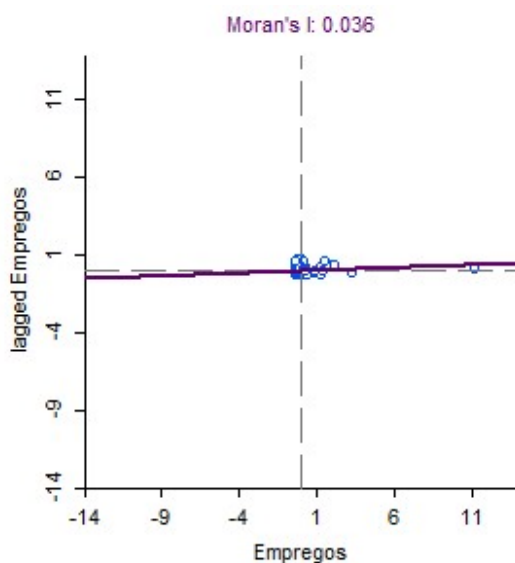


Figura 4.27: Aplicação do índice global de Moran aos dados de distribuição de empregos no ano de 2017.

O gráfico de espalhamento do resultado obtido através da aplicação do índice global de Moran, mostra uma linha de tendência ascendente, com inclinação quase sobrepondo o eixo horizontal. Isso indica que apesar de haver autocorrelação espacial positiva, ela é fraca, porém, não é nula. A maioria dos bairros (polígonos) estão concentrados na área central do gráfico, revelando que no território analisado, não é comum que ocorra um padrão de distribuição de empregos entre bairros, seja alto-alto, baixo-baixo, alto-baixo ou baixo-alto.

Para maiores detalhes, foi aplicado o índice local de Moran, como 9.999 permutações e filtro de confiança de 0,01. Destaca-se nos mapas gerados (aglomeração e significância) o número de polígonos que se apresentaram significantes após a utilização dos filtros, sendo superior ao encontrado quando o procedimento foi realizado com a

variável população. Para os empregos, foram registradas 49 observações de bairros com significância superior a 99%. Os que mais se aproximam de 100% estão aglomerados na área central da cidade, o que sugere uma verificação mais atenciosa do caso.

No mapa de aglomeração, é possível verificar que na área central da cidade há dois tipos de polígonos: alto-alto e baixo-alto. A concentração de polígonos alto-alto chama atenção, pois só há bairros desse tipo nessa área, o que poderia sugerir algum grau de monocentrismo para a cidade.

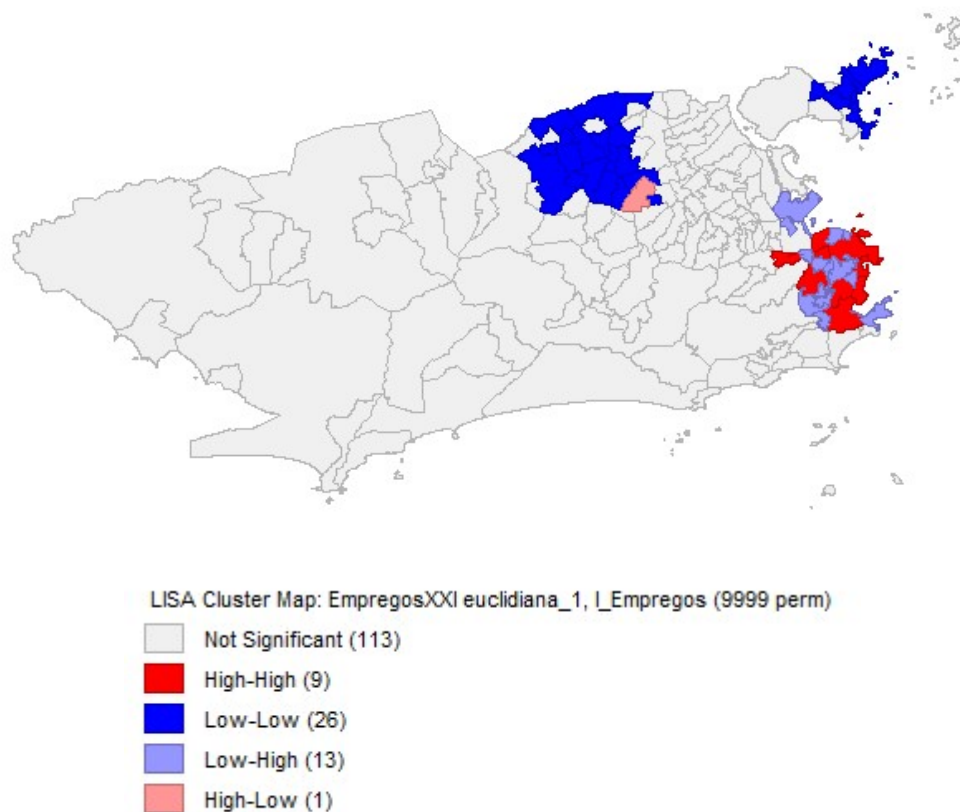


Figura 4.28: Mapa de aglomeração resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos para o ano de 2017.



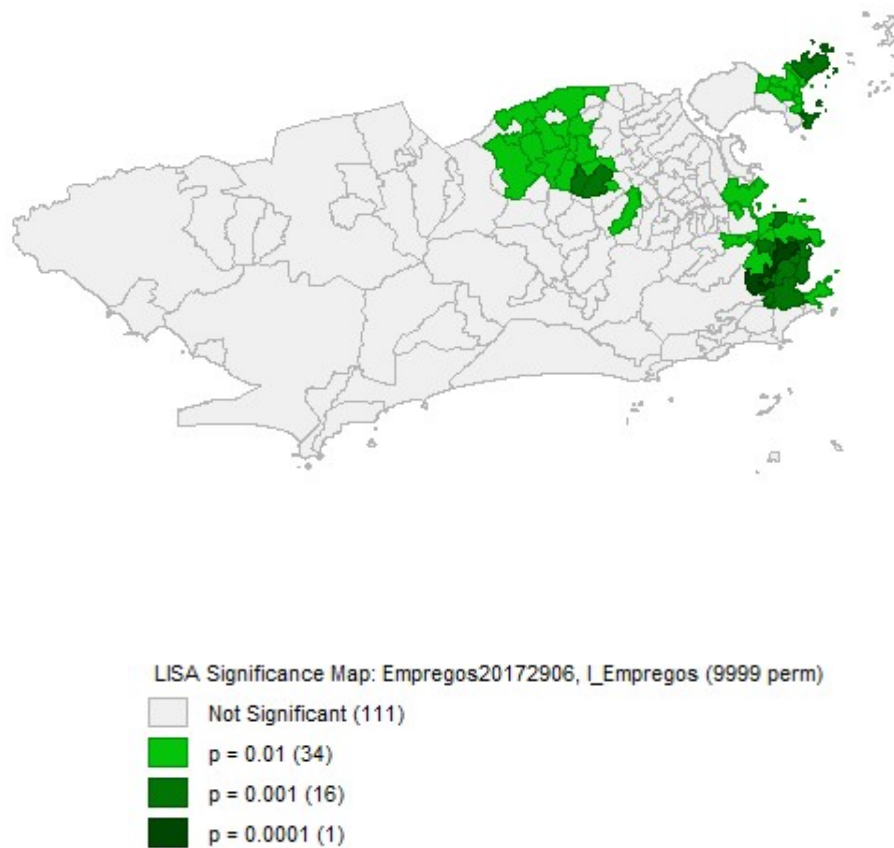


Figura 4.29: Mapa de significância resultante da aplicação do índice local de Moran aos dados de distribuição de empregos para o ano de 2017.

A princípio, pode se levantar a hipótese de que pode haver concentração de empregos entre esses bairros que seja tão expressiva, que revele a cidade como monocêntrica em relação aos empregos, o que negaria os resultados obtidos pelo índice global. Outra possibilidade é que apesar da concentração de empregos em tais bairros de fato ocorrer, não é suficiente para classificar a cidade como monocêntrica. Dessa forma muda-se a escala de análise, deixando o território da cidade como um todo e buscando verificar dentro desse grupo de bairros sua expressividade para a cidade.

O Total de empregos formais para o ano de 2017, segundo dados da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, é de 2.183.683. A distribuição entre os bairros é desigual, com destaque para o bairro do Centro, que era responsável por 494.825, ou 23% dos empregos formais. Os demais eram distribuídos de forma menos discrepante entre os demais bairros. As figuras 4.30 e 4.31 apresentam os bairros que possuem 2% ou mais do total de empregos formais da cidade.

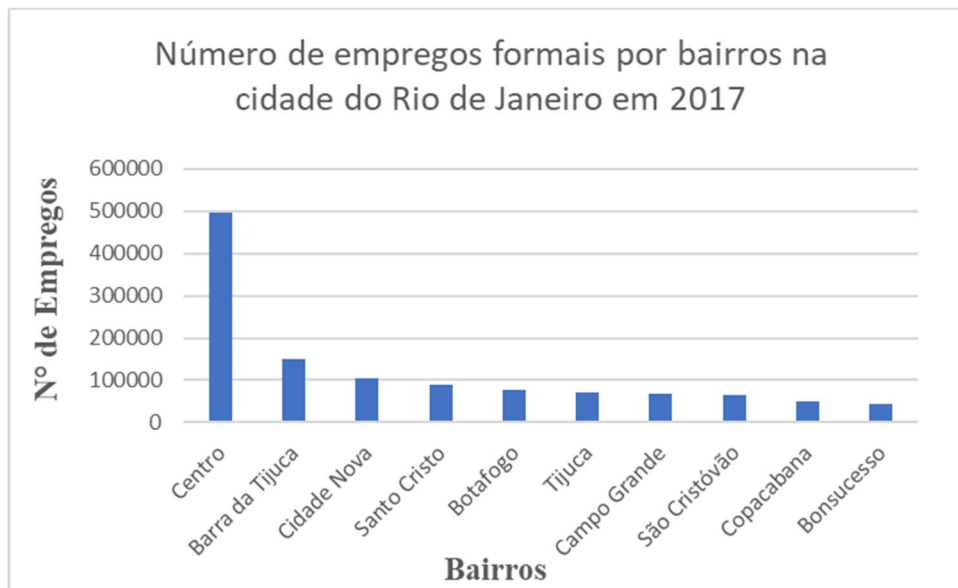


Figura 4.30: Número de empregados formais por bairros. São mostrados no gráfico os 10 bairros mais significativos

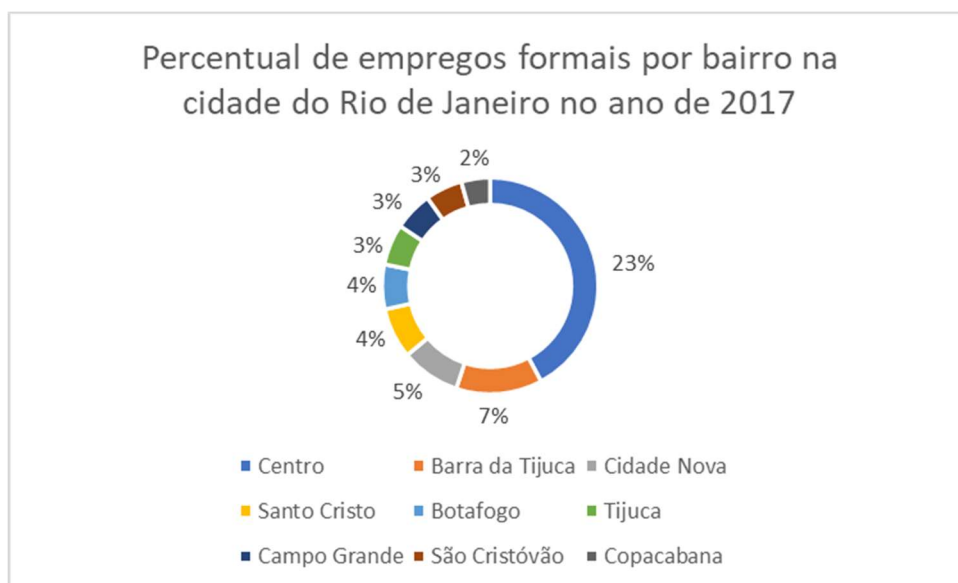


Figura 4.31: Percentual de empregados formais por bairros. São mostrados no gráfico os 9 bairros mais significativos

Se forem levados em conta os bairros com maior número de empregos formais localizados na região central (Centro, Cidade Nova e Santo Cristo) a concentração de empregos chega a 32%. A análise desses dados com os obtidos com a autocorrelação espacial deve ser feita de forma complementar e não concorrente, logo, busca-se compreender o quanto a concentração de um atributo pode influenciar na classificação da forma da cidade.

Dessa maneira entende-se que, ainda que haja uma concentração de empregos formais na área central da cidade do Rio de Janeiro, fato que não ocorre com a mesma dimensão em nenhuma outra área, não é suficientemente grande para que a cidade seja considerada monocêntrica. É possível que somente com valores bem superiores aos apresentados para a área central, seja possível chegar ao índice global de Moran igual ou maior a 0,13.

A aplicação do índice de Moran indicou que tanto a distribuição da população como dos empregos formais apresentam-se distribuídos de forma policêntrica segundo critérios baseados nos estudos de Tsai(2005). Ambos os atributos apresentaram valores globais do índice de Moran maiores que -0,01 e menores que 0,13.

A forma policêntrica, portanto, é dominante nos dois atributos estudados. Cabe verificar como o desenho da malha metroviária da cidade responde à essa configuração.

#### 4.3.3 A rede metroviária no século XXI

O método foi aplicado somando os dados da malha da cidade do Rio de Janeiro aos casos já explorados por Derrible(2010), a fim de que houvesse referências comparativas. Os dados para o cálculo foram baseados nas informações coletadas no site oficial da empresa Metrô Rio. Um mapa da rede está disponível no anexo VIII.

##### *4.3.3.1 A análise da rede executada através das características Estado, Forma e Estrutura*

Algumas adaptações ao modelo foram necessárias, pois no caso da rede estudada, a simples observação como um grafo trouxe distorção para a análise, como, por exemplo, o número de estações que permitem transferência de uma linha para outra.

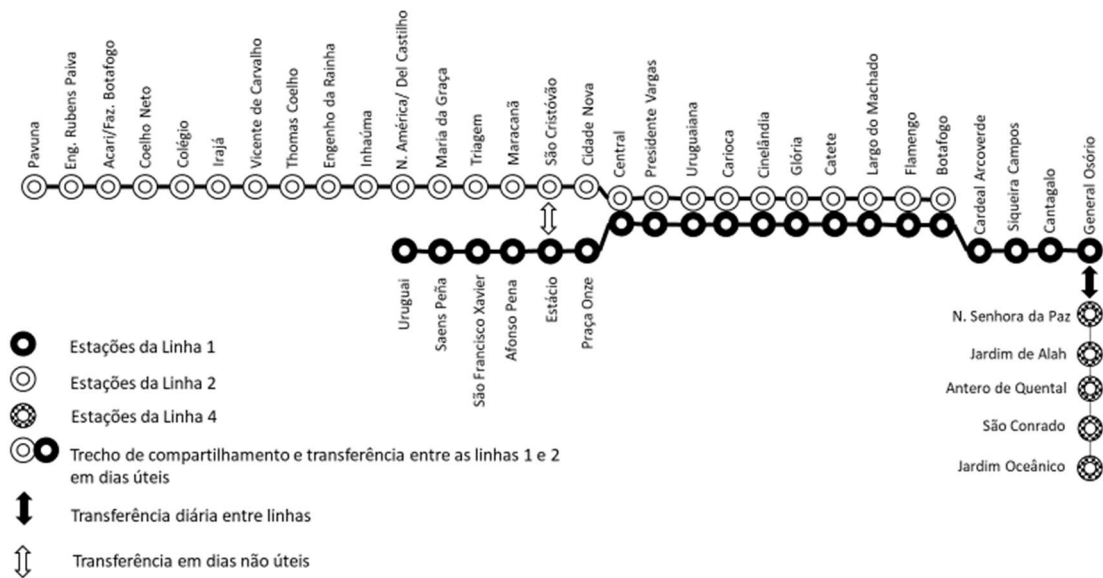


Figura 4.32: Desenho esquemático em forma de grafo da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020.

No grafo poderiam ser contadas dez estações que permitem a transferência entre linhas 1 e 2, mas na prática o usuário utiliza apenas uma delas para realizar essa mudança. Dessa forma, na prática, existe uma estação de transferência entre as linhas 1 e 2, e outra entre as linhas 1 e 4. Soma-se a isso a sazonalidade da disponibilidade da estação Estácio para transferências entre as linhas 1 e 2 apenas em dias não úteis. Caso essas informações fossem ignoradas, os cálculos seriam afetados, já que apenas os dados topológicos da rede seriam levados em conta.

Os dados relativos à malha da figura 4.32, considerados apenas os dias úteis, utilizados para a aplicação do método, estão expressos na tabela 4.4.

Dados da rede metroviária da cidade do Rio de Janeiro	
Extensão em km	57
Estações	41
Linhas	3
Total de Vértices	5
Vértices em estações finais	3
Vértices em estações de transferência	2
Número máximo de linhas em uma estação	2
Total de arestas	4
Arestas simples	3
Arestas múltiplas	1
Número máximo de transferências	2

Tabela 4.4: Dados da rede executada como um grafo para a obtenção dos valores de seus indicadores. Fonte: Metrô Rio.

