UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

NUNO REZENDE DE ALENCASTRO GRAÇA

ANÁLISE DAS DESIGUALDADES DE ACESSIBILIDADE AO TRABALHO E RENDA EM SÃO PAULO

SÃO PAULO

2019

NUNO REZENDE DE ALENCASTRO GRAÇA

Análise das desigualdades de acessibilidade ao trabalho e renda em São Paulo

Versão Revisada

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de mestre em ciências

Área de concentração: Engenharia de Transportes

Orientadora: Profa. Mariana Abrantes Giannotti

São Paulo

2019

Nome: GRAÇA, Nuno Rezende de Alencastro

Título: Análise de indicadores de acessibilidade ao trabalho e suas relações com a desigualdade de renda em São Paulo

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de mestre em ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dra. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dra. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dra. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001

Meus agradecimentos pessoais vão:

À Professora Dra. Mariana Giannotti, por sua dedicação na orientação do seguinte trabalho.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade em realizar o curso de Mestrado, em especial aos professores e funcionários do programa de Engenharia de Transportes (PTR).

Aos colegas de curso e de laboratório que me auxiliaram durante as etapas do curso e deste trabalho em si, dando sugestões e conselhos para a superação dessa meta. Fica meu agradecimento em especial aos alunos de doutorado Diego Bogado Tomasiello e Renato Arbex pelo fornecimento e processamento de dados para os indicadores de acessibilidade, e ao técnico de laboratório Leonardo Fernandes pelo auxílio no gerenciamento de dados.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar as relações espaciais entre acessibilidade a empregos e desigualdades de renda na cidade de São Paulo. A acessibilidade e sua relação com as desigualdades sociais têm sido cada vez mais discutidas em pesquisas recentes e, embora alguns estudos tenham abordado questões de desigualdade de acessibilidade, pouco se discutiu sobre a influência dos dados de tempo de viagem nas medidas de acessibilidade e nos subsequentes resultados de modelagem. Para avaliar a distribuição espacial por modo, este trabalho explora três fontes de dados diferentes, a saber, uma rede em SIG desenvolvida usando dados AVL, uma matriz O/D de um modelo de transporte de quatro etapas e o tempo de viagem do API do Google Maps. Evidências de auto correlação espacial entre acessibilidade e distribuição de renda foram encontradas pela aplicação do índice de Moran nos resíduos de regressão global com base em todos os testes de fontes de dados, cujos valores variaram de 0,51 até 0,8 para ambos os modos de transporte público e individual. Um modelo GWR foi calculado, e os parâmetros resultantes indicaram uma relação positiva entre acessibilidade e renda, com valores R^2 variando de 50% a 78%, dependendo da fonte de dados e do modo de transporte. Para efeitos de comparação, foi produzida uma análise comparativa das classes de valores de acessibilidade e renda para avaliar os resultados da regressão por áreas distintas da cidade. Uma conclusão geral é que a relação entre baixa acessibilidade e baixa renda é marcante e mais significativa do que a existente entre alta acessibilidade e alta renda.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the spatial relationships between accessibility to jobs and income inequalities in the city of São Paulo. Accessibility and its relationship with social inequalities have been increasingly discussed in recent researches, and although some studies have been tackling accessibility inequalities issues, not much have been discussed regarding the influence of travel time data on accessibility measures and subsequent modeling results. In order to evaluate spatial distribution by mode, this work explores three different data sources, namely a GIS network developed using AVL data, an OD matrix from a four-stage transportation model and Google´s Map API travel time. Evidences of spatial autocorrelation between accessibility and income distribution were found by the application of Moran index on global regression residuals based on all data sources tests, which values varied from 0,51 until 0,8 for both transit and private mode. A GWR model was computed, and the resulting parameters indicated a positive relation between accessibility and income, with R^2 varying from 50% to 78% depending on the data source and transport mode. For comparison effects, it was produced a comparative analysis of the classes of values of accessibility and income to evaluate the results of the regression by distinct areas of the city. An overall conclusion is that the relation between low accessibility and low income is marked and more significant than the relation between high accessibility and high income.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do ciclo do planejamento de transportes segundo PAQUETTE (1972)..... 19

Figura 2: Município de São Paulo em destaque na Região Metropolitana e no Brasil 26

Figura 3: Mapas de rede de metrô e trens existentes na cidade de São Paulo 30

Figura 4: Mapa da rede do metrô e da CPTM com os trechos mais carregados às 18 horas de um dia de semana do mês de março de 2015..... 31

Figura 5: Densidade Kernel relativa à distribuição de linhas de ônibus por ponto da rede da Região Metropolitana de São Paulo..... 32

Figura 6: Densidade Kernel relativa à frequência de ônibus por ponto da rede da Região Metropolitana de São Paulo..... 32

Figura 7: Mapa de distribuição dos indicadores de renda per capita do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo..... 34

Figura 8: Esquematização das etapas efetuadas no trabalho..... 35

Figura 9: Mural com mapas de tempos de viagem por transporte público por zona de origem..... 42

Figura 10:Mural com mapas de tempos de viagem por transporte individual por zona de origem..... 43

Figura 11: Indicadores de acessibilidade cumulativa a empregos de 60 minutos de alcance por transporte público utilizando as diferentes fontes de tempo. ... 44

Figura 12: Acessibilidade cumulativa a empregos de 60 minutos de alcance por transporte individual utilizando os tempos obtidos das diferentes fontes. 45

Figura 13: Esquema da análise cruzada de valores das variáveis de acessibilidade e renda..... 47

Figura 14: Análise cruzada de valores entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda per capita..... 48

Figure 15: Análise cruzada de valores entre indicador de acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda per capita. 50

Figura 16: Distribuição espacial de resíduos dos modelos OLS entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. 54

Figura 17: Distribuição espacial de resíduos dos modelos OLS entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita..... 55

Figura 18: Distribuição espacial de resíduos dos modelos GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. 57

Figura 19: Distribuição espacial dos valores R^2 locais dos modelos GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. ... 58

Figura 20: Distribuição espacial dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. 59

Figura 21: Distribuição espacial dos valores de significância dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) nos modelos GWR entre indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. 61

Figura 22: Distribuição espacial de resíduos do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita..... 62

Figura 23: Distribuição espacial dos valores R^2 locais do modelo GWR entre indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita..... 64

Figura 24: Distribuição espacial dos valores dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita. 65

Figura 25: Distribuição espacial dos valores de significância dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita..... 66

Figura 26: Áreas de análise específica do município de São Paulo..... 68

Figura 27: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Sul. 70

Figura 28: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na zona sul de São Paulo. 71

Figura 29: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda na Zona Sul..... 72

Figura 30: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte individual e renda na zona sul de São Paulo. 73

Figura 31: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Central. 75

Figura 32: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na zona central de São Paulo. 76

Figura 33: Comparação entre acessibilidade cumulativa a empregos por Transporte Individual e renda na Zona Central. 77

Figura 34: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte individual e renda na zona central de São Paulo. 78

Figura 35: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Leste. 80

Figura 36: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na Zona Leste de São Paulo. 82

Figura 37: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda na Zona Leste. 83

Figura 38: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre renda e acessibilidade por transporte individual na Zona Leste de São Paulo. 84

Figura 39: Mapa de distribuição dos indicadores de desenvolvimento humano do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo. 96

Figura 40: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e IDH..... 97

Figura 41: Distribuição dos indicadores de vulnerabilidade social (IPVS) do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo..... 98

Figura 42: Comparação entre acessibilidade cumulativa a empregos por transporte público em 60 minutos e Índice de Vulnerabilidade Social (IPVS). . 99

Figura 43: Clusterização (agrupamento) dos grupos através da semelhança entre as variáveis 101

Figura 44: Resultado da clusterização (agrupamento) mapeada pelo município de São Paulo..... 102

GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução dos valores de índice Gini de desigualdade de renda per capita no município de São Paulo.....29

TABELAS

Tabela 1: Parâmetros resultantes dos modelos de regressão OLS e GWR.... 46

Tabela 2: Resultado da classificação de setores através da análise cruzada entre a variável acessibilidade por TP 60 min (Modelo O/D) e renda per capita..... 49

Tabela 3: Resultado da classificação de setores através da análise cruzada entre a variável acessibilidade por TI 60 min (Modelo O/D) e renda per capita..... 51

Tabela 4: Matriz de auto correlação entre as variáveis escolhidas do município de São Paulo..... 100

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

1.1 Objetivos 16

1.2. Objetivos Específicos..... 16

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18

2.1 Acessibilidade 18

2.2 Acessibilidade, exclusão social e equidade 20

2.3 Indicadores de acessibilidade 23

2.4 Modelos de Regressão 24

3. ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS 26

3.1 Área de estudo..... 26

3.2 Métodos 35

3.3 Dados de tempos de viagem..... 35

3.4 Indicadores de acessibilidade cumulativa 37

3.5 Modelos de regressão..... 38

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 41

4.1 Análise dos tempos médios de viagem:..... 41

4.1.1 Transporte Público..... 41

4.1.2 Transporte Individual 42

4.2 Análise de indicadores de acessibilidade..... 43

4.2.1 Transporte Público..... 43

4.2.2 Transporte Individual 45

4.3 Análise comparativa entre acessibilidade e renda. 46

4.4 Análise comparativa por percentis de valores máximos de acessibilidade e renda per capita. 48

4.5 Análise através de modelos de regressão 52

4.5.1: Transporte Público 56

4.5.1.1 Análise dos Resíduos 57

4.5.1.2 Análise dos valores R^2 58

4.5.1.3 Análise dos coeficientes da variável explicativa (renda)..... 59

4.5.1.4 Análise dos valores de significância 60

4.5.2 Transporte Individual 61

4.5.2.1 Análise dos valores de resíduos 62

4.5.2.2 Análise dos valores de R^2 locais 63

4.5.2.3 Análise dos coeficientes da variável explicativa (renda)..... 64

4.5.2.4 Análise dos valores de significância da variável explicativa (renda)..... 65

4.5.3 Observações acerca das análises de regressão 66

4.6 Análise detalhada das regiões a partir das métricas calculadas. 67

4.6.1 Zona Sul 68

4.6.2 Região Central..... 74

4.6.3 Zona Leste 79

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 86

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90

7. ANEXOS 95

1. INTRODUÇÃO

A cidade sob o modo de produção capitalista é produto da socialização das condições gerais de produção ou do espaço, gerando como resultado efeitos de aglomeração urbana. As despesas nos meios de circulação viabilizam tanto a socialização das condições gerais de produção, para sustentar a taxa de lucro do capital privado como para a reprodução da força de trabalho e a elevação da sua produtividade. Há uma segregação social (em função da renda) e espacial (em função do zoneamento resultante da oposição entre centro e áreas periféricas) do uso e acesso aos equipamentos coletivos (LOJKINE, 1981).

Relacionando o desenvolvimento das relações de produção do meio urbano com a acessibilidade, HARVEY (1980) aborda que o preço de um recurso se dá em função de sua localização ou acessibilidade, onde qualquer mudança nessa relação acarretará na mudança implícita de renda do usuário desse recurso. A forma espacial mutável da cidade através do seu contínuo processo de criação e renovação de recursos afetam a distribuição de rendas.

Considerando as formas de divisão social e territorial do trabalho que predominam dentro do âmbito urbano e as variadas características dos sistemas de transporte, um dos grandes desafios das cidades é associar suas políticas de desenvolvimento urbano para privilegiar modos mais sustentáveis de transporte. Isso pode acarretar, em alguns casos, uma dissociação explícita entre o planejamento urbano e o de transportes. Em particular, isso pode ser visto no planejamento do uso do solo urbano, com uma crescente dispersão espacial de residências e serviços nas áreas periféricas das cidades que contribui para aumentar as disparidades na oferta de serviços aos diversos segmentos urbanos. (MAGNANIN E SILVA, 2015)

Levando em vista os diferentes perfis e grupos sociais convivendo dentro do âmbito das cidades, principalmente se tratando de uma metrópole de

milhões de habitantes como São Paulo, realizar uma análise espacial visando comparar múltiplas formas de indicadores de acessibilidade aplicadas à essa área urbana poderá revelar os diferentes potenciais de interação da população em atividades (no caso, de acesso à empregos) e ainda, analisar esses índices sob a perspectiva da distribuição de renda. Isso permitirá identificar, o impacto que tem sobre o potencial de acesso a atividades (empregos) em cada área da cidade, permitindo uma análise mais profunda das desigualdades sociais existentes em seu meio urbano.

Segundo CERVERO (1996), a acessibilidade pode ser definida como “a facilidade de acesso aos locais”. Segundo GEURS E VAN WEE (2004) sua medida deve levar em consideração a qualidade do transporte, as preferências e necessidades individuais, a distribuição espacial da oferta de atividades frente à demanda, e os condicionantes temporais. Entretanto, o computo da acessibilidade depende de dados, que podem advir de diferentes fontes a depender da disponibilidade. Nesse trabalho são calculados indicadores de acessibilidade a partir de dados de diferentes fontes para testar seu impacto na avaliação das relações com desigualdades de renda, conforme enunciado nos objetivos a seguir.

1.1. Objetivos

O objetivo desse trabalho é avaliar indicadores de acessibilidade ao trabalho quanto a sua relação com a desigualdade de renda em São Paulo. Em especial, focará em analisar semelhanças e diferenças quanto aos padrões espaciais de distribuição dessas variáveis, visando explorar o potencial das métricas de acessibilidade ao trabalho e suas relações com a desigualdade.

1.2. Objetivos Específicos

- Comparar as métricas de acessibilidade ao trabalho baseadas na localização, calculadas pelo método cumulativo, através do transporte público e transporte individual para município de São Paulo, visando obter o panorama da acessibilidade a empregos dentro do território municipal.

- Investigar o impacto do uso de diferentes fontes de dados nas medidas de acessibilidade a empregos por diferentes meios de transporte.
- Avaliar a distribuição espacial da acessibilidade ao trabalho e sua relação com as desigualdades de renda existentes do município e verificar a influência dessas desigualdades sobre os níveis de acessibilidade.

Espera-se que com esses objetivos o trabalho venha a contribuir em revelar um panorama da distribuição dos níveis de acessibilidade em São Paulo colaborando para a compreensão de suas relações com a desigualdade de renda e com as estruturas de transporte existentes.

Após esta introdução e descrição dos objetivos são apresentadas a revisão bibliográfica, incluindo o conceito de acessibilidade, sua relação com equidade e exclusão social, além das formas de medição da acessibilidade. Na sequência há a descrição da metodologia, a discussão dos resultados obtidos e, por fim, a apresentação das conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho buscou abordar trabalhos que colaborassem com a discussão da relação entre os temas de acessibilidade e renda, incluindo referências teóricas sobre acessibilidade, equidade e exclusão social relacionada ao transporte, além de abordar breve revisão sobre a aplicação de métodos utilizados por esse trabalho, como os índices de regressão espacial.

2.1 Acessibilidade

PAEZ, SCOTT E MORENCY (2012) abordam o conceito de acessibilidade como sendo o potencial em alcançar atividades espacialmente distribuídas, mencionando que as medidas de acessibilidade incluem tipicamente dois componentes: o custo da viagem, determinado pela distribuição espacial de viajantes e oportunidades, e a quantidade e qualidade das oportunidades. Esses dois componentes podem ser empregados de múltiplas maneiras para determinar indicadores de acessibilidade a partir de uma pessoa ou a partir de uma região.

GEURS E VAN WEE (2004) revelam que os indicadores de acessibilidade de um indivíduo ou grupo social passíveis de serem obtidos através da resultante das relações entre quatro componentes distintos:

- O componente do uso do solo, que consiste na quantidade e na distribuição espacial das oportunidades em relação a cada indivíduo de um determinado lugar, e a demanda existente para cada atividade distribuída espacialmente;
- O componente de transporte, expresso como as características do meio usado pelo indivíduo para cobrir a distância entre uma origem e um destino, sendo resultante do confronto entre a demanda e oferta.
- O componente temporal, que reflete os condicionantes temporais de cada indivíduo em participar de atividades.