Os resultados obtidos para os indicadores de cada característica estão expressos na tabela 4.5.

Valores dos indicadores para Estado, Forma e Estrutura						
Estado		Forma		Estrutura		
$\beta$	$\gamma$	A(km)	S(Km)	Vtc	p	$\tau$
0,80	0,44	19	1,39	2,0	0,5	1,5

Tabela 4.5: Dados da rede executada para o cálculo de suas características.

Através dos dados e indicadores obtidos para a rede da cidade do Rio de Janeiro, foram realizadas as análises de cada característica, e a rede plotada em gráficos juntamente com outras previamente estudadas por Derrible(2010).

#### 4.3.3.2. Estado da rede executada

Em relação ao seu estado, a rede da cidade do Rio de Janeiro é considerada de baixa complexidade, com uma relação fraca entre  $\beta$  e  $\gamma$ . Mas apesar de estar localizada na primeira fase, é possível perceber uma grande distância entre ela e as redes consideradas menos complexas no nível mundial.

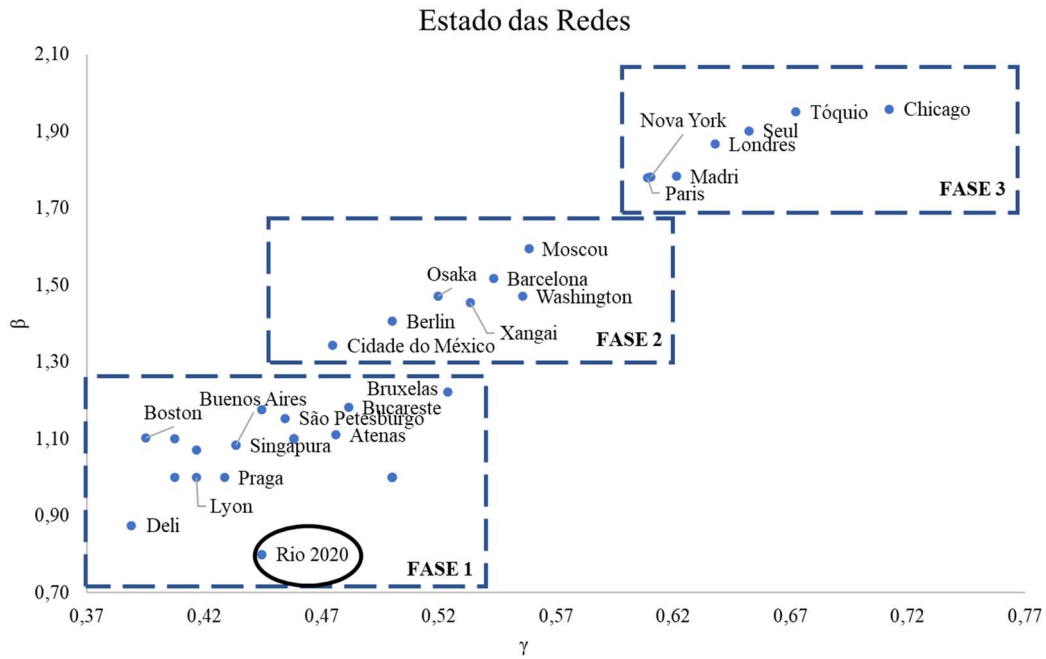


Figura 4.33: Classificação da característica “estado” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020. Baseado em Derrible (2010, p.73).

#### 4.3.3.3 Forma da rede executada

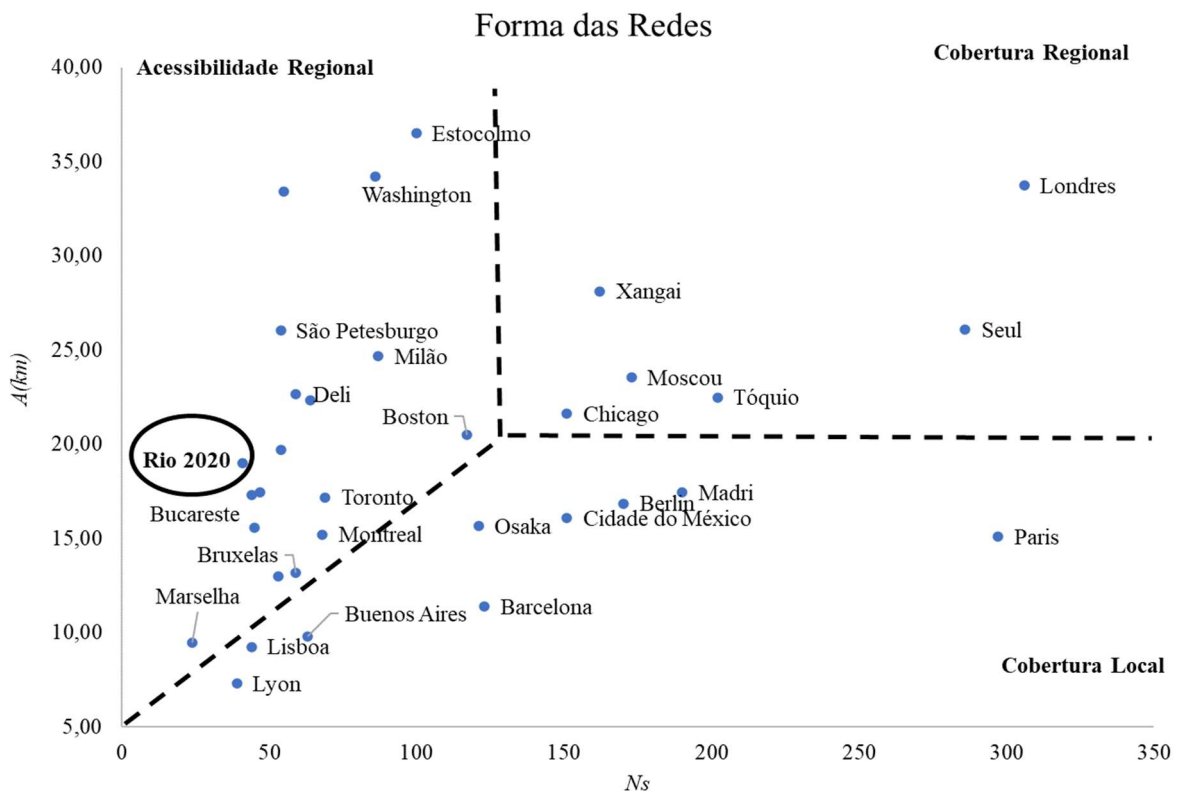


Figura 4.34: Classificação da característica “forma” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020. Baseado em Derrible(2010, p.75).

Em relação à característica forma, a rede se apresenta com uma cobertura voltada para acessibilidade regional, pertencendo ao grupo de malhas que possuem elevada extensão média das linhas em comparação ao número de estações, o que, segundo Derrible (2010), sugere foco em conectar os habitantes do subúrbio às áreas centrais da cidade, atuando como um sistema ferroviário. Aparentemente, há maior interesse nessa conexão do que na melhora da circulação dentro da cidade.

#### 4.3.3.4 Estrutura da rede executada

No que tange à estrutura, a rede se encontra voltada para o direcionamento rápido, ou seja, para uma conexão regional, apresentando poucas estações de transferência. Neste caso foram consideradas apenas uma das dez estações de transferência entre as linhas 1 e 2, já que a maioria cumpre o mesmo papel.

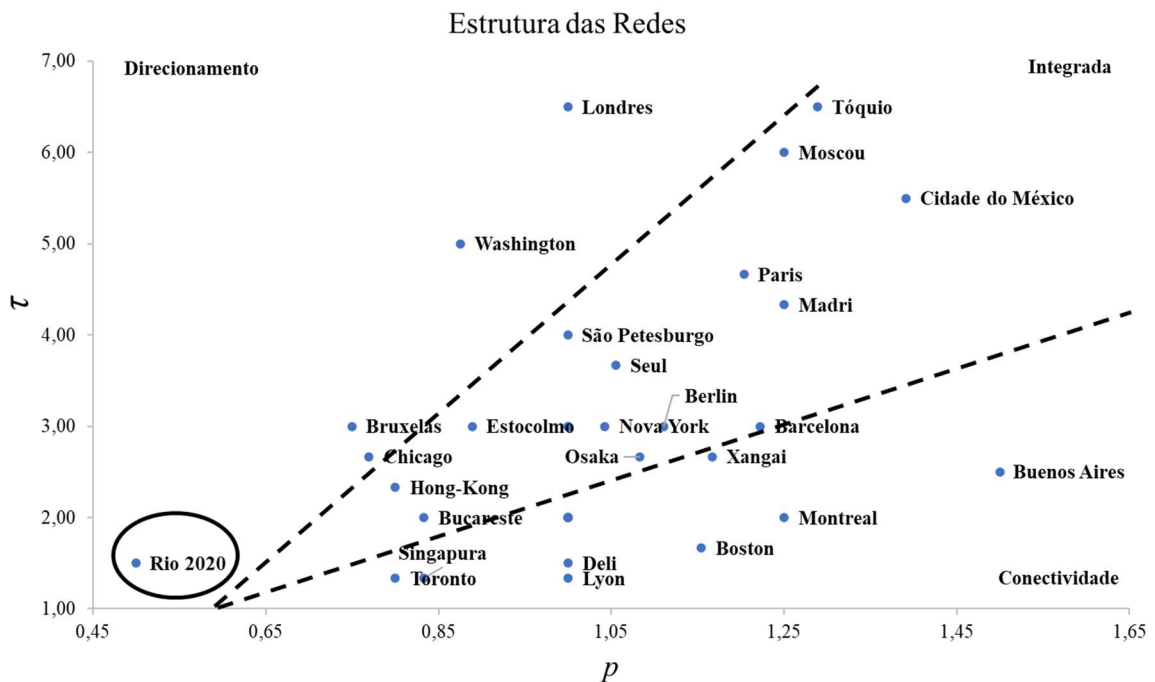


Figura 4.35: Classificação da característica “estrutura” da rede metroviária do Rio de Janeiro no ano de 2020. Baseado em Derrible (2010, p.79).

#### 4.3.4 A caracterização da rede executada

A rede metroviária presente em 2020 na cidade do Rio de Janeiro apresenta-se pouco desenvolvida, ainda em fase incipiente; voltada para a ligação entre o centro de negócios da cidade e áreas mais afastadas dele; e com estrutura orientada para ligações diretas, mais rápidas entre as estações.

Essas características são reforçadas como sua composição de sequência de estações, que na linha 2, por exemplo, praticamente forma uma linha reta no território até a estação terminal Pavuna. O desenho da rede favorece a conexão de duas diferentes áreas (zonas sul e norte) e diretamente para o centro da cidade, apenas recentemente estendendo esse acesso à zona oeste (estação Barra da Tijuca).

#### 4.3.5 A relação entre as formas da cidade e o desenho das redes.

Assim como realizado para a projeção para o ano de 1990, propõe-se agora refletir sobre a compatibilidade do desenho da rede com as formas da cidade para emprego e habitação.

Tanto para o emprego, como para a habitação a cidade se apresenta como policêntrica, de acordo com o índice global de Moran (0,038 para o emprego e 0,095 para a população). Logo, para que a rede metroviária possa solidarizar seus benefícios com usuários e não usuários, ela deve atingir a cidade em diversos pontos. No entanto, o que se percebe, pelas características analisadas é que a rede serviria melhor à uma cidade com ao menos uma das variáveis monocêntricas, já que seu desenho indica uma rápida ligação de áreas afastadas com o centro.

É importante verificar que seu desenvolvimento incipiente, expresso na característica “estado”, já é, de certa maneira, uma impedância ao usuário, no entanto, esse efeito negativo (ou a falta de um efeito positivo), poderia ser compensada pela concentração de população e/ou empregos na área percorrida pela rede, o que não ocorre, como evidencia o mapa de aglomeração do índice local de Moran, não indicado muitos polígonos classificados como alto-alto no percurso das linhas.

Sua característica “forma” poderia atender melhor à cidade caso se aproximasse de uma cobertura regional ao invés de uma acessibilidade regional. Uma cidade policêntrica demanda tanto mobilidade para sua área central como entre seus subcentros, o que não é favorecido pela rede metroviária do estudo de caso.

Por fim, sua característica “estrutura” traria mais benefícios caso assumisse a classificação de integrada ao invés de apenas favorecer o direcionamento do usuário. Como visto, suas diversas estações de transferência, na prática funcionam como duas, das quais só chegam a conectar duas linhas. Isso obriga o passageiro que deseja visitar outra zona da cidade a passar pelo centro, inevitavelmente. A obrigação de passar pela área central pode ser considerada uma impedância em uma cidade policêntrica para a habitação e para os postos de trabalho.



Portanto, ainda que o bairro do Centro concentre quase um quarto dos postos de trabalho, isso não é significativo o suficiente para tornar a cidade monocêntrica para essa variável, não sendo um fator que amenize a impedância da obrigatoriedade de passagem pela área central para a troca de zonas na cidade.

É importante reforçar que não é taxado na presente pesquisa que a baixa participação dessa rede metroviária na mobilidade da cidade é causada pela dissonância entre ela e as formas da cidade, mas sim que esse é um dos fatores que ajudam a explicar esse desempenho.

## **5 A ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS E SEMELHANÇAS ENTRE O PLANEJADO E O EXECUTADO PARA A REDE E O USO DO SOLO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

O presente capítulo propõe confrontar tanto as redes planejadas e executadas, como suas relações com as formas projetada e atual da cidade. Começando pelas redes, a comparação se dará através de suas características, e como a interação delas influencia a maneira como atuam na mobilidade da cidade. Em seguida será realizada a comparação entre as formas da cidade. A finalização deste capítulo explora a comparação das relações entre as redes (planejada e executada) e as formas das cidades (projetada e realizada).

É importante frisar que os dados obtidos não correspondem exatamente ao mesmos recortes temporais em função de sua disponibilidade, logo, o objetivo não é realizar uma comparação literal entre o que seriam a rede metroviária e a cidade em 1990 e o período da presente pesquisa, mas sim constatar o quão similares são e como isso pode ter afetado a participação da rede na mobilidade.

### **5.1 As redes planejada e executada**

A comparação das redes projetada para 1990 e executada até 2020, indicará não somente diferenças, mas também similaridades de suas características, que determinam suas funções, vantagens e desvantagens no papel da mobilidade. Isso permite compreender, a princípio, se a baixa participação direta na mobilidade urbana da rede atual é influenciada de alguma forma por se distanciar do projeto original.

Antes das características, é interessante verificar os elementos das redes (extensão das linhas, número de estações terminais e de transferência etc.), já que esses são determinantes para a sua caracterização. A extensão da rede planejada é quase 20% maior que a executada até então (57km em 2020 e 67km para 1990), e o número de estações quase 30% maior (41 em 2020 e 53 para 1990). O número de linhas é próximo, ainda que a linha 3 da rede executada funcione praticamente como uma extensão da linha 1. Assim também é com o número de estações de transferência, sendo duas para cada rede, lembrando que adaptações de cálculo foram feitas para a rede executada, pois diversas estações de transferência sequenciais possuíam o mesmo efeito para o passageiro.

Verifica-se, inicialmente, que as redes planejadas e executadas possuem elementos muito similares, e mesmo onde mais se distanciam (extensão da rede e número de estações), a diferença não chega a ser abrupta. Cabe a seguir comparar como a

distribuição desses elementos em cada rede influencia sua classificação e como isso as aproxima ou as distancia.

Em relação à característica “estado”, os indicadores  $\beta$  e  $\gamma$  são maiores na rede planejada (1 e 0,5 respectivamente) do que na executada (0,8 e 0,44). Isso, no entanto, ainda mantém ambas redes na fase inicial de desenvolvimento, com a rede planejada mais próxima da segunda fase. Pode-se considerar, portanto, que a diferença do desenvolvimento das redes não é relevante o suficiente para ser apontada como uma discrepância de grande impacto, já que as duas são pouco desenvolvidas.

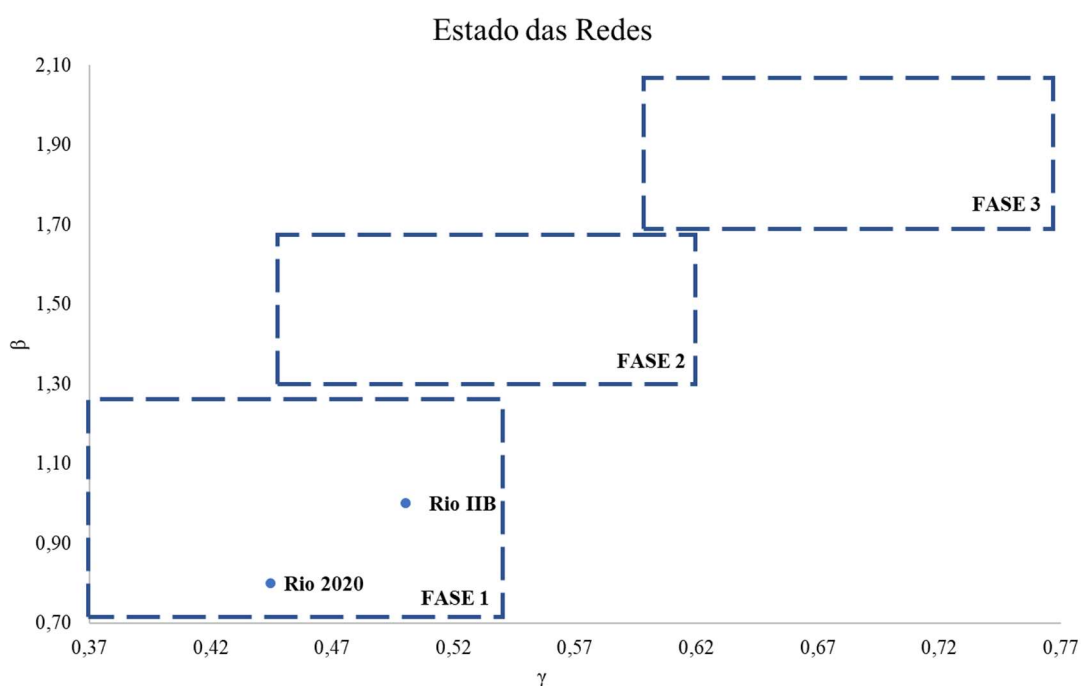


Figura 5.1: Classificação da característica “estado” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro. Baseado em Derrible (2010, p.73).