- O componente individual, que reflete a situação de cada indivíduo em relação a suas necessidades, habilidades e oportunidades, e em que medida essa situação limita o acesso deste indivíduo ao sistema de transporte e às oportunidades de participar nas atividades espacialmente distribuídas.

GEURS E VAN WEE (2004) fundamentam que a acessibilidade deve estar relacionada à função do uso do solo e a dos sistemas de transportes dentro da sociedade, o que dará ao indivíduo, ou a grupos de indivíduos, a oportunidade de participar de atividades em diferentes locais. Porém, a resolução de um problema de transporte não é simples: além da grande variedade de fatores envolvidos e de impactos em várias escalas, o tipo de solução escolhida gera uma nova problemática no resultado final acarretando em um ciclo, ilustrado por PAQUETTE (1972) da seguinte maneira:

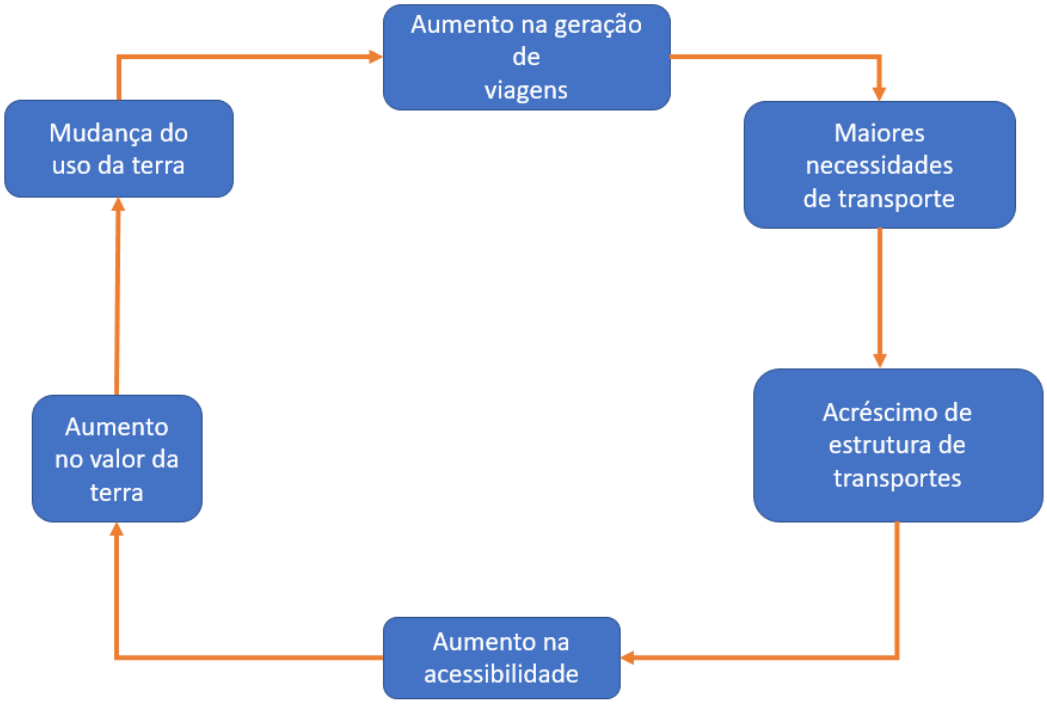

Figura 1: Fluxograma do ciclo do planejamento de transportes segundo PAQUETTE (1972).

Quando uma nova estrutura de transporte é promovida a uma determinada área, sua acessibilidade é alterada e, por consequência, seu valor da terra também alterado para maiores níveis. Com isso aumentam a

quantidade de viagens no local, o que torna necessário a instalação de novas estruturas de transporte.

2.2 Acessibilidade, exclusão social e equidade

Os índices de acessibilidade são importantes para se identificar situações de exclusão social, apesar da falta da acessibilidade não ser o único componente que cria uma situação de exclusão social (GEURS E VAN WEE, 2004).

RAJE E PRESTON (2006) definem como exclusão social um processo baseado em restrições que limitam o indivíduo ou grupo social em participarem de atividades normais dentro da sociedade na qual são residentes, com importantes manifestações espaciais. Os autores usaram em seu estudo de caso na Inglaterra três critérios distintos para verificar a situação de exclusão dos indivíduos: a mobilidade da área, relacionada a estrutura das redes de transporte, a mobilidade pessoal, referente a capacidade dos indivíduos de bancarem sua mobilidade e acessibilidade da área, que está associada à capacidade de acessar atividades. Foi então realizada uma matriz de análises comparando esses critérios entre si para avaliar o grau de exclusão social gerado pelo sistema de transporte. No resultado, foi verificado que diferentes grupos da sociedade, mesmo vivendo na mesma área e sujeitos as mesmas condições de mobilidade, não necessariamente tinham o mesmo nível de acessibilidade, devido a características como idade, escolaridade e renda, por exemplo.

Segundo CHURCH, FROST E SULLIVAN (2000), em seu estudo de caso em Londres, é possível identificar uma série de fatores que podem limitar a mobilidade de grupos sociais nas cidades, sendo que alguns deles podem afetar indivíduos que, teoricamente, possuiriam o mesmo grau de acessibilidade na participação de atividades:

- A exclusão física, vinculada à natureza do sistema de transportes e a situação do indivíduo em relação a sua saúde ou idade. Há também a exclusão pessoal, relacionada com as preferências e

características pessoais de cada indivíduo, como o gênero e a idade; e com áreas mais ou menos familiarizadas com este.

- A exclusão geográfica, ocasionada pelas distâncias e pelos obstáculos naturais como rios e montanhas. Neste caso, contudo, CHURCH, FROST E SULLIVAN (2000) ponderam que a inacessibilidade oriunda dessa condição possa criar uma rede forte de relações internas locais em algumas situações, como os chamados guetos.
- A exclusão econômica, relacionada à renda do indivíduo, que condiciona sua acessibilidade por causa da falta de recursos. Essa forma de exclusão vai além do deslocamento do indivíduo entre a residência e às atividades, pois a falta de recursos acarreta desvantagens também em termos de educação e qualificação dentro da sociedade e da força de trabalho, comprometendo suas oportunidades.
- A exclusão temporal, que leva em consideração não apenas o tempo de viagem, mas também a somatória do tempo utilizado nas demais atividades praticadas pelo indivíduo, e em que medida isso afeta sua disponibilidade na participação em outras atividades. Por exemplo, a necessidade de cuidar de parentes da família, como crianças ou doentes, restringe o tempo disponível para o indivíduo participar de outras atividades como trabalho ou estudo.
- A exclusão pelo medo, que é relacionada com o medo do indivíduo gerado pela falta de segurança presente no espaço público, ou pelas características inerentes à operação do transporte, como lotação excessiva e falta de conforto, afetando a sua acessibilidade.

Os fatores econômicos estão diretamente relacionados ao rendimento do indivíduo, restringindo sua acessibilidade devido à falta de recursos financeiros. Esses fatores de exclusão econômica limitam a acessibilidade dos indivíduos de baixa renda, mesmo que vivam em áreas com boa

disponibilidade de transporte, já que não possuem recursos para pagar as tarifas no dia a dia, acarretando em uma situação de exclusão dos transportes (LUCAS, 2012).

Para enfrentar esse problema, é importante garantir a equidade no acesso ao transporte, que se dá por duas maneiras: equidade horizontal, que fornece a mesma oferta de transporte independente das necessidades pessoais do usuário, focada em atingir o maior número possível de pessoas atendidas ao transporte; e equidade vertical, que se preocupa na distribuição dessa oferta de acordo com as necessidades do usuário, focada em atingir os grupos que mais necessitam do transporte. A equidade horizontal no acesso ao transporte favorece a mobilidade em larga escala da população, planejando atender ao maior número de pessoas de forma indiscriminada. Já a equidade vertical no acesso ao transporte favorece a inclusão social ao buscar evitar a privação do indivíduo em participar de atividades, fornecendo-lhe condições de locomoção adequadas às suas necessidades específicas (DELBOSC e CURRIE, 2011).