Quanto à característica “forma”, que reflete como as redes estão integradas ao meio no qual estão inseridas, tanto a rede planejada como a executada se comportam exercendo a função de acessibilidade regional, ou seja, favorecem a conexão de áreas distantes (comumente os subúrbios) com a área central da cidade, que normalmente é o CBD.

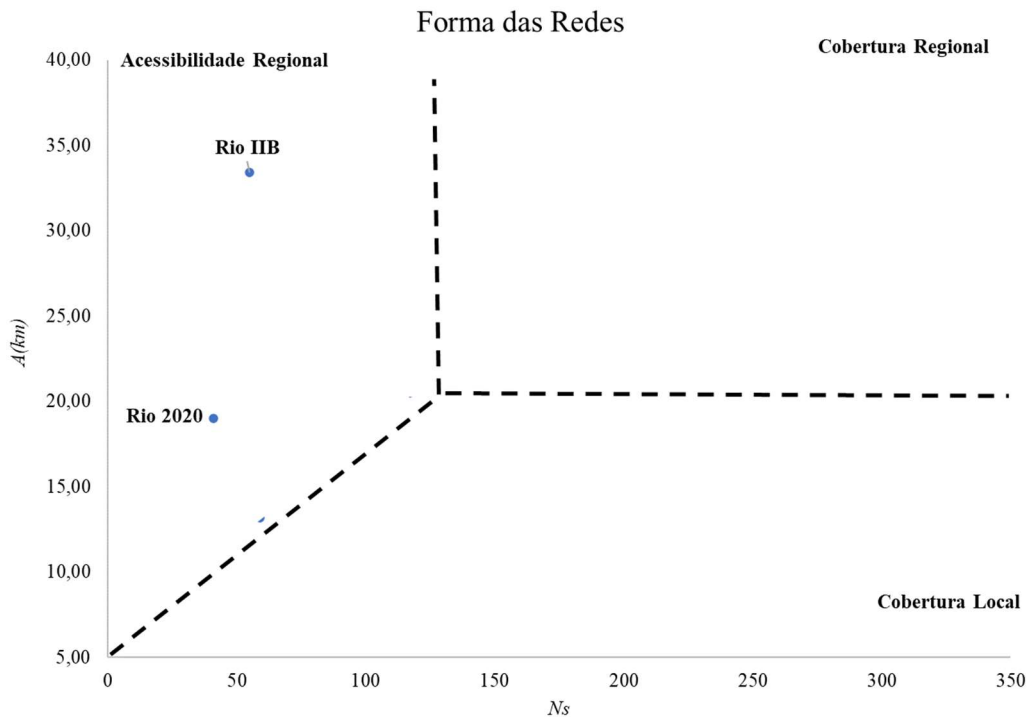


Figura 5.2: Classificação da característica “forma” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro. Baseado em Derrible (2010, p.75).

Nessa característica fica mais evidente o alcance da rede planejada, com uma extensão média das linhas maior que a executada. No entanto, o número reduzido de estações manteve ambas na mesma classificação. Assim, ainda que com razoável diferença no alcance, ou em outro termo, com menor intensidade, as duas redes exercem sua interação com o meio de maneira similar, sendo possível afastar a hipótese de que as discrepâncias existentes na forma possam ter impacto significativo na baixa participação da rede atual na mobilidade.

A estrutura reflete tanto a influência das estações de transferência, como a facilidade de viajar dentro da rede, buscando realizar o menor número de mudança de linhas para alcançar a estação de destino. Nessa característica é que se encontra a maior discrepância entre as redes. Enquanto a rede planejada se apresenta voltada para a conectividade, ou seja, possui importantes estações de transferência, que conectam as linhas de forma eficiente, o mesmo não ocorre com a rede executada, que se apresenta com a estrutura voltada para o direcionamento rápido.

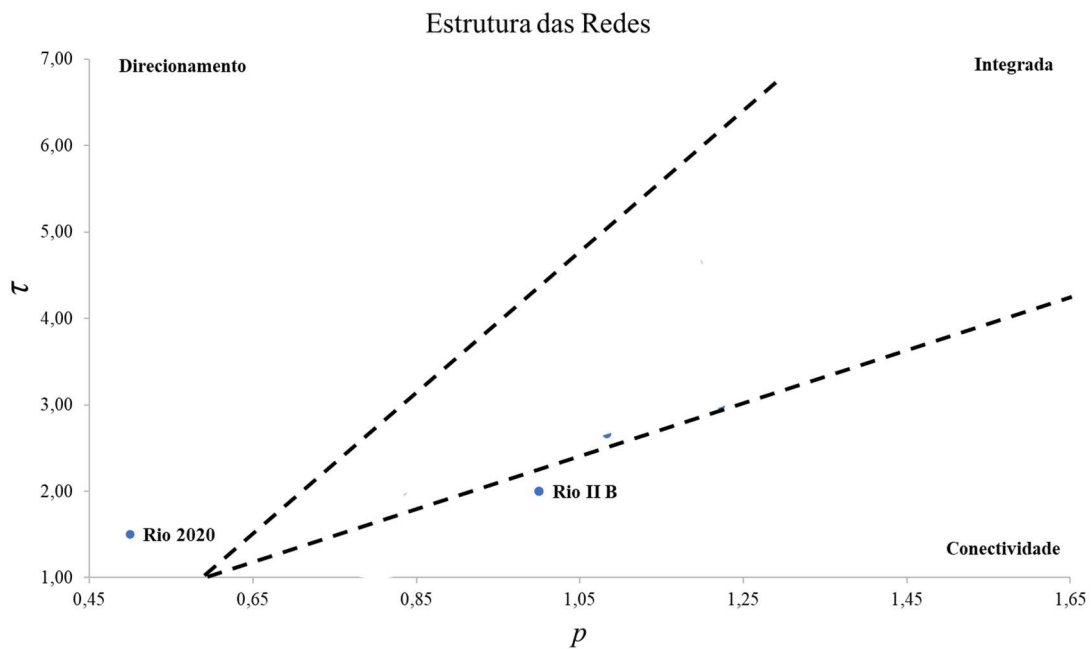


Figura 5.3: Classificação da característica “estrutura” das redes metroviárias (planejada e executada) da cidade do Rio de Janeiro. Baseado em Derrible (2010, p.79).

Essa última característica deve ser avaliada com atenção, já que foi a que apresentou maior dissimilaridade. Deve-se considerar que em redes incipientes o impacto de estações de transferência pode ser maior se forem bem desenvolvidas. Isso se deve pela maneira com a qual essa importância é mensurada, pois leva em conta a razão entre o número de estações de transferência e o número de possibilidade de transferência( $\rho$ ). Logo, se há poucas linhas, bastam poucas estações de transferência para que a conectividade seja significativa. No caso da rede projetada, há duas linhas que são conectadas por duas estações de transferência, gerando razão igual a um para  $\rho$ . ; enquanto essa relação é mais fraca na rede realizada, já que possui três linhas, das quais duas não se conectam diretamente (linhas 2 e 4), gerando menor conectividade na rede.

A facilidade de circular pela rede também é maior na rede planejada, já que a necessidade de realizar transferências para atingir qualquer estação é menor. Enquanto na rede planejada o número máximo de transferências para alcançar qualquer estação é apenas uma, o dobro é necessário para a rede executada.

Isso pode significar que enquanto a rede executada privilegia (ou se limita) a conectar de forma rápida o subúrbio com o CBD (não tendo como foco conectar duas áreas de forma independente do centro), se comportando estruturalmente como uma rede de direcionamento, pode-se pensar que para a rede planejada privilegia a conectividade

entre as linhas, e em uma leitura mais ampla, a conexão entre estações próximas, preterindo a acessibilidade regional.

Pode-se dizer que a rede planejada consegue se aproximar de uma rede integrada pouco desenvolvida, e isso é importante, pois uma rede de metrô que possui todas as suas estações de transferência na área central, indica que deseja que seus passageiros acessem diferentes áreas da cidade através do centro. Por isso, é levantada a possibilidade de que, ainda que estruturalmente a rede planejada valorize a conexão local, de certa forma ainda tenta exercer também a função de direcionamento rápido entre o centro e os subúrbios.

Portanto, as redes planejada e executada se apresentam similares em duas das três características analisadas, sendo que na última, a estrutura, apesar da divergência, as transferências que dão maior conectividade à rede planejada estão concentradas na área central, que em teoria, também acabou por lhe conferir características que se aproximam de uma rede integrada.

Cabe, a seguir, explorar as formas projetada e realizada da cidade, a fim de identificar se há discrepâncias em sua relação com a rede.

## **5.2 Compatibilidade das formas das cidades e das redes.**

Apenas comparar as funções das redes metroviárias é insuficiente para compreender sua participação na mobilidade, já que seu efeito pode ser inócuo perante a estrutura na qual opera, que é a cidade. A razão de ser da rede está exatamente em atender as necessidades de sua estrutura, ligando suas partes da forma mais eficiente possível. O descompasso entre a rede e sua estrutura pode fazer com que a primeira seja subutilizada, enquanto a segunda tem suas necessidades subatendidas, resultando em prejuízos para ambas.

Como visto, para a cidade do Rio de Janeiro, o principal motivo de deslocamento motorizado é realizado entre as residências e os postos de trabalho. Habitação e postos de trabalho constituem, portanto, origem e destino das viagens, e necessitam ser conectados. Essas origens e destinos podem se distribuir de diferentes maneiras, assumindo formas distintas ou similares. A cidade pode assumir para a habitação e postos de trabalho, formas semelhantes ou discrepantes, cabendo a rede atendê-las.

É mister que haja harmonia entre as redes e as formas da cidade. Diante da constatação anterior, de que não há relevante discrepância entre a rede planejada e a executada, e que a sua função na mobilidade de acordo com o método de Derrible é a

mesma, cabe verificar se há incompatibilidade com as formas projetadas e realizadas da cidade.

Através dos dados obtidos no livro do Metrô Rio (projeção para o ano de 1990) e da página da internet da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro(2010 para população e 2017 para empregos), e da aplicação da autocorrelação espacial associada ao método de Tsai, foi possível estimar as formas da cidade quanto à população e emprego.

É importante registrar que tanto a rede projetada como a executada cobrem prioritariamente três zonas da cidade: central, sul e norte. Essa divisão, mais utilizada pelos planejadores no caso do Rio de Janeiro, não obedece a fundamentos puramente cartográficos, mas privilegia os administrativos, tanto que não há, por exemplo uma zona leste em tal divisão. É importante, portanto, que se conheça a dimensão de cada zona da cidade para que seja possível localizar a cobertura da rede, assim como a distribuição dos bairros com significância estatística. A cobertura das redes planejada e executada sobre as diferentes zonas administrativas da cidade são apresentadas nas imagens 5.4 e 5.5.

Zonas da cidade e a rede metroviária em 1990

- Estações Metrô 1990
- Traçado total metrô 1990
- Zonas da cidade
- Norte
- Central
- Oeste
- Sul

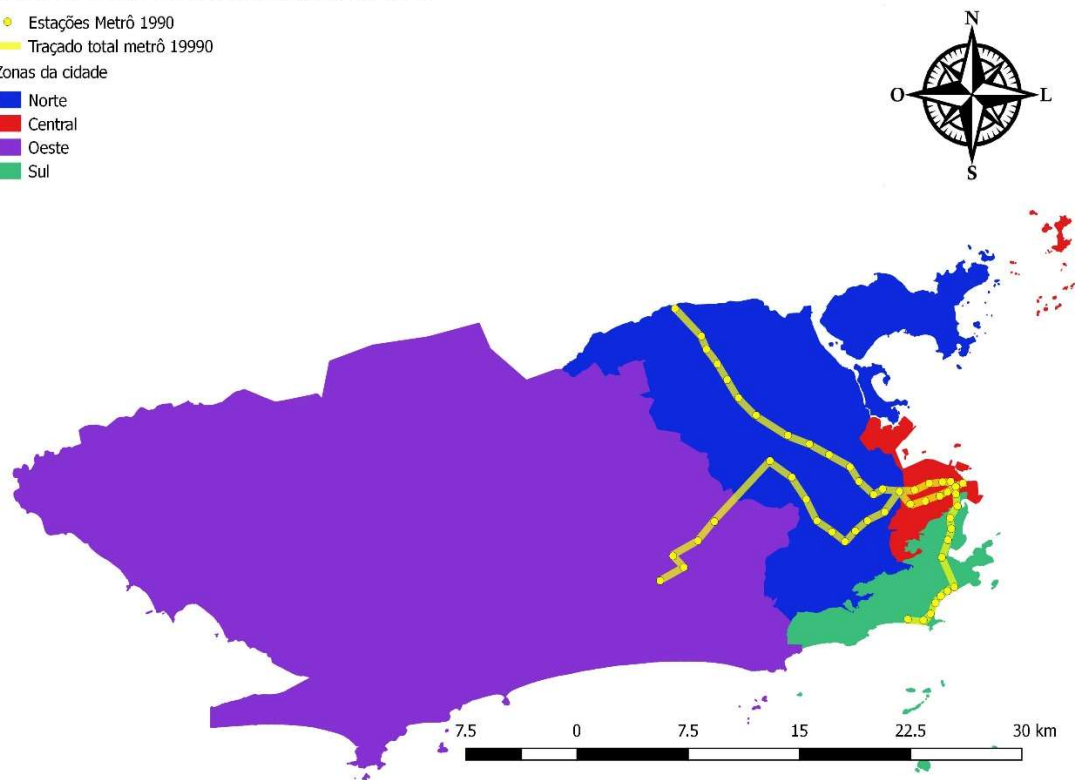


Figura 5.4: Cobertura da rede metroviária projetada para 1990 e as zonas da cidade do Rio de Janeiro.

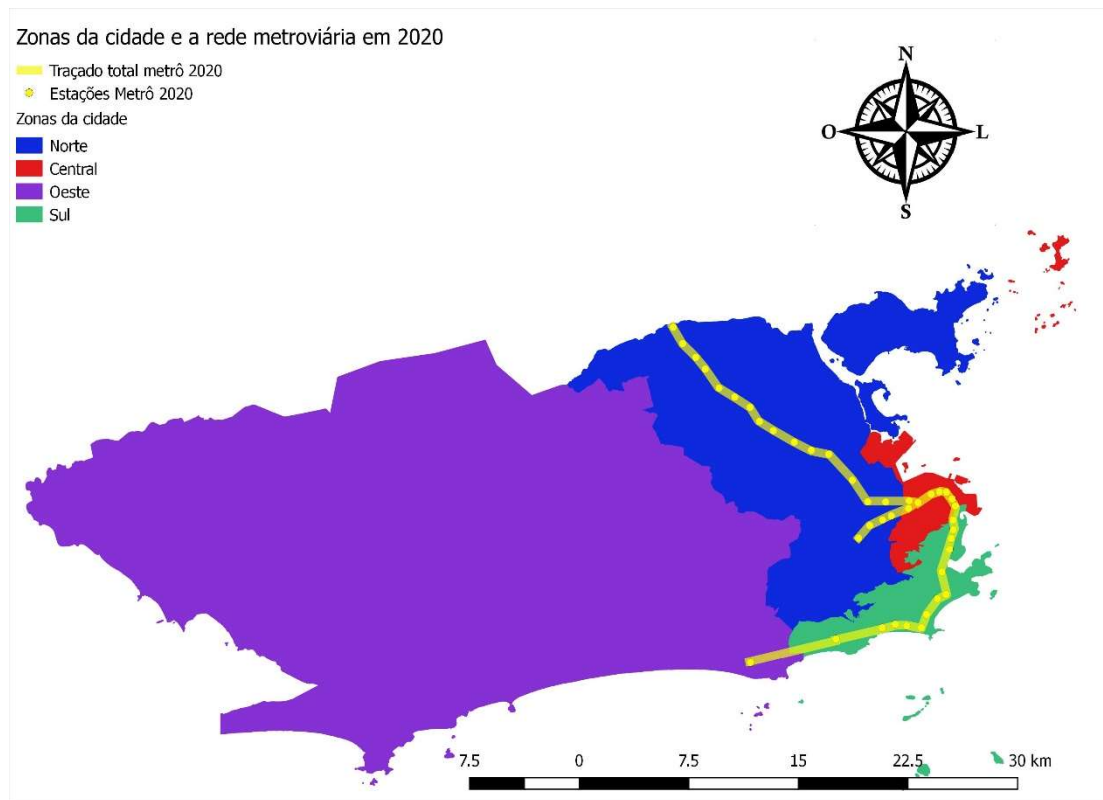


Figura 5.5: Cobertura da rede metroviária executada em 2020 e as zonas da cidade do Rio de Janeiro.

Além disso a estação Niterói, projetada para o ano de 1990, não foi incluída no mapeamento por ser a única fora dos limites da cidade do Rio de Janeiro, e, portanto, não possui relevância para a análise proposta no presente capítulo.

Em relação às formas da cidade projetadas para o ano de 1990, foi constatado que tanto a população como os empregos possuiriam distribuição policêntrica, e que nesse caso, o desenho da rede mais compatível deveria ser o que estabelecesse uma relação de cobertura regional, ou seja, tanto deveria criar conexões dentro da área central como fora dela, com estações nos locais onde se concentrassem os empregos e a população. O mapa da figura 5.6 apresenta a localização dos bairros estatisticamente significativos para índice de Moran nas variáveis habitação e emprego, previstos para 1990, demonstrando sua distribuição policêntrica, no entanto a rede não os alcança em determinados casos.



Moran local para população e empregos, e cobertura da rede, previstos para 1990 .

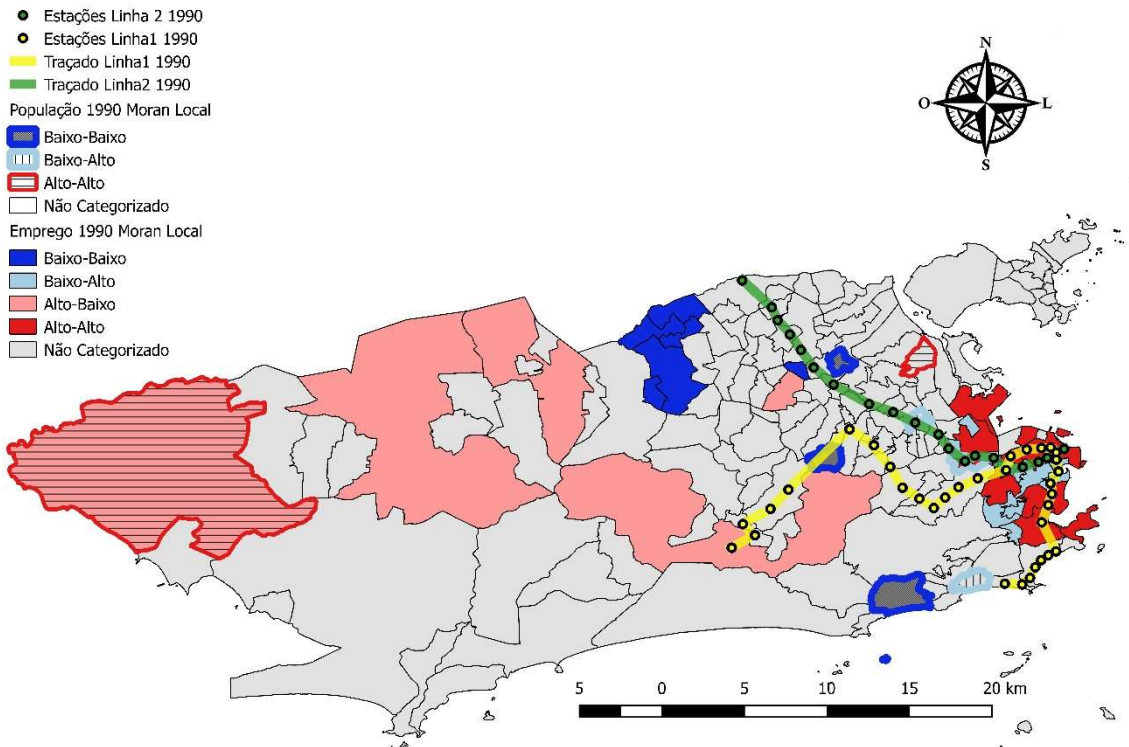


Figura 5.6: A relação entre a autocorrelação espacial de habitação e empregos, e a cobertura da rede metroviária na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1990.

A rede proposta possui forma voltada para a acessibilidade regional. Isso não significa necessariamente uma falha de planejamento, já que diversas outras variáveis podem ter influenciado essa escolha, mas diminui o potencial de protagonismo da rede na mobilidade.

O mapa da figura 5.7 revela que alguns bairros localizados na zona oeste da cidade foram preteridos no planejamento, a despeito de possuírem características alto-baixo em relação aos empregos, como é o caso de Santa Cruz, Campo Grande e Bangu, e alto-alto em relação à população no caso de Santa Cruz. Isso não significa que tais bairros acabariam desprovidos do transporte público, mas sim dos benefícios proporcionados pela presença da rede metroviária, inclusive no que tange a maneira como se conectariam com outras áreas de cidade.

Moran Local para população e empregos, e cobertura da rede, previstos para 1990.

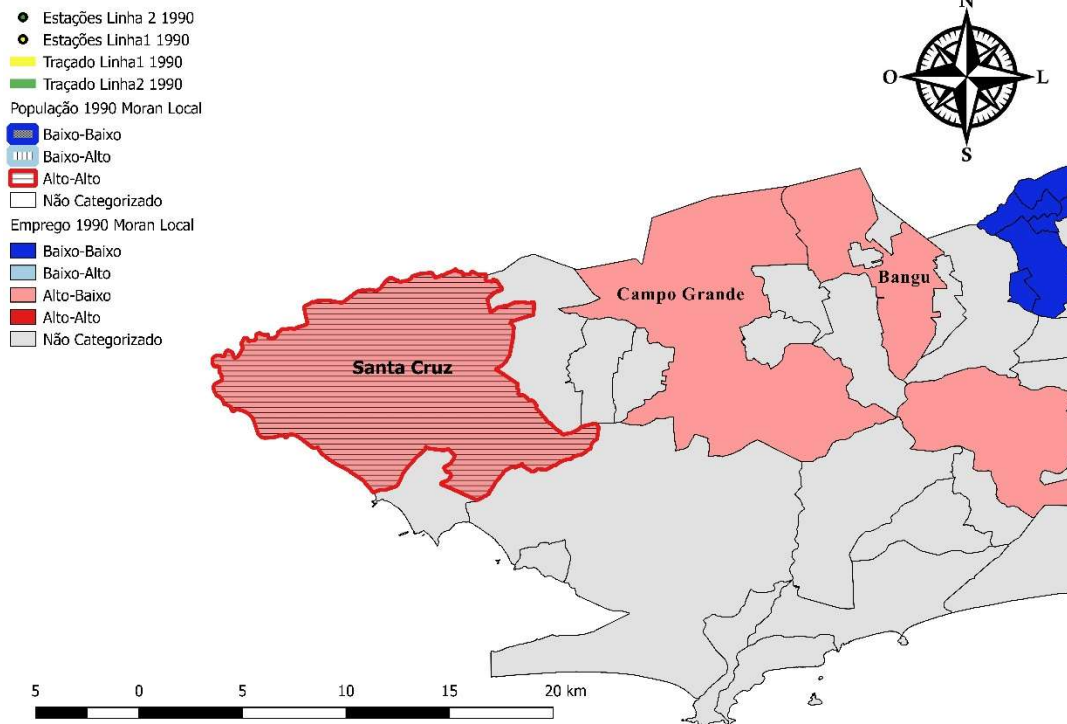


Figura 5.7: Bairros da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro com características alto-alto/alto-baixo para empregos e/ou habitação, não cobertos pela rede metroviária na projeção realizada para o ano de 1990.

No eixo entre a zona norte da cidade e a área central (mapa da figura 5.8), a rede projetada possui estações em diversos bairros sem significância estatística em relação ao índice de Moran, principalmente na extensão da Linha 2. Entre as estações Pavuna e Mangueira, não há nenhuma que esteja localizada em bairros com característica alto-alto ou alto-baixo para nenhuma das variáveis pesquisadas. No entanto, outros bairros que possuem tais características não foram incluídos no traçado da Linha 2, como é o caso de Madureira (alto-baixo para a variável emprego), de Ramos (alto-alto para população) e Caju (alto-alto para a variável emprego).

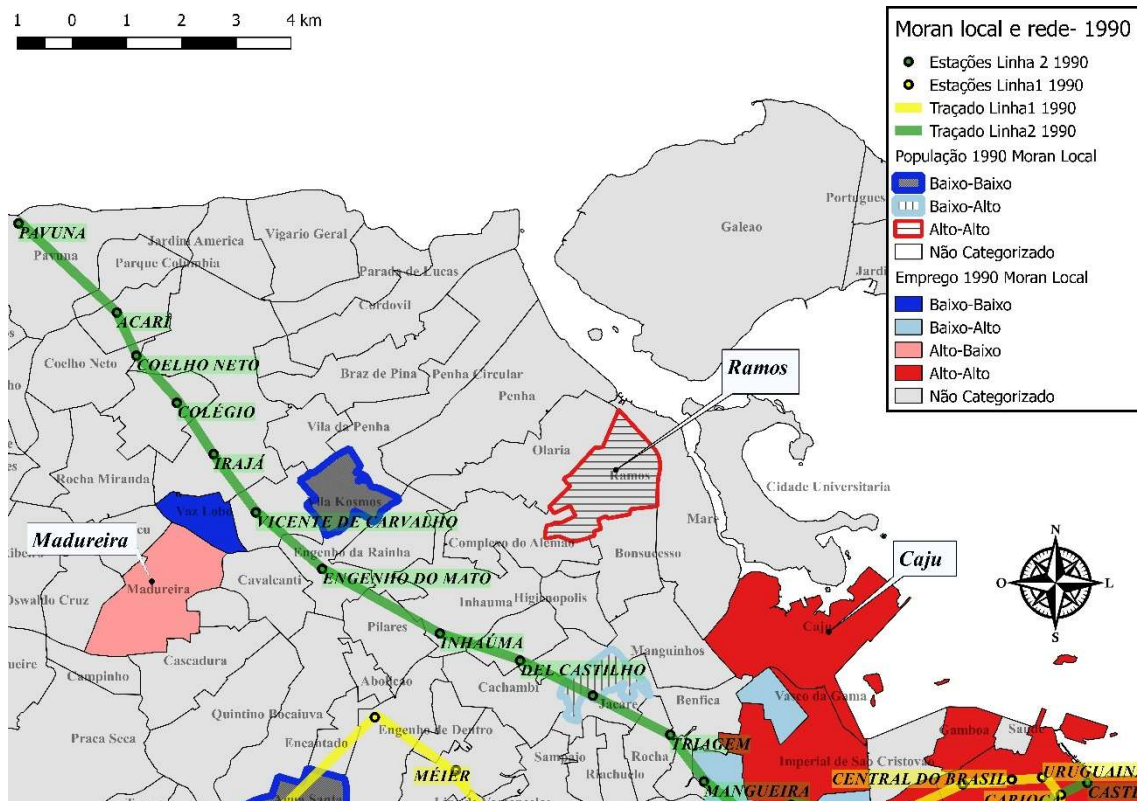


Figura 5.8: Bairros das zonas norte e central com significância estatística para o índice de Moran não cobertos pela Linha 2(Madureira, Ramos e Caju).

Na área que coberta pela Linha 1 (parte das zonas oeste, sul e central, representadas na figura do mapa 5.9, a rede contempla mais áreas com significância estatística (característica alto-alto) para as variáveis do que a Linha 2, no entanto ainda não contemplando alguns deles como Urca, Rio Comprido e Gamboa. Verificou-se também que na extensão da Linha 1, entre as estações Cidade de Deus e Haddock Lobo, não há bairros com significância estatística positiva, ou seja, essa área, atendida por doze estações, não apresenta um padrão de concentração de empregos ou população. O mesmo ocorre entre as estações Nossa Senhora da Paz e Lido. Isso não significa que não há bairros com elevado número de habitantes e/ou empregos nessas áreas, mas que não há um padrão definido sobre essa distribuição.

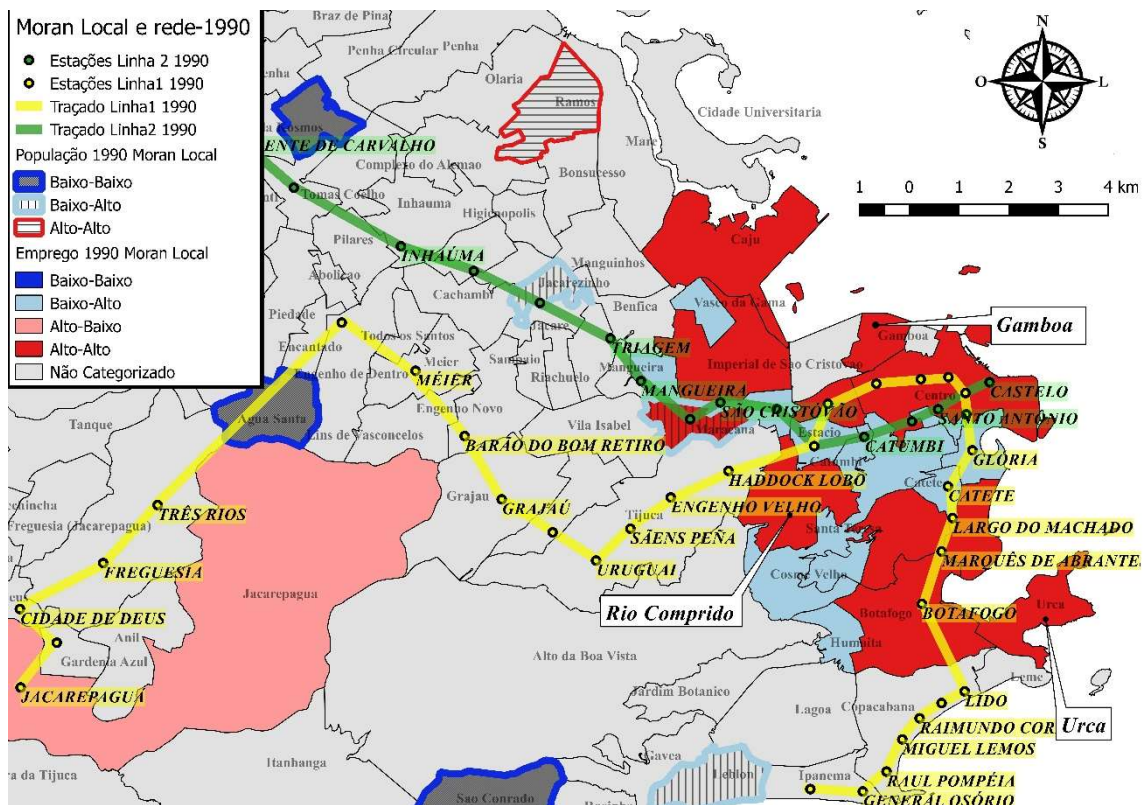


Figura 5.9: Bairros das zonas sul e central com significância estatística para o índice de Moran não cobertos pelas Linha 1 e 2 (Gamboa, Rio Comprido e Urca).

Os padrões de concentração alto-baixo e alto-alto (principalmente para a variável emprego) se apresentam em diferentes zonas da cidade projetada, configurando-a com o padrão policêntrico, o que demanda uma rede mais extensa, com ampla distribuição de estações, caso a intenção dos planejadores fosse de aumentar o potencial de participação da rede metroviária na mobilidade.

A mesma situação foi observada para a rede executada e para as formas da cidade em relação à população e os postos de trabalho. Para o ano de 2010 (último censo nacional) a população da cidade do Rio de Janeiro apresentou distribuição policêntrica, assim como os postos de trabalho para o ano de 2017. Mais uma vez, a rede recomendada para a cidade policêntrica nas duas variáveis apresentadas é a de cobertura regional, no entanto, como no caso anterior, o desenho da rede metroviária (de acessibilidade regional), atenderia melhor uma cidade monocêntrica em pelo menos uma variável.

O mapa da figura 5.10 apresenta concentração de bairros com o padrão alto-alto na zona central da cidade, enquanto o mesmo padrão para habitantes ocorre somente na zona oeste.