Tratar a exclusão social com uma abordagem sobre as desigualdades de transporte na população é importante porque ajuda a abraçar os principais aspectos do problema devido à dinâmica constante de suas características e de seus impactos em relação às pessoas. Além disso, o transporte ainda tem um papel fundamental como a conexão entre atividade e grupo individual ou social (LUCAS, 2012). Relacionando a acessibilidade com o transporte e a equidade, destacam a importância de melhorar a equidade vertical para o acesso ao transporte para que ele possa participar da maioria dos grupos sociais, independentemente de suas características ou deficiência, melhorando sua acessibilidade (DELBOSC E CURRIE, 2011).

Alguns indicadores de acessibilidade como o PTAL (Public Transport Accessibility Index) utilizam-se de fatores como a frequência ou confiabilidade do sistema de transporte e o tempo de caminhada até a estação de transporte mais próxima, além da densidade da rede de transporte, para considerar as diferenças oriundas do nível de serviço e seu impacto na medição da

acessibilidade, favorecendo a equidade vertical ao transporte (SAGHAPOUR E THOMPSON, 2016).

Na América Latina, os casos de estudo desenvolvidos por BOCAEJO.ET.AL (2014) e HEINRICHS E BERNET (2014) observaram em Medellín, Colômbia, que após o desenvolvimento de novas estruturas de transporte, como linhas de teleférico em áreas de baixa renda, por um aumento no número de viagens e uma redução do desemprego. Além disso, relataram que os passageiros tinham uma sensação melhor de segurança e confiabilidade em relação ao transporte em uma região conhecida pelas fortes tensões sociais.

2.3 Indicadores de acessibilidade

A forma de se medir a acessibilidade pode ser feita de várias maneiras de acordo com o tipo de atividade e as características da população. GEURS e VAN WEE (2004) argumentam que há quatro perspectivas acerca da medição da acessibilidade, que variam de acordo com o tipo da análise:

- As medidas baseadas na infraestrutura, que analisam a performance ou nível de serviço da rede de transporte, como os níveis de congestão de vias ou lotação dos transportes;
- As medidas baseadas na localização, analisando os níveis de acessibilidade a partir de determinada zona levando em consideração o tempo de viagem e as atividades alcançáveis a partir desses condicionantes espaciais;
- As medidas baseadas nos indivíduos, que levam em conta as restrições temporais impostas pelo cotidiano do indivíduo que influenciam na sua participação em atividades e;
- As medidas baseadas na utilidade, que consideram os benefícios de caráter econômico que são adquiridos pelas pessoas ao participarem de determinadas atividades.

Ao fazer o cruzamento dos componentes da acessibilidade com as formas de medida mencionadas anteriormente, é possível levantar o fato de

que as diferentes formas de medição de acessibilidade não são absolutas, pois há variados enfoques relativos ao tema. Para a utilização da medida de acessibilidade apropriada é necessário, além de levar em consideração os componentes, um estudo prévio acerca da temática com a qual se pretenda trabalhar para escolher a perspectiva apropriada.

Para este trabalho optou-se por utilizar medidas de acessibilidade baseadas em localização (à empregos) pois a cidade de São Paulo é conhecida por ter uma das maiores e mais densas áreas urbanas do mundo, com algumas regiões específicas da cidade concentrando grande parte dos empregos. Portanto, supõe-se que as medidas de acessibilidade baseadas em localização devem dar um panorama interessante sobre as diferenças na acessibilidade à empregos nas várias áreas da cidade.

Para investigar a relação entre as medidas de acessibilidade e desigualdades de renda o presente trabalho explorará modelos de regressão, sendo que algumas referências de aplicação na literatura são brevemente revisadas a seguir.

2.4 Modelos de Regressão

Os modelos de regressão são frequentemente utilizados para explorar os graus de relacionamento em fenômenos envolvendo duas ou mais variáveis buscando explorar hipóteses ou prever valores em outros lugares ou períodos, com o objetivo básico de construir um modelo consistente a respeito de algum fenômeno para melhor compreendê-lo e posteriormente usar esse entendimento para efetuar políticas ou tomar decisões sobre ações apropriadas a serem tomadas.

Como neste trabalho, ambas as variáveis mostram algum grau de concentração espacial em algumas áreas da cidade, foi utilizado o modelo GWR (Geographic Weighted Regression). De acordo com WHEELER E PAEZ (2010), os coeficientes do modelo de regressão são ajustados a cada local de observação respectivo ao conjunto de dados das variáveis. Além disso, as coordenadas espaciais das observações são usadas para calcular distâncias

entre pontos, criando uma entrada para uma função de núcleo que calcula pesos que representam a dependência espacial entre essas observações.

DU E MULLEY (2006) exibem modelos GWR para explorar a relação entre acessibilidade e valores-terra analisando a relação entre preços de casas e viagens temporárias a empregos em Newcastle, Inglaterra, onde se observou uma forte correlação entre essas duas variáveis, com os preços das terras tendendo a aumentar à medida da proximidade da rede de transporte.

WANG E NA (2015) também usaram modelos de regressão espacial para verificar a relação entre a acessibilidade a postos de trabalho por carro, transporte público e caminhadas em Columbus, Ohio, com a distribuição espacial de parâmetros como uso do solo, atividades, raça e propriedade de carros, onde foi revelada uma forte relação entre o acesso aos empregos e a escolha modal de transporte.

Exibir esses modelos de regressão em São Paulo, uma cidade com uma divisão de modalidade de transporte equilibrada, pode revelar quão forte é a influência de parâmetros sociais, como a renda, sobre essa escolha de viagem. De acordo com a Companhia do Metropolitano de São Paulo (2007), 38% das viagens realizadas no município são feitas por transporte público, 31% por transporte privado e 31% por meios não-motorizados.

Embora as relações entre acessibilidade e renda sejam importantes, as medidas de acessibilidade dependem dos dados do tempo de viagem e pouco tem sido feito em cidades desiguais como São Paulo. Assim, além de investigar essa relação este trabalho explora possíveis fontes de dados de tempo de viagem, a fim de elucidar a viabilidade do cálculo do índice de acessibilidade, bem como avaliar sua relação com a renda, buscando enfatizar sua importância.

3. ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS

A cidade de São Paulo é conhecida por ter uma das maiores e mais densas áreas urbanas do mundo, com enormes desigualdades. Neste contexto, conforme já apresentado, este trabalho pretende explorar as relações entre acessibilidade e renda. Para isso, os métodos aplicados em diferentes fontes de dados exploram a potencialidade de replicar esses trabalhos em outras áreas. Nesta seção, primeiramente são reveladas especificidades do caso de estudo de São Paulo para justificar sua relevância e contextualizar a discussão apresentada na seção de resultados.

3.1 Área de estudo

A área de estudo do projeto é o município de São Paulo, ao qual o Censo Demográfico de 2010 atribuiu uma população de 11.253.503 habitantes, e uma área de 1.521 km², com 968 km² considerados como área urbanizada (IBGE, 2010).

Figura 2: Município de São Paulo em destaque na Região Metropolitana e no Brasil

O desenvolvimento do espaço urbano da cidade de São Paulo se deu de forma significativa a partir de meados do século XIX, com a expansão da malha ferroviária pelo estado, onde a cidade foi um importante entroncamento entre o ramal que vinha do Porto de Santos com os demais ramais que rumavam para o interior. Além disso, a cidade recebeu uma parcela da intensa imigração de estrangeiros que rumavam para o Brasil em busca de melhores condições de vida.

No início do século XX houve o desenvolvimento da rede de bondes elétricos, e a partir dos anos 30 foi sendo desenvolvida a rede de vias para automóveis. Na época, as condições econômicas eram vantajosas ao consumo de petróleo havendo incentivos a indústria automobilística, o que ajudou a transformar o cenário dos transportes urbanos em São Paulo com a crescente substituição dos sistemas de bondes sobre trilhos por ônibus (ZIONI, 2012).