Moran Local (habitantes e empregos) e rede - Séc.XXI

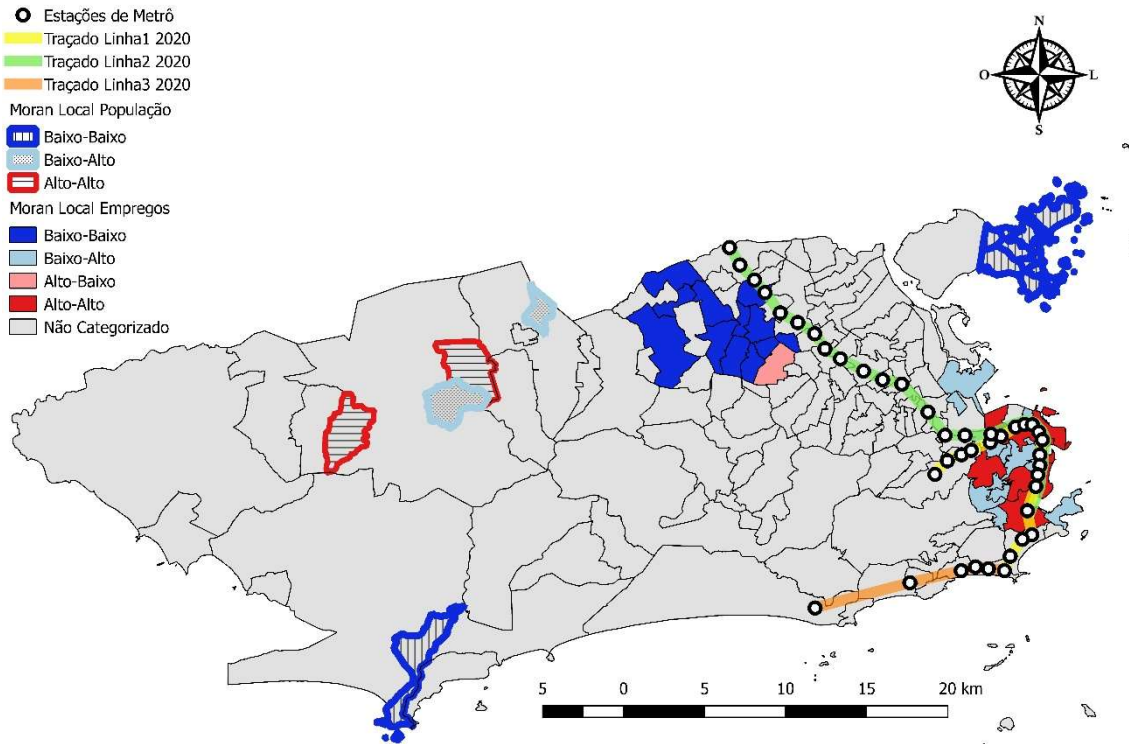


Figura 5.10: A relação entre a autocorrelação espacial de habitação e empregos, e a cobertura da rede metroviária na cidade do Rio de Janeiro para o século XXI.

Na área coberta pela rede (mapa da figura 5.11) é possível verificar que somente a Linha 1 e parte da Linha 2 cobrem bairros estatisticamente significantes para a concentração de empregos, porém o mesmo não ocorre para a variável habitantes, que não possui bairros com essa característica (alto-alto) nas áreas atendidas pela rede de metrô. Em toda sua extensão fora da zona central a Linha 2 não atende bairros estatisticamente relevantes para o índice de Moran e o mesmo ocorre para a totalidade da Linha 3. Mais uma vez, isso não significa que os bairros servidos pelas linhas possuam necessariamente um baixo número de empregos ou habitantes, mas sim que não há um padrão de aglomeração de bairros com valores elevados das variáveis estudadas em sua extensão.

Esse tipo de configuração pode exigir que a rede atenda bairros não tão próximos uns dos outros, para que se torne mais acessível para o conjunto da população da cidade.

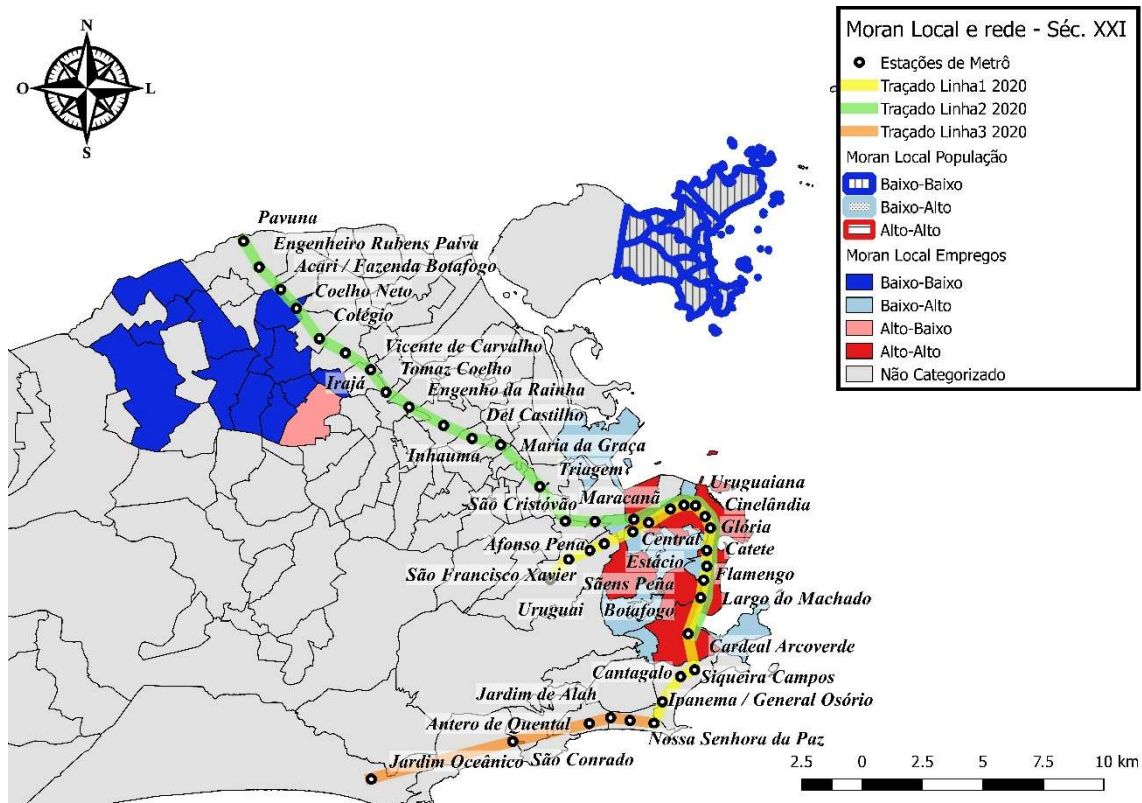


Figura 5.11: Área coberta pela rede metroviária em 2020.

Outro ponto em comum da relação das redes planejada e executada como uso do solo é obrigatoriedade do trânsito pela área central para mudança entre as zonas sul e norte da cidade. Essas duas zonas já apresentavam importantes subcentros como os bairros da Tijuca e Madureira (zona norte), e Copacabana e Botafogo (zona sul).

No caso da rede planejada, não só a conexão entre as zonas sul e norte ocorreria pela zona central, como todas as possibilidades de mudança entre as linhas 1 e 2 também estariam lá, através das estações Estácio e Carioca, como demonstrado na figura 5.9.

Já no caso da rede executada em 2020, não somente a conexão entre as zonas norte e sul é realizada pela zona central, mas também a ligação entre as zonas norte e oeste. Passageiros que desejam realizar a viagem norte-oeste ou vice-versa são obrigados a passar pelas zonas central e sul, como demonstrado pelo mapa da figura 5.5.

A zona oeste abriga 42% da população da cidade segundo o censo de 2010 e 21% dos empregos formais no ano de 2017, sendo o bairro da Barra da Tijuca, único da zona oeste a possuir uma estação metroviária, responsável por 7% dos empregos formais da cidade, o que representa 151.467 postos de trabalho. Somente o bairro do Centro superou

tais números naquele ano, com 23% dos empregos formais da cidade (494.825 postos de trabalho). No entanto, o bairro da Barra da Tijuca possui apenas 5% da população da zona oeste ou 2% do total da cidade (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2020).

Ao mesmo tempo em que a rede não atinge os demais bairros da zona oeste- o que representa, segundo dados do Instituto Pereira Passos(2020), 37% da população da cidade -sua ligação direta com as demais zonas é restrita à zona sul, a despeito de possuir um dos mais importantes subcentros. O mesmo ocorre com a zona norte, sem uma ligação direta com as zonas sul e oeste. Entende-se, portanto, que apesar de a cidade apresentar um perfil policêntrico, seus subcentros permanecem, em grande parte, sem uma conexão direta, com fluxos se concentrando na zona central. Esse desenho favorece as cidades monocêntricas, que concentram a maior parte de suas atividades em uma área ou zona.

## 6 CONCLUSÃO

A pesquisa permitiu verificar se as diferenças entre o planejado e o executado para uma rede metroviária impactam em sua participação na mobilidade urbana. Utilizando o conceito de mobilidade sustentável atrelado ao uso do solo, foi possível chegar a conclusão, que o estudo de caso tem como uma das possíveis causas de sua baixa participação na mobilidade a incompatibilidade da forma de sua rede com a distribuição das atividades pelo tecido urbano, não sendo as discrepâncias entre o planejado e o executado relevantes o suficiente para serem causa desse problema. Ou seja, sua função na mobilidade não foi alterada pelas diferenças apresentadas.

Os métodos aplicados, que envolvem classificação topológica, tanto das redes metroviárias como do uso do solo, mostraram-se efetivos em realizar as caracterizações propostas, além de capazes de evidenciar se há ou não compatibilidade entre esses elementos. Soma-se a isso que estes métodos podem ser utilizados em diversos casos, como foco nas mais diversas atividades, já que se admite que todas as cidades podem assumir diferentes formas a depender da variável escolhida para a análise.

Em relação ao estudo de caso, as conclusões superam as questões estatísticas e topológicas evidenciadas pela autocorrelação espacial e pelo uso dos grafos. Com base no método de Derrible (2010), ambas as redes foram caracterizadas como pouco desenvolvidas e orientadas para a acessibilidade regional. A exceção foi na caracterização de suas estruturas, nas quais, a rede planejada favorecia a conectividade, enquanto a executada a acessibilidade regional.

O mesmo ocorreu na avaliação do uso do solo quanto à habitação e aos postos de trabalho. Tanto na cidade projetada pelo grupo de estudos do metrô, quanto na cidade realizada, ou seja, a que de fato se desenvolveu, as duas variáveis se apresentaram com perfil policêntricos em suas distribuições pela cidade.

Assim, identificou-se a incompatibilidade do desenho das redes com as formas da cidade. Se é uma das funções de uma rede de transporte conectar o cidadão ao seu posto de trabalho, seu desenho não é o ideal no caso da cidade do Rio de Janeiro. As razões para que, mesmo diante de um perfil policêntrico de cidade, o desenho da rede privilegie os deslocamentos centralizados, podem ser muitas e não foi objetivo da presente pesquisa verificá-los. Ainda assim, a dissimilaridade das redes em relação à característica estrutura chama atenção pelo fato de haver maior proporção de transferências na linha planejada, e que as duas estações responsáveis por elas estariam localizadas na área central. Tal



situação, que até certo ponto pode ser considerada uma impedância, pode não ter sido imposta apenas por questões técnicas e/ou financeiras, mas também por questões conceituais e/ou estratégicas.

Como visto, o grupo de estudos do metrô considerava “*a centralização a verdadeira lei de crescimento das cidades*” (2010, p.68), sendo os subcentros incapazes de substituir a área central em suas diversas atividades. Logo, presume-se que criar ligações entre as diferentes zonas da cidade, ligando-as diretamente, eliminando a necessidade de passar pela área central, seria uma maneira de reforçar a descentralização da cidade, ao mesmo tempo que diminui a importância e necessidade da área central. O centro deixaria de ser a área mais próxima para exercer importantes atividades, entre elas o trabalho formal. Assim a cidade poderia assumir ou crescer em direção à forma policêntrica.

A hipótese aqui levantada é que os planejadores propuseram uma rede metroviária que atendesse essa lei de crescimento, pautada na centralização das atividades. Assim, a rede funcionaria com uma força contrária à descentralização, atuando como estimuladora da concentração das atividades da cidade, protegendo e mantendo seu perfil monocêntrico. Essa hipótese pode contribuir para estudos futuros, que ajudem a esclarecer algumas incoerências aparentes da rede, como destacado por Guedes (2014), que verificou que o traçado foi mantido ao longo dos anos de implantação da rede, a despeito das mudanças dos eixos de deslocamento da cidade; e Orrico, Geanquito e Neto (2018), que verificaram que a zona sul da cidade já é um subcentro consolidado, possuindo demanda de viagens de diversas áreas, inclusive com alcance metropolitano, mas que acabam sendo realizadas indiretamente no caso da rede metroviária, já que na maioria dos deslocamentos de zona há a necessidade de passar pela área central.

Por fim, vale destacar que se considera o transporte metroviário como essencial para o desenvolvimento de grandes cidades nas diferentes dimensões (econômica, ambiental, social) devido aos seus benefícios diretos e indiretos. No entanto, não parece claro que uma adesão contundente a esse modo ocorrerá sem que haja compatibilidade com a estrutura do tecido urbano a qual pertence. Isso não significa que a rede deve sempre seguir o desenvolvimento da cidade, pois, a depender da visão dos planejadores, a rede, pelo contrário, pode ser um dos orientadores.

Essa questão é ainda mais importante em um país em desenvolvimento como o Brasil, no qual, para o trabalhador, o acesso à uma estação de metrô como o menor grau de impedância pode significar a diferença entre possuir ou não um posto de trabalho capaz

de suprir sua necessidade e de sua família. Quando o metrô se apresenta um meio de transporte de difícil acesso para o cidadão mais pobre, que mormente depende do transporte público, essa rede acaba por se tornar mais um ônus que um bônus, já que em muitos casos o metrô recebe aportes financeiros de seus governos. Uma rede de transporte desconexa do meio na qual atua é pouco capaz promover desenvolvimento para sua população, tão pouco favorece exercícios de direitos básicos, e isso ocorre especialmente com as parcelas socioeconomicamente mais fragilizadas.

Isso não significa que se deva pensar apenas na questão do desenho da rede metroviária, já que é complexo levar a malha para todas as localidades, sendo necessário refletir como aproximar a habitação dos postos de trabalho, e não somente criar conexões entre elas. O foco também deve estar na discussão sobre os efeitos de certas ações sobre o uso do solo, como a especulação imobiliária, que afasta a população mais pobre das áreas centrais, criando impedâncias para o acesso ao emprego. Deve-se pensar em ações concomitantes e complementares entre uso do solo e rede.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, A. G., HERNANDEZ, J. "Metropolitan Change and Uneven Distribution of Urban Sub-Centres in Mexico City, 1989-2009", *Bulletin of Latin American Research*, v. 35, n. 2, p. 191–209, 2016. DOI: 10.1111/blar.12407. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/282391988\\_Metropolitan\\_Change\\_and\\_Uneven\\_Distribution\\_of\\_Urban\\_Sub-Centres\\_in\\_Mexico\\_City\\_1989-2009](https://www.researchgate.net/publication/282391988_Metropolitan_Change_and_Uneven_Distribution_of_Urban_Sub-Centres_in_Mexico_City_1989-2009)> Acesso em: 09 jan.2019.

ANSELIN, L. "Local Indicators of Spatial Association—LISA", *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, pp. 93–115, 1995. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>> . Acesso em :23 set. 2019.

ANTONSON, H., HRELJA, R., HENRIKSSON, P. "People and parking requirements: Residential attitudes and day-to-day consequences of a land use policy shift towards sustainable mobility", *Land Use Policy*, v. 62, p. 213–222, 2017. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.12.022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837716304975>> . Acesso em: 19 de set. 2019.

BANISTER, D. "The sustainable mobility paradigm", *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.10.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X07000820>>. Acesso em: 04 de ago. 2019.

BARABÁSI, A. L. "Scale-free networks: A decade and beyond", *Science*, v. 325, n. 5939, p. 412–413, 2009. DOI: 10.1126/science.1173299. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/26692135\\_Scale-Free\\_Networks\\_A\\_Decade\\_and\\_Beyond](https://www.researchgate.net/publication/26692135_Scale-Free_Networks_A_Decade_and_Beyond)>. Acesso em: 15 de set. 2019.

BARROS, A. P., MARTÍNEZ, L. M., VIEGAS, J. M. "How urban form promotes walkability?", *Transportation Research Procedia*, v. 27, p. 133–140, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.12.039. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517309365>> Acesso: 31 mar. 2019.

BERTAUD, B. A. "Note on Transportation and Urban Spatial Structure". *Washington, ABCDE conference*, n. April, p. 1–11, 2002. Disponível em: <[https://alainbertaud.com/wp-content/uploads/2013/07/AB\\_Transportation\\_and\\_Urban\\_Spatial\\_Structure\\_revised3.pdf](https://alainbertaud.com/wp-content/uploads/2013/07/AB_Transportation_and_Urban_Spatial_Structure_revised3.pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2020.

CAMAGNI, R., GIBELLI, M. C., RIGAMONTI, P. "Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion", *Ecological Economics*, v. 40, n. 2, p. 199–216, 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(01)00254-3. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/222566066\\_Urban\\_Mobility\\_and\\_Urban\\_Form\\_TheSocial\\_and\\_Environmental\\_Costs\\_of\\_Different\\_Patterns\\_of\\_Urban\\_Expansion](https://www.researchgate.net/publication/222566066_Urban_Mobility_and_Urban_Form_TheSocial_and_Environmental_Costs_of_Different_Patterns_of_Urban_Expansion)>. Acesso: 27 dez.2019.

CÂMARA, G., CARVALHO, M. S., CRUZ, O. G., CORREA, V., "Análise espacial de áreas". In: SUZANA DRUCK, MARÍLIA SÁ CARVALHO, GILBERTO CÂMARA, A. M. V. M. (Org.), *Análise Espacial de Dados Geográficos*, Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

CANITEZ, F. "Pathways to sustainable urban mobility in developing megacities: A socio-technical transition perspective", *Technological Forecasting and Social Change*, v. 141, n. June 2018, p. 319–329, 2019. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.01.008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162518309880>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

DA SILVA, A. N. R., COSTA, M. DA S., MACEDO, M. H. "Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil", *Transport Policy*, v. 15, n. 6, pp. 350–360, 2008. DOI: 10.1016/j.tranpol.2008.12.003. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/222356508\\_Multiple\\_views\\_of\\_sustainable\\_urban\\_mobility\\_The\\_case\\_of\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/222356508_Multiple_views_of_sustainable_urban_mobility_The_case_of_Brazil)>. Acesso em: 02 fev. 2020.