Essa condição ajudou na expansão urbana ao permitir que a rede de transporte atingisse locais mais distantes tendo em vista o crescimento populacional da época. Porém, essa consolidação do modelo de produção do espaço desenvolvido pelo transporte rodoviário acarretou na desativação gradual do transporte sobre bondes na cidade e no “espraiamento” da área urbana.

A partir dos anos 60, a cidade de São Paulo se consolida como principal centro econômico do país, e por consequência recebe fortes movimentos migratórios das demais áreas do território nacional. Segundo SANTOS (1993), somente entre 1970 e 1980 a Região Metropolitana de São Paulo recebeu 3.351.600 migrantes. Tendo em vista esse cenário, foram elaboradas novas estruturas de mobilidade como o metrô, inaugurado em 1974, e novas vias expressas radiais para absorver esse crescente contingente populacional. Além disso, a partir da década de 1980 há o declínio acentuado da atividade industrial no município, o que faz com que a maior parte da população esteja dedicada a trabalhar em atividades do setor terciário, relacionado ao comércio e serviços.

A medida que a saturação do Centro foi se evidenciando, as classes sociais de renda mais alta foram se deslocando para outros locais dentro do denominado “Quadrante Sudoeste”, primeiramente na região da Avenida Paulista e Jardins; e posteriormente para as regiões do Morumbi e Brooklin, que substituem o Centro como seu principal local de empregos.

Segundo VILLAÇA E ZIONI (2005), essas classes sociais mais altas produziram um novo tipo de centro principal de atividades e serviços pulverizado e diluído pelos bairros residenciais dessa área, o que foi denominado como “Centro Expandido”. Assim, ao atraírem os empregos terciários para junto de si, as classes mais ricas os afastaram da população mais pobre, que estabelecia suas residências na periferia, principalmente na Zona Leste e na Região Metropolitana.

A ausência de vias de ligação importantes nessas áreas havia acarretado em uma ocupação territorial mais lenta do que em outras áreas da cidade, e que, portanto, eram os locais com maior disponibilidade de terras acessíveis às classes de menor renda.

Dentro de sua extensão o município conta com uma estrutura operacional de transporte que inclui:

- 77 km de rede de metrô e monotrilho distribuídos em 6 linhas e 68 estações, que transportaram em média nos dias úteis 4,7 milhões de passageiros em 2016 (Metrô de São Paulo, 2017).
- 257 km de rede de trens metropolitanos distribuídos em 6 linhas, que atendem 22 municípios da região por 92 estações e atendem a 2,8 milhões de passageiros em média por dia útil. Dentro do município de São Paulo existem 46 estações do sistema, 6 destas com livre transferência para o metrô (CPTM, 2017).
- 1357 linhas de ônibus administradas pela SPTrans, com uma frota de 14.519 veículos, que transportaram uma média de 8,4 milhões de passageiros por dia em março de 2017 (SPTrans, 2017).

As tarifas de viagem única nas linhas de metrô, trem e ônibus da cidade são de R$ 4. Usando o cartão de viagens (Bilhete Único), é possível embarcar em quatro linhas de ônibus da cidade pagando uma única tarifa dentro de um intervalo de 3 horas. Também permite uma integração com o sistema ferroviário e metroviário por R$ 6,80[1].

Relativo ao transporte individual, o município de São Paulo apresentou uma taxa de motorização de 2,2 carros por 10 habitantes em 2012 (Metrô de São Paulo, 2012).

Considerando as viagens diárias de pessoas que ganham um salário mínimo de casa para o trabalho e vice-versa, ao longo de 25 dias de trabalho, o gasto total com transporte público seria estimado em pelo menos 180 reais, consumindo cerca de 19% de sua renda mensal[2].

De acordo com a empresa que opera o sistema do metrô, em levantamento estatístico realizado em 2016, 52% dos usuários residem nas Zonas Sul e Leste, as mais populosas do município, e outros 25% vivem nos municípios vizinhos, dentro da Região Metropolitana (METRÔ, 2017).

Abaixo, na Figura 3, está representado o mural com os mapas respectivos às linhas e estações da rede de metrô e trens de São Paulo.

---

[1] Tarifas em vigência em setembro de 2018.

[2] Relativa às tarifas e ao salário mínimo correspondente em setembro de 2018.

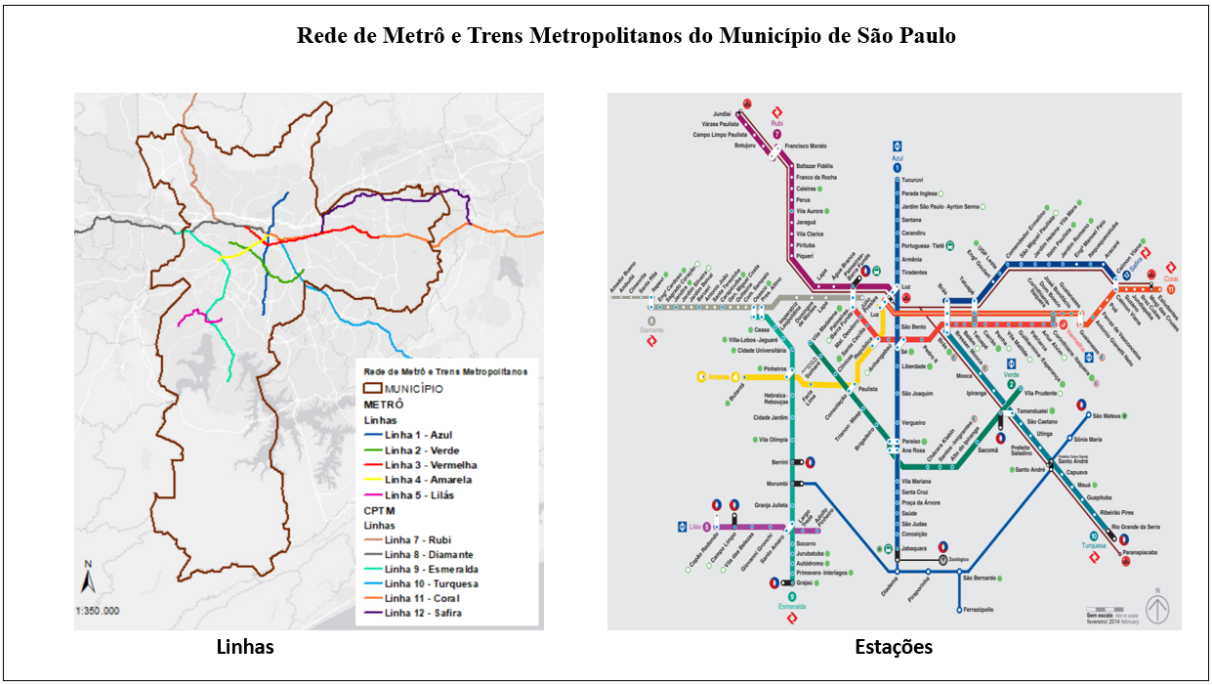

Figura 3: Mapas da rede de metrô e trens existente na cidade de São Paulo

Através da Figura 3 percebe-se que grande parte das linhas convergem para a área mais central do município de São Paulo, que também apresenta grande concentração de estações do sistema.

A seguir, a Figura 4 representa o mapa de volume de carregamento de passageiros por trecho entre as estações das redes de metrô e de trem da Região Metropolitana de São Paulo, às 18 horas.

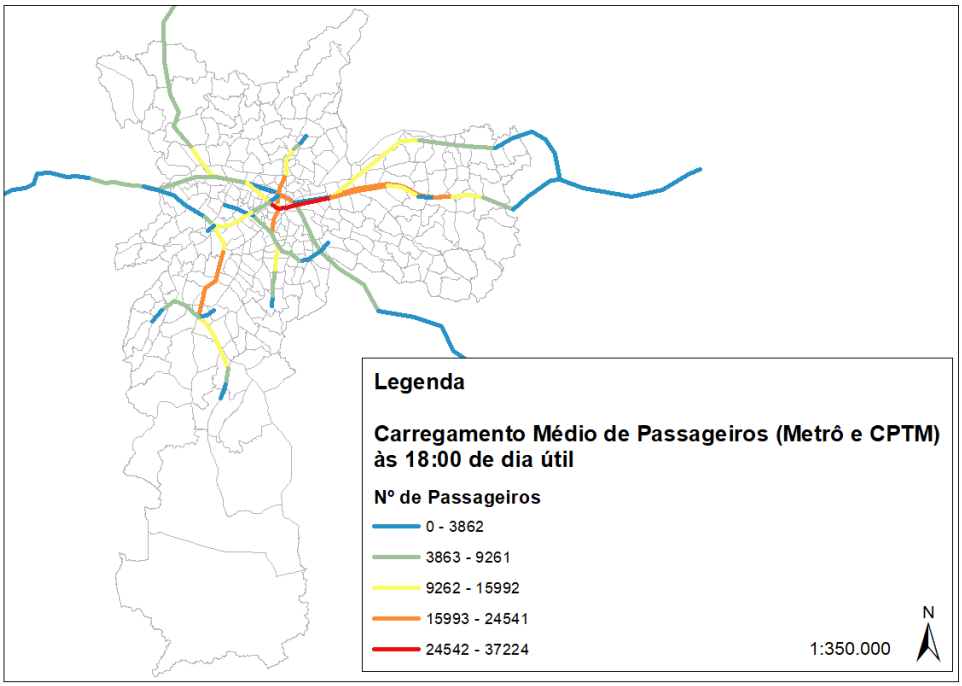

Figura 4: Mapa da rede do metrô e da CPTM com os trechos mais carregados às 18 horas de um dia de semana do mês de março de 2015.

A Figura 4 mostra uma variação gradativa dos valores de carregamento nas linhas de metrô e trem à medida em que se afasta das zonas mais centrais para as periferias. Os mais altos níveis de carregamento se concentram nas linhas entre a área central e a Zona Leste, representadas pela Linha 3 do metrô e Linha 11 da CPTM.

Visando ilustrar a distribuição espacial da rede de transporte em São Paulo, foram realizadas duas análises kernel sobre os pontos de transporte (estações de metrô, trem e pontos de ônibus). Foram considerados os atributos da quantidade de linhas (serviços) de transporte e outra a distribuição (frequência) dos serviços de transporte e a partir desses dados foram feitas duas análises de densidade usando o algoritmo Kernel, usando uma banda de alcance de 1200 metros. A Figura 5 é relativa à quantidade de linhas de ônibus por ponto e a Figura 6 refere-se à frequência média de ônibus por ponto.

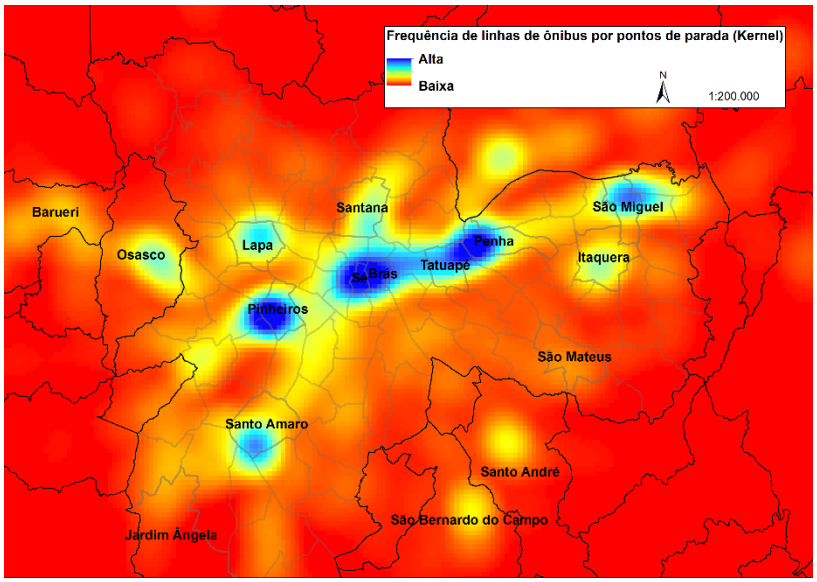

Figura 5: Densidade Kernel relativa à distribuição de linhas de ônibus por ponto da rede da Região Metropolitana de São Paulo

Observando o resultado gerado pela análise de densidade Kernel da Figura 5, percebe-se uma concentração de linhas de ônibus em bairros conhecidos pela intensa atividade de serviços e comércio, como Centro, Pinheiros, Santo Amaro e Tatuapé, além de municípios vizinhos como Santo André, São Bernardo do Campo, Guarulhos e Osasco.

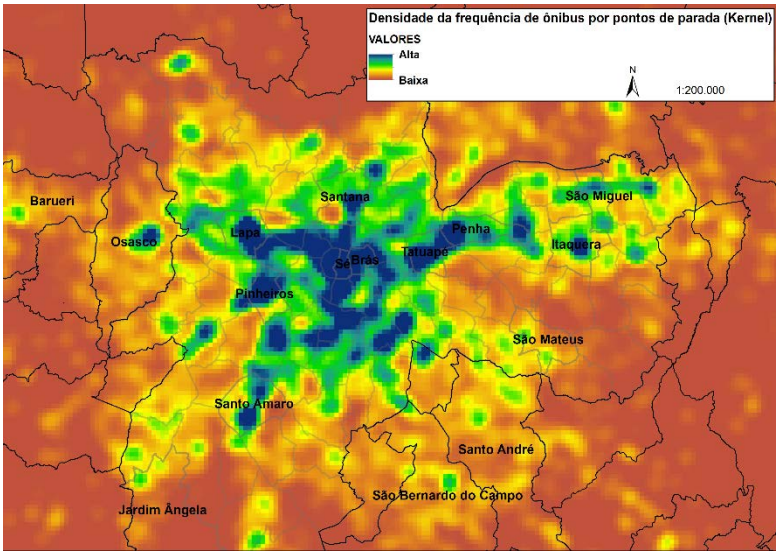

Figura 6: Densidade Kernel relativa à frequência de ônibus por ponto da rede da Região Metropolitana de São Paulo

A Figura 6 mostra uma distribuição da frequência de ônibus mais concentrada no Centro Expandido de São Paulo, com destaque para os principais eixos viários de ligação entre essa área e às periferias. Também se percebe maiores frequências de ônibus em locais de intensa atividade como na região do ABC e em Osasco.

Pretendeu-se demonstrar nas Figuras 5 e 6 como se revela a concentração espacial dos serviços de transporte público na cidade de São Paulo, para que possa ser de contribuição no entendimento das desigualdades dos tempos de viagem e das métricas de acessibilidade por transporte público que serão apresentados a seguir no trabalho.

Em relação à distribuição de renda per capita no município de São Paulo, há uma tendência à maior desigualdade de renda nos mais recentes levantamentos feitos pelo IBGE, através do uso do Índice Gini de desigualdade de renda per capita.