DAVOUDI, S., STURZAKER, J. "Urban form, policy packaging and sustainable urban metabolism", *Resources, Conservation and Recycling*, v. 120, p. 55–64, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.011. Disponível em: <<https://www.Sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917300228>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

DERRIBLE, S. "The properties and effects of metro network designs". D.Sc. University of Toronto. Toronto, Canadá, 2010. Disponível em: <[https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/26164/3/Derrible\\_Sybil\\_201011\\_PhD\\_Thesis.pdf](https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/26164/3/Derrible_Sybil_201011_PhD_Thesis.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2018.

DERRIBLE, S., KENNEDY, C. "Network analysis of world subway systems using updated graph theory", *Transportation Research Record*, n. 2112, p. 17–25, 2009. DOI: 10.3141/2112-03. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/226063293\\_3\\_Characterizing\\_metro\\_networks\\_State\\_form\\_and\\_structure](https://www.researchgate.net/publication/226063293_3_Characterizing_metro_networks_State_form_and_structure)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

DERRIBLE, S., KENNEDY, C. "Characterizing metro networks: State, form, and structure", *Transportation*, v. 37, n. 2, p. 275–297, 2010. DOI: 10.1007/s11116-009-9227-7. Disponível em: <[https://www.Researchgate.net/publication/226063293\\_Characterizing\\_metro\\_networks\\_State\\_form\\_and\\_structure](https://www.Researchgate.net/publication/226063293_Characterizing_metro_networks_State_form_and_structure)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

DIAO, M. "Towards sustainable urban transport in Singapore: Policy instruments and mobility trends", *Transport Policy*, v. 81, n. May, p. 320–330, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.05.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X16307508>> Acesso em: 07 jun. 2019.

DIAS, L. C., "Redes: Emergência e Organização". In: CASTRO, I. E. DE, GOMES, P. C. DA C., CORRÊA, R. L. (Org.), *Geografia: Conceitos e Temas*, 12. ed. Cap. Rio de Janeiro, BERTRAND BRASIL, 2009. p. 141–159.

DIOS, J. D. E., SALAS, O. "Movilidad urbana sustentable: Algunos principios básicos y soluciones", *Administración Pública y Sociedad (APyS)*, v. 0, n. 6, p. 48–62, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/APyS/article/view/21815>> Acesso em: 03 out. 2019.

DURANTON, G., TURNER, M. A. "Urban form and driving: Evidence from us cities", *Journal of Urban Economics*, 2018. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.05.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094119018300871>>. Acesso em: 23 dez. 2019.

GUEDES, E. “*O Metrô do Rio de Janeiro: interesses, valores e técnica em projetos estruturais de desenvolvimento urbano*”. 1. ed. Rio de Janeiro, Letra Capital Editora, 2014. Disponível em: <[https://observatoriodasmetropoles.net.br/arquivos/biblioteca/abok\\_file/livro\\_metro\\_rj.pdf](https://observatoriodasmetropoles.net.br/arquivos/biblioteca/abok_file/livro_metro_rj.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2018.

IBGE. *IBGE Cidades*. Rio de Janeiro. 2020. <Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>.> Acesso em: 3 jan. 2020.

IGNACCOLO M., INTURRI, G., LE PIRA, M., *et al.* "Evaluating the role of land use and transport policies in reducing the transport energy dependence of a city", *Research in Transportation Economics*, v. 55, p. 60–66, 2016. DOI: 10.1016/j.retrec.2016.04.011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0739885916300427>> Acesso: 08 mar. 2019.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS. Data.Rio. 2020. Disponível em:< <http://data.rio/>>. Acesso em: 5 mai. 2020.

JAYASINGHE, A., SANO, K., RATTANAPORN, K. "Application for developing countries: Estimating trip attraction in urban zones based on centrality", *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, v. 4, n. 5, p. 464–476, 2017. DOI: 10.1016/j.jtte.2017.05.011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416302458>.>. Acesso em: 23 mai. 2020.

JONES, P. "The evolution of urban mobility: The interplay of academic and policy perspectives", *IATSS Research*, v. 38, n. 1, p. 7–13, 2014. DOI: 10.1016/j.iatssr.2014.06.001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038611121400017X>.> Acesso em: 29 jun. 2018.

KANDT, J. "Heterogeneous links between urban form and mobility: A comparison of São Paulo, Istanbul and Mumbai", *Journal of Transport and Land Use*, v. 11, n. 1, p. 721–745, 2018. DOI: 10.5198/jtlu.2018.1359. Disponível em:<<https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/1359>> Acesso em: 04 dez. 2019.

KAZA, N. "Urban form and transportation energy consumption", *Energy Policy*, v. 136, n. March 2019, 2020. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111049. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/338311522\\_Urban\\_form\\_and\\_transportation\\_energy\\_consumption](https://www.researchgate.net/publication/338311522_Urban_form_and_transportation_energy_consumption)>. Acesso em 23 jun. 2020.

KHAN, J., SHIL, A., MOHANTY, S. K. "Hepatitis B vaccination coverage across India: Exploring the spatial heterogeneity and contextual determinants", *BMC Public Health*, v. 19, n. 1, p. 1–14, 2019. DOI: 10.1186/s12889-019-7534-2. Disponível em: <<https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-019-7534-2>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

KURANT, M., THIRAN, P. "Extraction and analysis of traffic and topologies of transportation networks", *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, v. 74, n. 3, 2006. DOI: 10.1103/PhysRevE.74.036114. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/6768767\\_Extraction\\_and\\_analysis\\_of\\_traffic\\_and\\_topologies\\_of\\_transportation\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/6768767_Extraction_and_analysis_of_traffic_and_topologies_of_transportation_networks)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

LEE, J., VOJNOVIC, I., GRADY, S. C. "The 'transportation disadvantaged': Urban form, gender and automobile versus non-automobile travel in the Detroit region", *Urban Studies*, v. 55, n. 11, p. 2470–2498, 2018. DOI: 10.1177/0042098017730521. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/320717954\\_The\\_'transportation\\_disadvantaged'\\_Urban\\_form\\_gender\\_and\\_automobile\\_versus\\_non-automobile\\_travel\\_in\\_the\\_Detroit\\_region](https://www.researchgate.net/publication/320717954_The_'transportation_disadvantaged'_Urban_form_gender_and_automobile_versus_non-automobile_travel_in_the_Detroit_region)>. Acesso em: 26 dez. 2019.

LI, M., WANG, H., WANG, H. "Resilience Assessment and Optimization for Urban Rail Transit Networks: A Case Study of Beijing Subway Network", *IEEE Access*, v. 7, p. 71221–71234, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2919105. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/333414040\\_Resilience\\_Assessment\\_and\\_Optimization\\_for\\_Urban\\_Rail\\_Transit\\_Networks\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Beijing\\_Subway\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/333414040_Resilience_Assessment_and_Optimization_for_Urban_Rail_Transit_Networks_A_Case_Study_of_Beijing_Subway_Network)>. Acesso em: 23 fev. 2020.

LIMA, F., PARAÍZO, R. C., KÓS, J. R. "Abordagens generativas em planejamento urbano: experimentos de otimização para princípios de Transit Oriented Development". 2015. *XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital 2015*. p. 649–

656. DOI: 10.5151/despro-sigradi2015-110142. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/301453889\\_Abordagens\\_generativas\\_em\\_planejamento\\_urbano\\_experimentos\\_de\\_otimizacao\\_para\\_principios\\_de\\_Transit\\_Oriented\\_Development#citatio ns.](https://www.researchgate.net/publication/301453889_Abordagens_generativas_em_planejamento_urbano_experimentos_de_otimizacao_para_principios_de_Transit_Oriented_Development#citatio ns.)>. Acesso em: 28 jun. de 2020.

LIN, J., BAN, Y. "Complex Network Topology of Transportation Systems", *Transport Reviews*, v. 33, n. 6, p. 658–685, 2013. DOI:10.1080/01441647.2013.848955. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/258763016\\_Complex\\_Network\\_Topology\\_of\\_Transportation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/258763016_Complex_Network_Topology_of_Transportation_Systems)>. Acesso em: 04 de set. 2018.

LITMAN, T. "Evaluating rail transit benefits: A comment", *Transport Policy*, v. 14, n. 1, p. 94–97, 2007. DOI: 10.1016/j.tranpol.2006.09.003. Disponível em: <[http://www.Researchgate.net/publication/223119991\\_Evaluating\\_rail\\_transitbenefits\\_A\\_comment](http://www.Researchgate.net/publication/223119991_Evaluating_rail_transitbenefits_A_comment)>. Acesso em: 02 mar. 2019.

LOHREY, S., CREUTZIG, F. "A 'sustainability window' of urban form", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 45, p. 96–111, 2016. DOI:10.1016/j.trd.2015.09.004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/284012334\\_A\\_'sustainability\\_window'\\_of\\_urban\\_form](https://www.researchgate.net/publication/284012334_A_'sustainability_window'_of_urban_form)>. Acesso em: 20 dez.2018.

MAGNANTI, T. L., WONG, R. T. "Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms". *Transportation Science*. [S.l: s.n.], 1984. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4117581/mod\\_resource/content/1/Magnanti%20Network%20Design%20and%20Transportation%20Planning.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4117581/mod_resource/content/1/Magnanti%20Network%20Design%20and%20Transportation%20Planning.pdf)>. Acesso em: 19 de mar. 2019.

MÄKINEN, K., KIVIMAA, P., HELMINEN, V. "Path creation for urban mobility transitions: Linking aspects of urban form to transport policy analysis", *Management Decision*, v. 39, n. 3, p. 233–243, 2015. DOI: 10.1108/EUM0000000005454. Disponível em: <Path creation for urban mobility transitions: Linking aspects of urban form to transport policy analysis>. Acesso em 02 jan. 2019.

MARMOLEJO-DUARTE, C. "Does urban centrality influence residential prices? An analysis for the Barcelona metropolitan area", *Revista de la Construcción*, v. 16, n. 1, p.



57–65, 2017. DOI:10.7764/RDLC.16.1.57. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/316869528\\_Does\\_urban\\_centrality\\_influence\\_residential\\_prices\\_An\\_analysis\\_for\\_the\\_Barcelona\\_Metropolitan\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/316869528_Does_urban_centrality_influence_residential_prices_An_analysis_for_the_Barcelona_Metropolitan_Area)> Acesso em: 16 ago. 2019.

METRÔ RIO. *Metrô Rio- Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Metropolitano do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Metrô Rio, 2010.

METRÔ RIO. “Sobre o Metrô Rio”. Disponível em: <<https://www.metrorio.com.br/Empresa/Sobre>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Indicadores de Efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Brasília, [s.n.] 2016. Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/component/content/article?id=4761>>. Acesso em: 06 mai. 2019.

NISTOR, M. S., DEHMER, M., PICKL, S. "Network Exploratory Analysis on Subway Transportation Systems against Complex Threats Including a Human Factors Perspective", *Procedia Manufacturing*, v. 3, n. Ahfe, p. 6593–6598, 2015. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.711. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197891500712X>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

ORRICO, R. D., NETO, J. B. P., GEAQUINTO, P. D. "Identification of polycentric structures in Rio de Janeiro with flow data from the metro system”, *Revista Produção e Desenvolvimento*, v. 4, pp. 42–61, 2018. Disponível em: < <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedeseenvolvimento/article/view/e296>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

PACIONE, M., "URBAN GEOGRAPHY IN THE THIRD WORLD". *Urban Geography: A global perspective*, 2. ed. Nova York, EUA, Taylor & Francis Group, 2005. p. 957.

PEREIRA, R.H.M.; NALADIN, V.; MONASTERIO, L; ALBUQUERQUE, P.H.M.. "Quantificando a centralidade urbana: uma proposta de índice simples e comparação internacional", p. 2–40, 2011. Disponível em:< [https://www.Ipea.gov.br/port al /ind ex .p hp?opt ion=com\\_content&view=article&id=12542](https://www.Ipea.gov.br/port al /ind ex .p hp?opt ion=com_content&view=article&id=12542)>. Acesso em: 14 mai. 2019.

PESSOA, R.P. "Em busca de uma definição de policentrismo urbano para as metrópoles brasileiras", *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, n. 120, pp. 297–318, 2011. Disponível em: < [http://journaldatabase.info/articulos/busca\\_uma\\_definicao\\_policentrismo.html](http://journaldatabase.info/articulos/busca_uma_definicao_policentrismo.html)>. Acesso: 19 jan. 2020.

PORTUGAL, L.S. *Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano*. 1ed. Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda, 2017. Edição do Kindle.

PORTUGAL, L.S., CARMO, M. R. R. do, NETTO, P. O. B. " Uma heurística interativa para geração de caminhos em grafos com restrição de grau: aplicação ao projeto de sistemas metroviários", *Pesquisa Operacional*, v. 4, pp. 9–36, 2002. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/26357316Uma\\_heuristica\\_interativa\\_para\\_geracao\\_de\\_caminhos\\_em\\_grafos\\_com\\_restricao\\_de\\_grau\\_aplicacao\\_ao\\_projeto\\_de\\_sistemas\\_metroviarios](https://www.researchgate.net/publication/26357316Uma_heuristica_interativa_para_geracao_de_caminhos_em_grafos_com_restricao_de_grau_aplicacao_ao_projeto_de_sistemas_metroviarios)>. Acesso em: 27 dez. 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS)*. Rio de Janeiro, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: < [https://www.rio.rj.gov.br/web/pmus/documentos/-/document\\_library\\_display/7QYh/view/7289166](https://www.rio.rj.gov.br/web/pmus/documentos/-/document_library_display/7QYh/view/7289166)>. Acesso em: 02 jan. 2019.

RAVEAU, S., MUÑOZ, J. C., DE GRANGE, L. "A topological route choice model for metro", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 45, n. 2, p. 138–147, 2011. DOI: Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096585641000162X>,2011.> Acesso em: 19 de set. 2019.

ROTH, C., KANG, S. M., BATTY, M., et al. "A long-time limit for world subway networks", *Journal of the Royal Society Interface*, v. 9, n. 75, p. 2540–2550, 2012. DOI: 10.1098/rsif.2012.0259. Disponível em: < <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsif.2012.0259>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

SALVATI, L., SATERIANO, A., RONTOS, K. "Towards an indicator of urban centrality? Exploring changes in present and resident population (1991-2011) in Greece", *Ecological Indicators*, v. 61, p. 188–192, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.09.011.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X15004975>>. Acesso em: 25 set. 2019.

SANTOS, M. *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. 4. ed. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_es](http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_es)>. Acesso em: 30 set. de 2019.

SETRANS - SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTE DO RIO DE JANEIRO, "Minuta do Relatório 4- Planejamento e Execução das Pesquisas Parte III - Diagnóstico da Situação Atual". *Plano Diretor de Transportes Urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro 2013*, Rio de Janeiro, [s.n.], 2015. p. 299. Disponível em: <[http://www.thecityfixbrasil.org/wp-content/uploads/2015/08/Rio-de-Janeiro\\_2013.pdf](http://www.thecityfixbrasil.org/wp-content/uploads/2015/08/Rio-de-Janeiro_2013.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2018.

SHEN, Y., KARIMI, K. "Urban evolution as a spatio-functional interaction process: the case of central Shanghai", *Journal of Urban Design*, v. 23, n. 1, p. 42–70, 2018. DOI: 10.1080/13574809.2017.1337496. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/318044268\\_Urban\\_evolution\\_as\\_a\\_spatio-functional\\_interaction\\_process\\_the\\_case\\_of\\_central\\_Shanghai](https://www.researchgate.net/publication/318044268_Urban_evolution_as_a_spatio-functional_interaction_process_the_case_of_central_Shanghai)>. Acesso em: 24 jan. 2020.

SOUZA, M. L. de. *ABC do Desenvolvimento Urbano*. 3. ed. Rio de Janeiro, BERTRAND BRASIL, 2003. v. 3º ed.

TSAI, Y. H. "Quantifying urban form: Compactness versus “sprawl”", *Urban Studies*, v. 42, n. 1, p. 141–161, 2005. DOI: 10.1080/0042098042000309748. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/0042098042000309748>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

TURNER, M. A ; GONZALEZ-NAVARRO, M.. "Subways and urban growth: Evidence from earth", *Journal of Urban Economics*, v. 108, n. September, p. 85–106, 2018. DOI: 10.1016/j.jue.2018.09.002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009411901830072X>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

UNITED NATIONS. *Johannesburg Declaration on Sustainable Development*. 2012. United Nations Division For Sustainable Development. Disponível em: <[https://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/POI\\_PD.htm](https://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POI_PD.htm)>. Acesso em: 2 abr. 2020.

VASCONCELOS, V. V., FEITOSA, F. F. Autocorrelação espacial. 2017. *Notas de aula para a disciplina Métodos e Técnicas de Análise de Informação para o planejamento*. Universidade Federal do ABC. Disponível em: <[https://www.slideshare.net/vitor\\_vasconcelos/autocorrelao-espacial](https://www.slideshare.net/vitor_vasconcelos/autocorrelao-espacial)>. Acesso em: 27 jun. 2019.