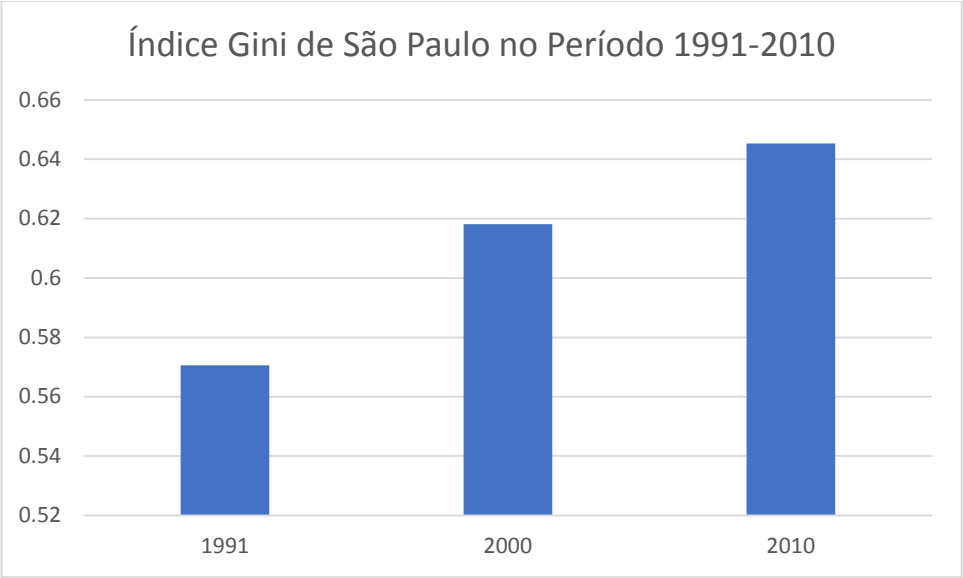

Gráfico 1: Evolução dos valores de índice Gini de desigualdade de renda per capita no município de São Paulo. Fonte: IBGE (2016)

A seguir, na Figura 7, será apresentado o mapa relativo à distribuição dos valores de renda per capita em São Paulo:

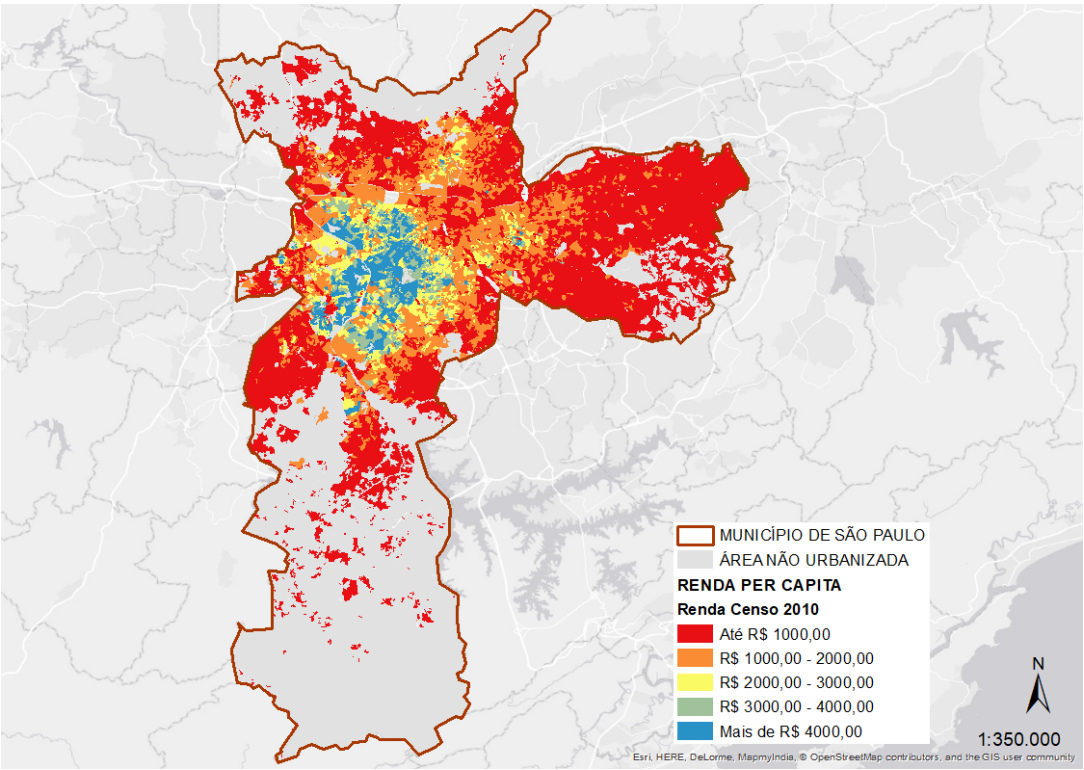

Figura 7: Mapa de distribuição dos indicadores de renda per capita do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo.

Analisando o panorama da distribuição dos valores dessas variáveis socioeconômicas pelo município, é possível visualizar uma concentração dos maiores valores na área conhecida como “centro expandido”, que abrange o chamado “quadrante sudoeste” (VILLAÇA E ZIONI, 2005). É nítida a diferença dos valores apresentados nessa área em relação às periferias mais afastadas, onde são predominantes os setores de baixos níveis de renda per capita.

Tendo analisado o panorama da distribuição dos transportes e de renda no município de São Paulo, serão apresentados a seguir os métodos aplicados para a realização das análises dos indicadores de acessibilidade e para a sua comparação com os níveis de renda.

3.2 Métodos

Esse trabalho produziu-se nas seguintes etapas: computo dos tempos de viagem ao trabalho, desenvolvimento dos índices de acessibilidade, avaliação da relação entre acessibilidade e renda usando modelos de regressão, e análises mais detalhadas sobre regiões específicas do município. A Figura 8 a seguir mostra a esquematização dessas etapas.

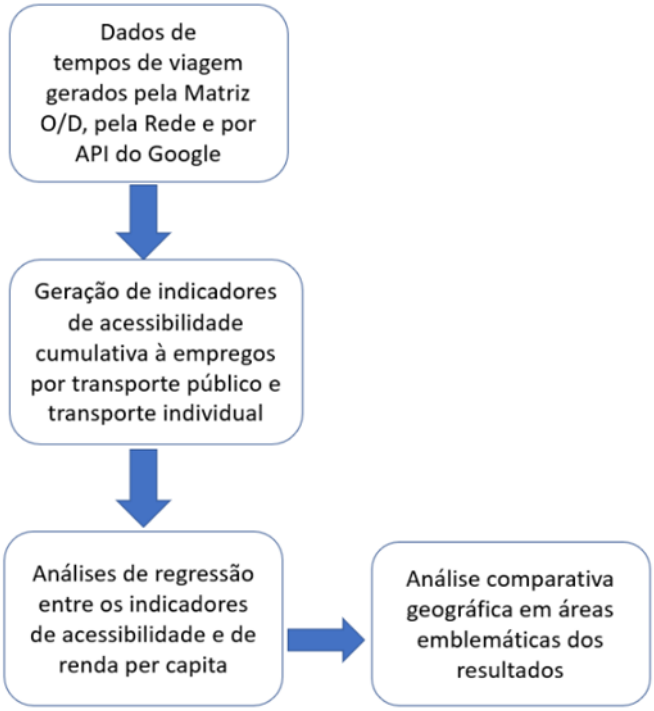

Figura 8: Esquematização das etapas efetuadas no trabalho

3.3 Dados de tempos de viagem

Para avaliar os indicadores de acessibilidade ao trabalho quanto a sua relação com a desigualdade socioeconômica de São Paulo, foram calculados índices de acessibilidade cumulativa baseados na localização a partir de três fontes de dados para os tempos de viagens, calculados a partir de uma zona para todas as outras, por transporte público e por transporte individual.

Uma fonte provém da Pesquisa de Origem / Destino 2007, realizada pela Companhia do Metropolitano de São Paulo, que opera o sistema de metrô. Os tempos de viagem foram fornecidos através de entrevistas com os usuários do

transporte, que foram então usados como entrada para um modelo de transporte de quatro etapas que produziu uma Matriz OD, fornecida pela CPTM. Na pesquisa OD, usada para o modelo, para o transporte público foram considerados as entrevistas que declararam ter feito seu deslocamento por ônibus, metrô, trens e veículos do sistema de transporte alternativo (vans). Para o transporte individual foram consideradas as entrevistas que declararam ter se deslocado por carro (motorista e caronas) e táxis.

Outra fonte provém da plataforma do Google Maps através de seu API (Application Programming Interface) O API significa uma interface de programação de aplicativos, possibilitando a comunicação entre diferentes linguagens e códigos de programação na plataforma. Através desta forma, foi possível produzir um código de programação na plataforma R ordenando a geração de viagens entre todas as zonas de tráfego do município (utilizando os centroides destes como pontos de partida e destino) através da rede do Google Maps, por transporte público e por transporte individual.