WENTZ, E. A., YORK, A. M., ALBERTI, M., et al. "Six fundamental aspects for conceptualizing multidimensional urban form: A spatial mapping perspective", *Landscape and Urban Planning*, v. 179, n. January, p. 55–62, 2018. DOI:10.1016/j.landurbplan.2018.07.007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204618306455>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

WOLKINGER, B., HAAS, W., BACHNER, G., et al. "Evaluating health co-benefits of climate change mitigation in urban mobility", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 5, p. 1–27, 2018. DOI: 10.3390/ijerph15050880. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29710784/>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

XIA, F., WANG, J., KONG, X., et al. "Ranking Station Importance with Human Mobility Patterns Using Subway Network Datasets", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 21, n. 7, p. 2840–2852, 2020. DOI: 10.1109/TITS.2019.2920962. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/333794279\\_Ranking\\_Station\\_Importance\\_With\\_Human\\_Mobility\\_Patterns\\_Using\\_Subway\\_Network\\_Datasets](https://www.researchgate.net/publication/333794279_Ranking_Station_Importance_With_Human_Mobility_Patterns_Using_Subway_Network_Datasets)>. Acesso em: 24 jun. 2020.

XIAO, X. mei, JIA, L. min, WANG, Y. hui. "Correlation between heterogeneity and vulnerability of subway networks based on passenger flow", *Journal of Rail Transport Planning and Management*, v. 8, n. 2, p. 145–157, 2018. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2018.03.004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210970617300835>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

XU, Q., MAO, B. H., BAI, Y. "Network structure of subway passenger flows", *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, v. 2016, n. 3, 2016. DOI: 10.1088/1742-5468/2016/03/033404. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/299381815\\_Network\\_structure\\_of\\_subway\\_passenger\\_flows](https://www.researchgate.net/publication/299381815_Network_structure_of_subway_passenger_flows)>. Acesso em: 04 mai. 2019.

YE, H., HE, X. Y., SONG, Y., et al. "A sustainable urban form: The challenges of compactness from the viewpoint of energy consumption and carbon emission", *Energy and Buildings*, v. 93, p. 90–98, 2015. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.02.011. Acesso em: 19 de abr. 2019. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778815001061>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

YIN, C., YUAN, M., LU, Y., et al. "Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model", *Science of the Total Environment*, v. 634, p. 696–704, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.350. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S02095756416302458>>. Acesso: 20 out. 2019.

YUAN, M., SONG, Y., HUANG, Y., et al. "Exploring the Association between Urban Form and Air Quality in China", *Journal of Planning Education and Research*, v. 38, n. 4, p. 413–426, 2018. DOI: 10.1177/0739456X17711516. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/290475584\\_Research\\_on\\_the\\_relationship\\_between\\_urban\\_form\\_and\\_urban\\_smog\\_in\\_China](https://www.researchgate.net/publication/290475584_Research_on_the_relationship_between_urban_form_and_urban_smog_in_China)>. Acesso: 22 jan. 2020.

ZAMBON, I., SERRA, P., GRIGORIADIS, E., et al. "Emerging urban centrality: An entropy-based indicator of polycentric development and economic growth", *Land Use Policy*, v. 68, n. July, p. 365–371, 2017. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.07.063. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026483771630117X>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

ZHANG, T., SUN, B., LI, W. "The economic performance of urban structure: From the perspective of Polycentricity and Monocentricity", *Cities*, v. 68, n. January, p. 18–24, 2017. DOI: 10.1016/j.cities.2017.05.002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275116309520>>. Acesso: 02 de jan. 2020.

ZHANG, X., MILLER-HOOKS, E., DENNY, K. "Assessing the role of network topology in transportation network resilience", *Journal of Transport Geography*, v. 46, p. 35–45, 2015. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.05.006. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692315000794>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

ZHENG, S., ZHANG, Y., WANG, R. "Does better subway accessibility discourage driving? An analysis based on 2009 micro survey in Beijing", *Proceedings of the 16th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, CRIOCM 2011*, p. 38–43, 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/289246250Does\\_better\\_subway\\_accessibility\\_discourage\\_driving\\_An\\_analysis\\_based\\_on\\_2009\\_micro\\_survey\\_in\\_Beijing](https://www.researchgate.net/publication/289246250Does_better_subway_accessibility_discourage_driving_An_analysis_based_on_2009_micro_survey_in_Beijing)>. Acesso em: 08 abr. 2019.

ZHONG, C.; SCHLÄPFER, M., MÜLLER ARISONA, *et al.* "Revealing centrality in the spatial structure of cities from human activity patterns", *Urban Studies*, v. 54, n. 2, p. 437–455, 2017. DOI: 10.1177/0042098015601599. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/282908873\\_Revealing\\_centrality\\_in\\_the\\_spatial\\_structure\\_of\\_cities\\_from\\_human\\_activity\\_patterns](https://www.researchgate.net/publication/282908873_Revealing_centrality_in_the_spatial_structure_of_cities_from_human_activity_patterns)>. Acesso em: 19 abr. 2019.

ZHU, L., LUO, J. "The Evolution Analysis of Guangzhou Subway Network by Complex Network Theory", *Procedia Engineering*, v. 137, p. 186–195, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.249. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705816002629>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

APÊNDICE I - POPULAÇÃO POR BAIRROS PROJETADA PARA 1990

População por bairros prevista para o ano de 1990

Bairros	População
Madureira	787.799
Irajá	604.780
Bangu	579.864
Méier	498.326
Penha	498.320
Ramos	478.388
Campo Grande	366.945
Jacarepaguá	349.277
Copacabana	275.805
Tijuca	218.964
Botafogo	194.352
Engenho Novo	187.131
Santa Cruz	148.137
Ipanema	132.529
Laranjeiras	123.333
Santa Teresa	114.998
Flamengo	110.880
Rio Comprido	110.496
Maracanã	108.797
Engenho de Dentro	97.478
Gávea	97.269
Riachuelo	93.980
Andaraí	93.299
Vila Isabel	92.597
Leblon	90.518
São Cristóvão	85.874
Lagoa	85.316
Jacarezinho	69.897
Benfica	62.607
Lins de Vasconcelos	55.698
Catete	54.188
Cachambi	51.996
Grajaú	51.143
Leme	49.309
Caju	21.241
Urca	18.027
Bancários	10.699
Cacuaia	10.699
Cocotá	10.699
Freguesia	10.699

Galeão	10.699
Jardim Carioca	10.699
Jardim Guanabara	10.699
Moneró	10.699
Pitangueiras	10.699
Portuguesa	10.699
Ribeira	10.699
Tauá	10.699
Zumbi	10.699
Paquetá	9.513
Gamboa	7.518

---

Fonte: Metrô Rio(2010, p.130)



APÊNDICE II - EMPREGOS POR BAIRROS PREVISTOS PARA 1990

Empregos por bairros previstos para 1990	
Bairros	Empregos
Centro	1.091.169
Cidade Nova	434.438
Copacabana	284.162
Madureira	173.372
Bangu	158.757
São Cristóvão	121.390
Méier	113.765
Ramos	108.568
Botafogo	96.710
Penha	95.108
Gamboa	82.912
Irajá	82.748
Santa Cruz	79.771
Campo Grande	73.520
Tijuca	69.642
Flamengo	65.754
Riachuelo	52.300
Ipanema	47.634
Jacarepaguá	46.885
Laranjeiras	44.618
Freguesia - Ilha do Governador	42.824
Maracanã	41.877
Caju	36.355
Engenho de Dentro	27.705
Benfica	26.137
Urca	25.556
Rio Comprido	24.472
Leblon	24.420
Engenho Novo	24.303
Santa Teresa	19.216
Gávea	19.045
Andaraí	18.141
Vila Isabel	16.477
Cachambi	14.288
Leme	11.074
Catete	9.270
Lagoa	9.029
Lins de Vasconcelos	6.559
Jacarezinho	4.849
Grajaú	3.967
Paqueta	1.954

APÊNDICE III - POPULAÇÃO POR BAIRRO EM 2010

População por bairros no ano de 2010	
Bairros	População
Campo Grande	328.370
Bangu	243.125
Santa Cruz	217.333
Realengo	180.123
Tijuca	163.805
Jacarepaguá	157.326
Copacabana	146.392
Barra da Tijuca	135.924
Maré	129.770
Guaratiba	110.049
Senador Camará	105.515
Taquara	102.126
Pavuna	97.350
Irajá	96.382
Paciência	94.626
Vila Isabel	86.018
Botafogo	82.890
Recreio dos Bandeirantes	82.240
Penha	78.678
Cosmos	77.007
Freguesia	70.511
Rocinha	69.356
Complexo do Alemão	69.143
Inhoaíba	64.649
Padre Miguel	64.228
Praça Seca	64.147
Brás de Pina	59.222
Olaria	57.514
Sepetiba	56.575
Anchieta	55.652
Madureira	50.106
Flamengo	50.043
Méier	49.828
Marechal Hermes	48.061
Penha Circular	47.816
Guadalupe	47.144
Leblon	46.044
Inhaúma	45.698
Laranjeiras	45.554
Engenho de Dentro	45.540
Cordovil	45.202
Rocha Miranda	44.188
Rio Comprido	43.764
Bento Ribeiro	43.707
Piedade	43.378
Ipanema	42.743
Cachambi	42.415

Engenho Novo	42.172
Vigário Geral	41.820
Santíssimo	41.458
Centro	41.142
Santa Teresa	40.926
Ramos	40.792
Andaraí	39.365
Grajaú	38.671
Itanhangá	38.415
Tanque	37.856
Jacarezinho	37.839
Lins de Vasconcelos	37.487
Cidade de Deus	36.515
Manguinhos	36.160
Pechincha	34.709
Cascadura	34.456
Oswaldo Cruz	34.040
Coelho Neto	32.423
Vila Valqueire	32.279
Jardim Guanabara	32.213
Curicica	31.189
Quintino Bocaiúva	31.185
Senador Vasconcelos	30.600
Tauá	29.567
Ricardo de Albuquerque	29.310
Colégio	29.245
Costa Barros	28.442
Acari	27.347
Pilares	27.250
Vargem Pequena	27.250
Engenho da Rainha	26.659
São Cristóvão	26.510
Parque Anchieta	26.212
Vila da Penha	25.465
Maracanã	25.256
Jardim América	25.226
Benfica	25.081
Vicente de Carvalho	24.964
Jardim Carioca	24.848
Todos os Santos	24.646
Magalhães Bastos	24.430
Anil	24.172
Catete	24.057
Parada de Lucas	23.923
Portuguesa	23.856
Galeão	22.971
Tomás Coelho	22.676
Honório Gurgel	21.989
Lagoa	21.198
Caju	20.477

Freguesia	19.437
Bonsucesso	18.711
Vila Kosmos	18.274
Jardim Botânico	18.009
Mangueira	17.835
Gardênia Azul	17.715
Turiaçu	17.246
Estácio	17.189
Cavalcanti	16.141
Gávea	16.003
Higienópolis	15.734
Del Castilho	15.610
Vasco da Gama	15.482
Gericinó	15.167
Vaz Lobo	15.167
Encantado	15.021
Leme	14.799
Barros Filho	14.049
Vargem Grande	14.039
Humaitá	13.285
Vila Militar	13.184
Gamboa	13.108
Jardim Sulacap	13.062
Vidigal	12.797
Riachuelo	12.653
Catumbi	12.556
Bancários	12.512
Santo Cristo	12.330
Pitangueiras	11.756
Abolição	11.356
Cacuaia	11.013
São Conrado	10.980
Sampaio	10.895
Deodoro	10.842
Campinho	10.156
Glória	9.661
Pedra de Guaratiba	9.488
Alto da Boa Vista	9.343
Jacaré	9.276
Parque Columbia	9.202
Rocha	8.766
Água Santa	8.756
Praça da Bandeira	8.662
Vista Alegre	8.622
São Francisco Xavier	8.343
Maria da Graça	7.972
Cosme Velho	7.178
Urca	7.061
Moneró	6.476
Engenheiro Leal	6.113

Praia da Bandeira	5.948
Cidade Nova	5.466
Cocotá	4.877
Barra de Guaratiba	3.577
Ribeira	3.528
Paquetá	3.361
Saúde	2.749
Zumbi	2.016
Camorim	1.970
Cidade Universitária	1.556
Campo dos Afonsos	1.365
Joá	818
Grumari	167

---

Fonte: Metrô Rio(2010, p.130)

APÊNDICE IV - EMPREGOS FORMAIS POR BAIRRO EM 2017

Empregos por bairros no ano de 2017	
Bairros	Empregos
Centro	494.825
Barra da Tijuca	151.467
Cidade Nova	103.746
Santo Cristo	88.644
Botafogo	78.627
Tijuca	71.730
Campo Grande	68.017
São Cristóvão	65.127
Copacabana	50.576
Bonsucesso	44.700
Santa Cruz	29.255
Taquara	25.537
Freguesia - Jacarepaguá	24.476
Madureira	24.459
Maracanã	24.339
Bangu	24.166
Penha	23.801
Ipanema	23.307
Penha Circular	23.016
Leblon	22.538
Rio Comprido	20.896
Jacarepaguá	20.576
Laranjeiras	19.182
Ramos	18.866
Gávea	18.649
Cidade Universitária	18.553
Irajá	18.287
Méier	17.696
Flamengo	15.758
Recreio dos Bandeirantes	15.522
Realengo	15.090
Inhaúma	15.072
Glória	15.051
Galeão	15.043
Benfica	13.546
Vigário Geral	13.300
São Francisco Xavier	12.345
Saúde	12.241
Vila Isabel	12.168
Pilares	12.155
Pavuna	12.074
Pechincha	11.992
Curicica	11.924

Manguinhos	11.905
Praça da Bandeira	11.290
Jardim Botânico	11.157
Coelho Neto	10.556
Olaria	9.692
Jardim América	8.997
Cascadura	8.693
Quintino Bocaiúva	8.601
Jacaré	8.110
Vila Valqueire	7.874
Estácio	7.854
Engenho de Dentro	7.512
Anil	7.163
Cordovil	7.132
Vila da Penha	6.647
Del Castilho	6.508
Andaraí	6.226
Engenho Novo	6.182
Guaratiba	6.122
Cachambi	6.049
Catete	5.840
Humaitá	5.784
Jardim Guanabara	5.784
Tanque	5.499
Caju	4.854
Piedade	4.697
Lagoa	4.610
Higienópolis	4.559
Guadalupe	4.452
Paciência	4.251
São Conrado	4.076
Rocha	3.926
Santíssimo	3.919
Padre Miguel	3.903
Campinho	3.798
Rocha Miranda	3.725
Jardim Carioca	3.716
Vicente de Carvalho	3.705
Jardim Sulacap	3.674
Maria da Graça	3.531
Anchieta	3.530
Bento Ribeiro	3.476
Senador Camará	3.352
Praça Seca	3.334
Grajaú	3.305
Cacuaia	3.297

Inhoaíba	3.296
Itanhangá	3.139
Parada de Lucas	3.074
Marechal Hermes	3.021
Abolição	2.961
Oswaldo Cruz	2.836
Lins de Vasconcelos	2.591
Vargem Grande	2.497
Brás de Pina	2.394
Gardênia Azul	2.380
Vista Alegre	2.372
Todos os Santos	2.304
Cosme Velho	2.182
Vaz Lobo	2.134
Acari	2.120
Santa Teresa	2.115
Tauá	2.070
Maré	2.021
Ribeira	2.011
Riachuelo	1.999
Freguesia - Ilha do Governador	1.945
Colégio	1.933
Portuguesa	1.799
Cosmos	1.692
Engenho da Rainha	1.681
Leme	1.668
Pedra de Guaratiba	1.580
Barros Filho	1.570
Campo dos Afonsos	1.555
Sepetiba	1.426
Encantado	1.367
Cidade de Deus	1.365
Vidigal	1.365
Senador Vasconcelos	1.328
Turiaçú	1.293
Ricardo de Albuquerque	1.198
Deodoro	1.195
Catumbi	1.123
Honório Gurgel	1.080
Vargem Pequena	1.006
Sampaio	994
Vila Cosmos	954
Urca	930
Cocotá	924
Moneró	892
Alto da Boa Vista	839



Joá	818
Parque Anchieta	800
Tomás Coelho	757
Gamboa	734
Magalhães Bastos	726
Cavalcanti	630
Água Santa	620
Bancários	567
Praia da Bandeira	527
Engenheiro Leal	358
Barra de Guaratiba	306
Mangueira	295
Costa Barros	273
Zumbi	259
Camorim	221
Paquetá	204
Pitangueiras	70
Vila Militar	50
Grumari	42
Rocinha	1
Complexo do Alemão	0
Gericinó	0
Jacarezinho	0
Parque Colúmbia	0
Vasco da Gama	0

---

Fonte: Metrô Rio (2010, p.135)

## APÊNDICE V - DADOS BÁSICOS DAS REDES

Dados das redes metroviárias- Adaptado de Derrible

Rede	Dados Básicos			Vértices			Vértices x Linhas				Arestas			Transferências	
	Extensão R(km)	Estações		Total V	Final Ve	Transferência Vt	Linhas por estação				Total E	Simples Es	Múltiplas Em	Nº Máx.	
		Ns	Nl				2	3	4	5					6
Rio II B	66,9	55	2	6	4	2	2	0	0	0	0	6	6	0	1
Rio 2020	57,0	41	3	5	3	2	2	0	0	0	0	4	3	1	2
Bruxelas	39,5	59	3	9	5	4	3	1	0	0	0	11	9	2	1
Washington	171,1	86	5	17	9	8	4	3	1	0	0	25	19	6	1
Toronto	68,8	69	4	10	5	5	5	0	0	0	0	11	10	1	3
Montreal	60,9	68	4	10	6	4	3	1	0	0	0	11	11	0	2
Boston	102,6	117	5	29	16	13	10	3	0	0	0	32	31	1	3
Marselha	19,0	24	2	6	4	2	2	0	0	0	0	6	6	0	1
Deli	68,0	59	3	8	6	2	2	0	0	0	0	7	7	0	2
Singapura	89,4	64	4	12	6	6	6	0	0	0	0	13	12	1	3
Cairo	65,5	53	2	6	4	2	2	0	0	0	0	6	6	0	1
Roma	34,9	47	2	5	4	1	1	0	0	0	0	4	4	0	1
Milão	74,1	87	3	14	8	6	6	0	0	0	0	15	15	0	1
Atenas	52,0	44	3	9	5	4	4	0	0	0	0	10	10	0	1
Estocolmo	109,5	100	3	20	11	9	8	1	0	0	0	22	20	2	1
Praga	59,1	54	3	9	6	3	3	0	0	0	0	9	9	0	1
Bucareste	62,3	45	4	11	5	6	6	0	0	0	0	13	12	1	2
São Petesburgo	104,2	54	4	13	7	6	6	0	0	0	0	15	15	0	1
Hong-Kong	91,0	53	7	17	7	10	10	0	0	0	0	20	18	2	3
Buenos Aires	48,9	63	5	12	8	4	2	2	0	0	0	13	13	0	2
Lyon	29,3	39	4	10	6	4	4	0	0	0	0	10	10	0	3
Lisboa	37,0	44	4	11	7	4	4	0	0	0	0	11	11	0	2
Cidade do México	177,1	151	11	35	12	23	15	7	1	0	0	47	47	0	2
Barcelona	102,6	123	9	29	11	18	14	2	2	0	0	44	42	2	3
Berlin	151,7	170	9	32	14	18	15	2	1	0	0	45	43	2	3
Osaka	125,4	121	8	36	12	24	22	2	0	0	0	53	53	0	3
Paris	211,3	297	14	77	23	54	37	11	3	2	0	137	126	11	3
Madri	226,7	190	13	46	10	36	27	8	1	0	0	82	81	1	3
Chicago	173,1	151	8	24	11	13	5	4	2	1	1	47	29	18	3
Londres	438,7	306	13	83	27	56	36	13	5	1	1	155	125	30	2
Xangai	225,0	162	8	22	10	12	7	5	0	0	0	32	29	3	3
Moscou	282,5	173	12	42	14	28	20	7	1	0	0	67	65	2	2
Nova York	368,1	422	9	73	26	47	33	7	5	2	0	130	109	21	3
Tóquio	292,4	202	13	61	16	45	31	9	3	2	0	119	111	8	2
Seul	287,0	286	11	71	17	54	50	4	0	0	0	135	134	1	3

Fonte: Adaptado de Derrible(2010,p. 69)

## APÊNDICE VI - INDICADORES DAS REDES

### Indicadores de Características das Redes

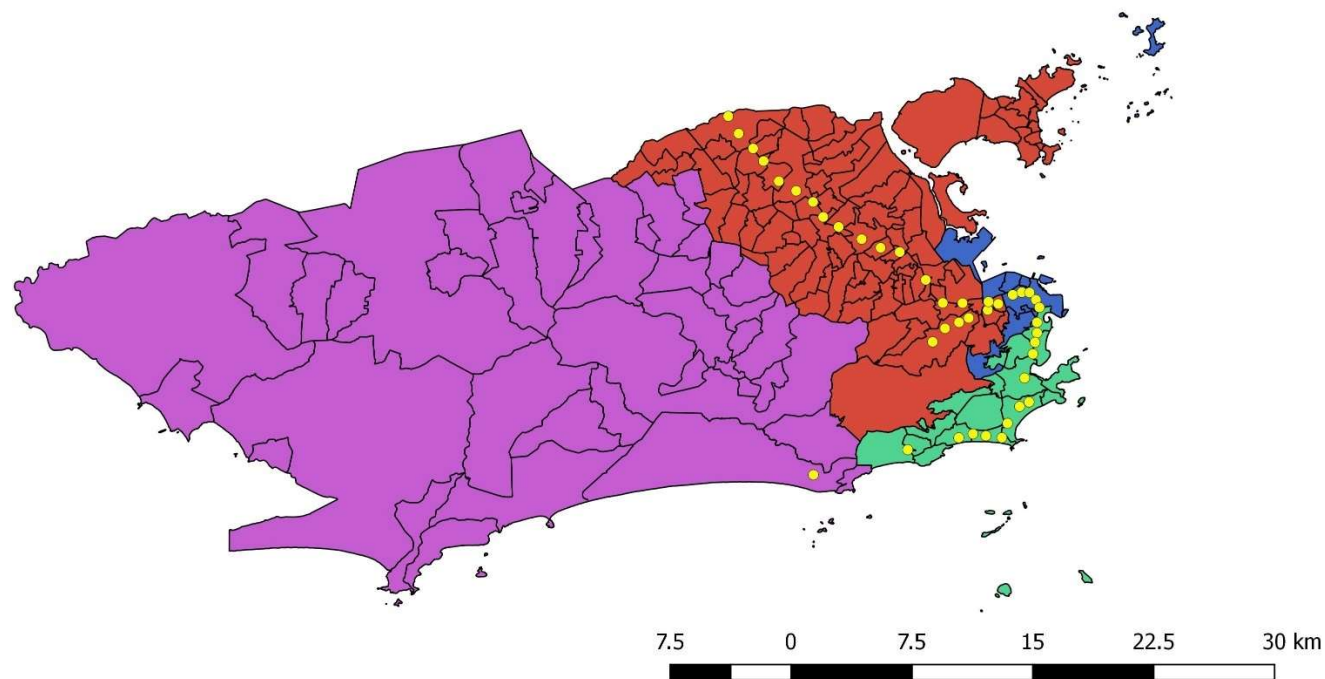
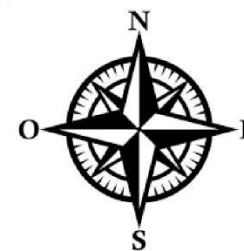
Rede	Estado		Forma		Estrutura		
Nome	$\beta$	$Y$	A(km)	S(Km)	Vtc	$\rho$	$\tau$
Rio IIB	1,00	0,50	33,43	1,22	2,00	1,00	2,00
Rio 2020	0,80	0,44	19,00	1,39	2,00	0,50	1,50
Bruxelas	1,22	0,52	13,17	0,67	5,00	0,75	3,00
Washington	1,47	0,56	34,23	1,99	13,00	0,88	5,00
Toronto	1,10	0,46	17,19	1,00	5,00	0,80	1,33
Montreal	1,10	0,46	15,22	0,90	5,00	1,25	2,00
Boston	1,10	0,40	20,51	0,88	16,00	1,15	1,67
Marselha	1,00	0,50	9,50	0,79	2,00	1,00	2,00
Deli	0,88	0,39	22,67	1,15	2,00	1,00	1,50
Singapura	1,08	0,43	22,35	1,40	6,00	0,83	1,33
Cairo	1,00	0,50	32,75	1,24	2,00	1,00	2,00
Roma	0,80	0,44	17,47	0,74	1,00	1,00	2,00
Milão	1,07	0,42	24,69	0,85	6,00	1,00	3,00
Atenas	1,11	0,48	17,33	1,18	4,00	1,00	3,00
Estocolmo	1,10	0,41	36,49	1,09	10,00	0,89	3,00
Praga	1,00	0,43	19,70	1,09	3,00	1,00	3,00
Bucareste	1,18	0,48	15,58	1,38	6,00	0,83	2,00
São Petesburgo	1,15	0,45	26,04	1,93	6,00	1,00	4,00
Hong-Kong	1,18	0,44	13,00	1,72	10,00	0,80	2,33
Buenos Aires	1,08	0,43	9,79	0,78	6,00	1,50	2,50
Lyon	1,00	0,42	7,33	0,75	4,00	1,00	1,33
Lisboa	1,00	0,41	9,26	0,84	4,00	1,00	2,00
Cidade do México	1,34	0,47	16,10	1,17	32,00	1,39	5,50
Barcelona	1,52	0,54	11,40	0,83	24,00	1,22	3,00
Berlin	1,41	0,50	16,86	0,89	22,00	1,11	3,00
Osaka	1,47	0,52	15,68	1,04	26,00	1,08	2,67
Paris	1,78	0,61	15,09	0,71	76,00	1,20	4,67
Madri	1,78	0,62	17,44	1,19	46,00	1,25	4,33
Chicago	1,96	0,71	21,64	1,15	28,00	0,77	2,67
Londres	1,87	0,64	33,75	1,43	86,00	1,00	6,50
Xangai	1,45	0,53	28,13	1,39	17,00	1,17	2,67
Moscou	1,60	0,56	23,54	1,63	37,00	1,25	6,00
Nova York	1,78	0,61	40,89	0,87	70,00	1,04	3,00
Tóquio	1,95	0,67	22,49	1,45	66,00	1,29	6,50
Seul	1,90	0,65	26,09	1,00	58,00	1,06	3,67

Fonte: Adaptado de Derrible(2010,p. 69)

## APÊNDICE VII - ZONAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO EM 2020

### Zonas da cidade do Rio de Janeiro-2020

- Estações do metrô
- Limite dos bairros
- Zona Norte
- Zona Oeste
- Zona Sul
- Centro



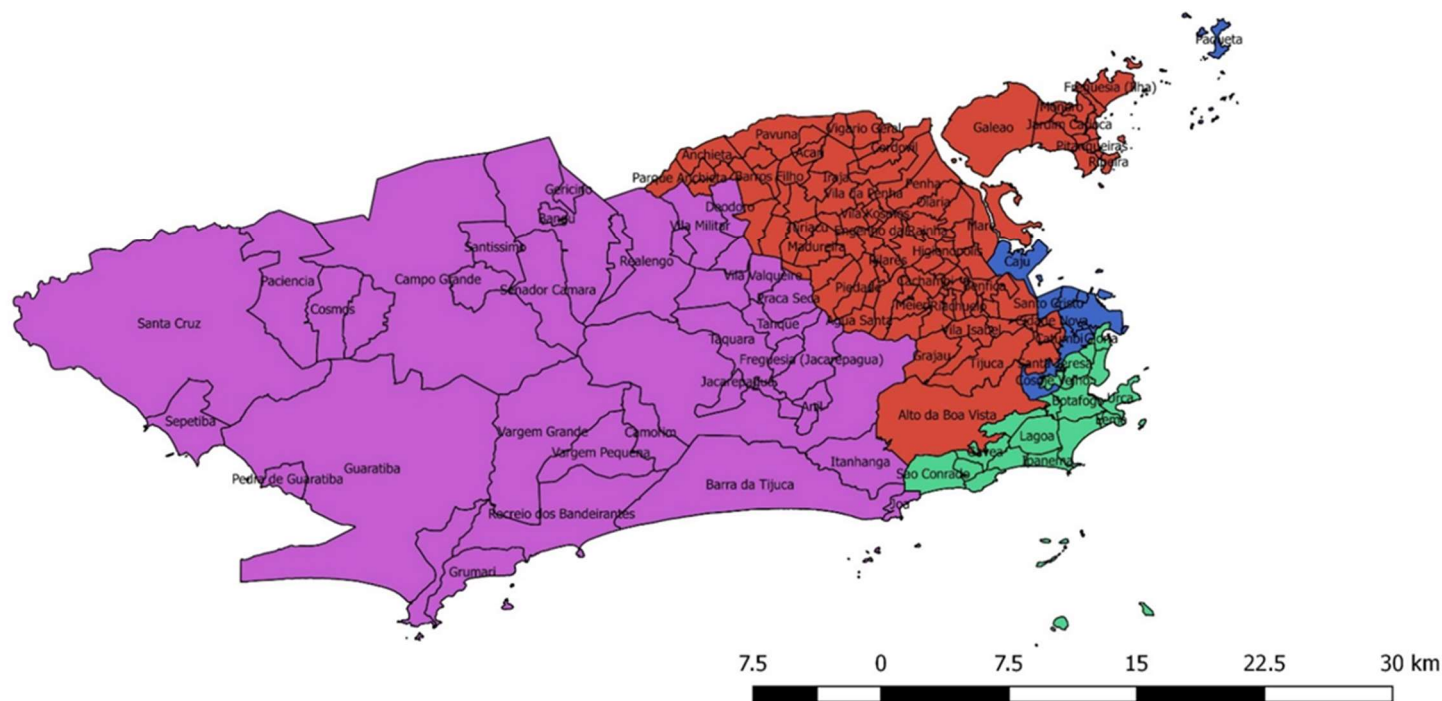
Fonte: Elaboração própria

## APÊNDICE VIII - BAIRROS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO EM 2020

Bairros e zonas da cidade do Rio de Janeiro 2020

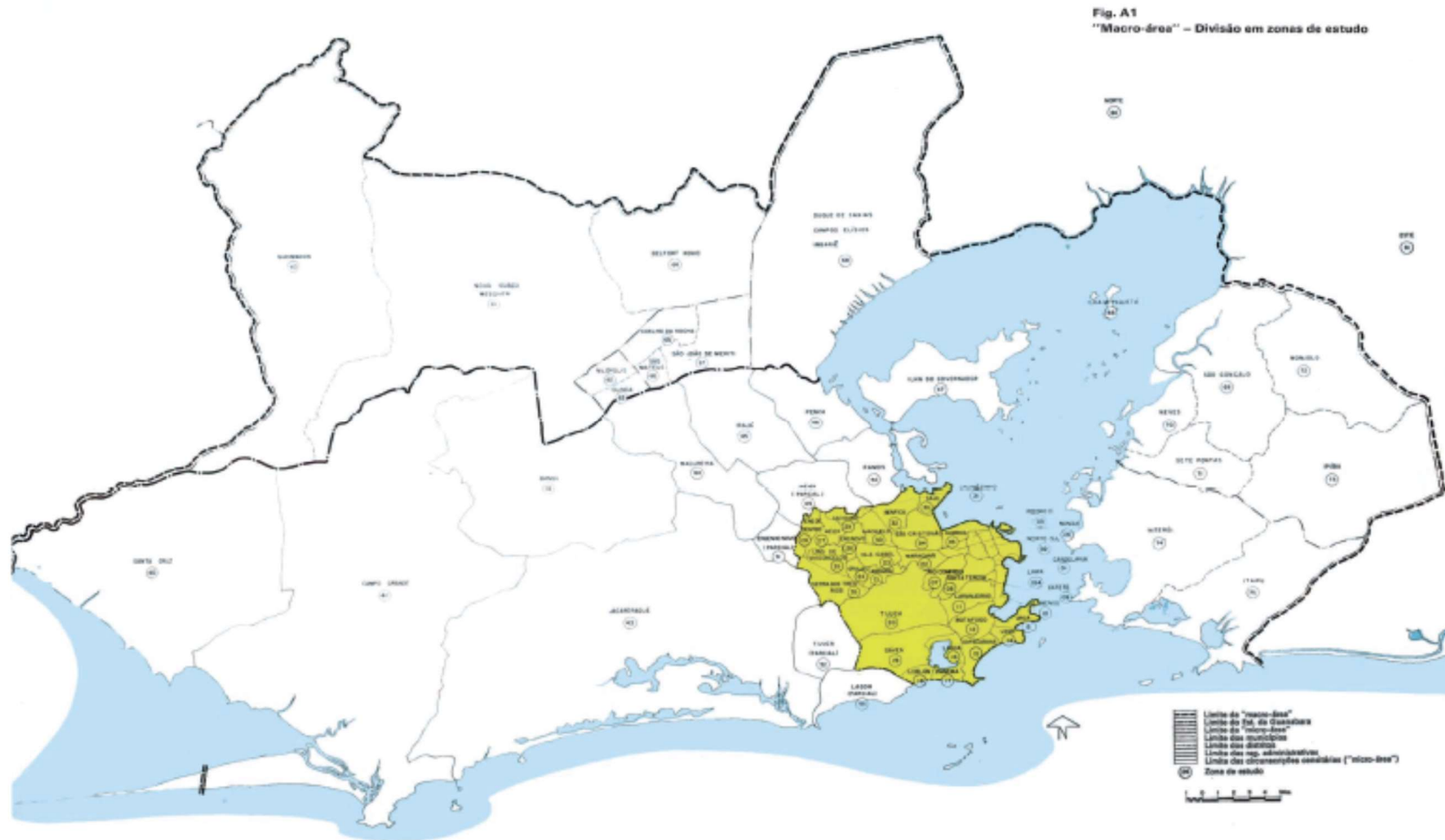
Limite dos bairros

- Zona Norte
- Zona Oeste
- Zona Sul
- Centro



Fonte: Elaboração própria

# ANEXO I - MACRO E MICROÁREA DELIMITADAS PELO GRUPO DE ESTUDOS



ANEXO II- MAPA DA REDE EM 2020



Rede metroviária da cidade do Rio de Janeiro em 2020. Adaptado de Metrô Rio (2020).