A última fonte de tempos de viagem provém da rede de transportes desenvolvida por TOMASIELLO (2016), adequada ao planejamento de viagens em transporte público (tempos de viagem da Automatic Vehicle Location - AVL - dados fornecidos pela SPTrans) e transporte individual (enriquecida com perfis de velocidade fornecidos pela plataforma TomTom). Foi desenvolvido dentro da plataforma de geoprocessamento ArcGIS, sendo possível criar uma matriz O / D entre todas as zonas, utilizando os centroides das zonas como pontos de origem e destino.

Primeiramente, foram analisados espacialmente os resultados dos tempos médios de viagem por cada zona de origem e destino, tanto por transporte público como por transporte individual, para visualizar a diferença de tempos das zonas do município como no desempenho entre as diferentes fontes de tempos de viagem.

A razão de terem sido usados três diferentes fontes de tempo de viagem foi para verificar o impacto do uso de fontes de dados em cenários que podem ser revelados nos indicadores de acessibilidade. Assim, os tempos de viagem

do modelo de transporte de quatro etapas baseados na pesquisa OD pode ser comparado com os fornecidos por uma rede de transporte em SIG enriquecida com dados AVL (TOMASIELLO, 2016) e com os fornecidos pela base do Google através de seu API.

A seguir, deu-se a produção dos indicadores de acessibilidade propriamente ditos, utilizando o modelo cumulativo de acessibilidade a empregos com um limite de 60 minutos de tempo de viagem, por transporte público e transporte individual, entre as zonas de tráfego do município.

3.4 Indicadores de acessibilidade cumulativa

O indicador de acessibilidade cumulativa é desenvolvido a partir dos determinantes absolutos que qualificam o indivíduo ou a zona a ser estudada, como o número de atividades alcançadas dentro de uma janela de tempo ou de uma distância mínima, por exemplo. Segundo PAEZ, SCOTT E MORENCY (2012), o modelo cumulativo é baseado na fórmula:

$$W_j = \frac{S_j}{D_j} \qquad (1)$$

Onde:

- Wj é a medida de acessibilidade a partir da área j.
- Dj é a área determinada pela distância ou tempo de viagem, dentre outros condicionantes e;
- Sj é o número de atividades disponíveis dentro daquela área de alcance de Dj.

Considerando mais do que duas zonas, o modelo pode ser aplicado da seguinte maneira:

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{W_j}{f(C_{ij})} \qquad (2)$$

Onde:

- Ai é a medida de acessibilidade na zona i para todas as oportunidades W na zona j.

- $f(C_{ij})$ é uma função relativa aos custos de viagem entre as zonas i e j

As funções de custo utilizadas têm uma influência significativa na medida de acessibilidade e por isso devem ser escolhidas com cautela. Seus parâmetros devem ser estimados utilizando dados referentes às características das viagens na área de estudo (GEURS E VAN WEE, 2004).

3.5 Modelos de regressão

Em seguida, foi avaliada a distribuição espacial da acessibilidade com a de renda per capita utilizando modelos de análise de regressão para determinar o grau de correlação entre essas variáveis (renda e acessibilidade) e verificar a existência de dependência espacial entre si. A primeira etapa foi usar o modelo de regressão MQO (Mínimos Quadrados Ordinários), um modelo de regressão global e clássico, com relações fixas sobre todos os dados das variáveis.

Um modelo de regressão global clássico é baseado sobre a seguinte fórmula:

$$Y = \beta 0 + \beta 1X1 + ... \beta nXn + \varepsilon \qquad (1)$$

Onde

Y = Variável dependente, aquela à qual se tenta prever o valor através do modelo de regressão.

X = Variável explicativa, aquela que se acredita sejam a causa ou que expliquem o comportamento da variável dependente. Em cada modelo, podem ser incorporadas mais de uma variável explicativa para cada variável dependente.

β = Coeficiente de regressão. São valores, um para cada variável explicativa, que representam a força e o tipo de relação que a variável explicativa tem para a variável dependente. Se a relação entre as variáveis for positiva, o coeficiente recebe valor positivo. Se negativo, recebe valor negativo. O coeficiente reflete a mudança esperada na variável dependente para cada

variação de 1 unidade na variável explicativa associada, mantendo todas as outras variáveis constantes.

ε = Resíduos, a diferença no resultado da variável dependente entre o esperado e o que foi obtido pelo modelo. O modelo de regressão constrói uma equação que irá prever os valores da variável dependente, porém tais valores previstos raramente equivalem exatamente aos valores observados, sendo os resíduos essa parcela inexplicável da variável dependente.

Em seguida, para confirmar a existência ou não de correlação espacial entre as variáveis, foi aplicado o índice global de Moran I sobre os resíduos da regressão. Ele fornece uma medida geral da associação espacial existente no conjunto de dados analisados, em uma escala que varia de -1 a 1. Os valores positivos indicam presença de correlação espacial direta, e valores negativos indicam correlação espacial inversa, e 0 a total independência espacial dos resíduos (DRUCK, CÂMARA E MONTEIRO, 2004). Após o estabelecimento dos índices, para garantir a significância do valor, foi calculada a significância a partir da permutação dos valores em cada análise de Moran I.

Depois da aplicação do índice de Moran I sobre os resíduos, verificou-se a existência de valores significativos de correlação espacial sobre os resíduos do modelo dos Mínimos Quadrados Ordinários. Portanto, a seguir, utilizou-se um modelo de Regressão Geograficamente Ponderada (GWR) entre cada índice de acessibilidade produzido e renda per capita, para comparar com o resultado anterior.

O modelo de Regressão Geograficamente Ponderada é traduzido da seguinte fórmula a partir do modelo clássico de regressão:

$$y(i) = \beta 0(i) + \beta 1(i)X1 + \varepsilon (i) \qquad (2)$$

Onde (i) se refere a um local de observação específico no espaço, e X uma variável explicativa, e β1 seu coeficiente correspondente.

Os parâmetros resultantes do modelo GWR definem a eficácia do modelo. Para a avaliação da relação entre as variáveis são feitas análises do

índice R2 e coeficiente de regressão, distribuídos pelo município de São Paulo, para verificar quais as zonas do município que melhor respondem ao modelo, e onde a variável explicativa (renda) tem mais efeito sobre a variável dependente (acessibilidade).

Para efeito comparativo, foi feita uma análise específica dos resultados sobre as Zonas Sul, Central e Leste entre os parâmetros obtidos pelas análises de regressão com uma análise comparativa cruzada direta entre classes de valores de acessibilidade, produzidas através dos tempos do Modelo O/D, e classes de renda per capita, produzida sobre os setores censitários do município. A análise por áreas distintas do município permite visualizar casos específicos da suposta relação entre acessibilidade e renda e consolidar os resultados obtidos pelo modelo de regressão GWR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção de resultados está dividida em cinco partes. A primeira relativa a comparação dos tempos de viagem de dados das três fontes. A segunda refere-se ao computo e comparação dos indicadores de acessibilidade. A terceira à aplicação dos modelos de regressão espacial. A quarta à comparação por quantis e a quinta a análise mais detalhadas das regiões do município frente às métricas calculadas.

4.1 Análise dos tempos médios de viagem:

A comparação dos tempos médios de viagem das três diferentes fontes é apresentada no início deste capítulo, a partir de quadros comparativos contendo mapas de tempos médios de viagem considerando zonas de origem e zonas de destino de São Paulo, levando em conta as viagens de cada uma das zonas para todas as demais. Será possível assim analisar o desempenho de cada fonte de dados (API do Google Maps, Rede de TOMASIELLO e Modelo O/D da Pesquisa da CPTM) e suas diferenças dentro das zonas do município, e depois verificar a influência desses resultados nos indicadores de acessibilidade a empregos produzidos em seguida.

4.1.1 Transporte Público

Na Figura 9 são expostos três mapas, cada um referente ao tempo médio de viagem por cada zona de origem através de transporte público. Cada mapa mostra os tempos gerados por uma fonte diferente de tempos de viagem: API do Google Maps, Rede e Modelo O/D.

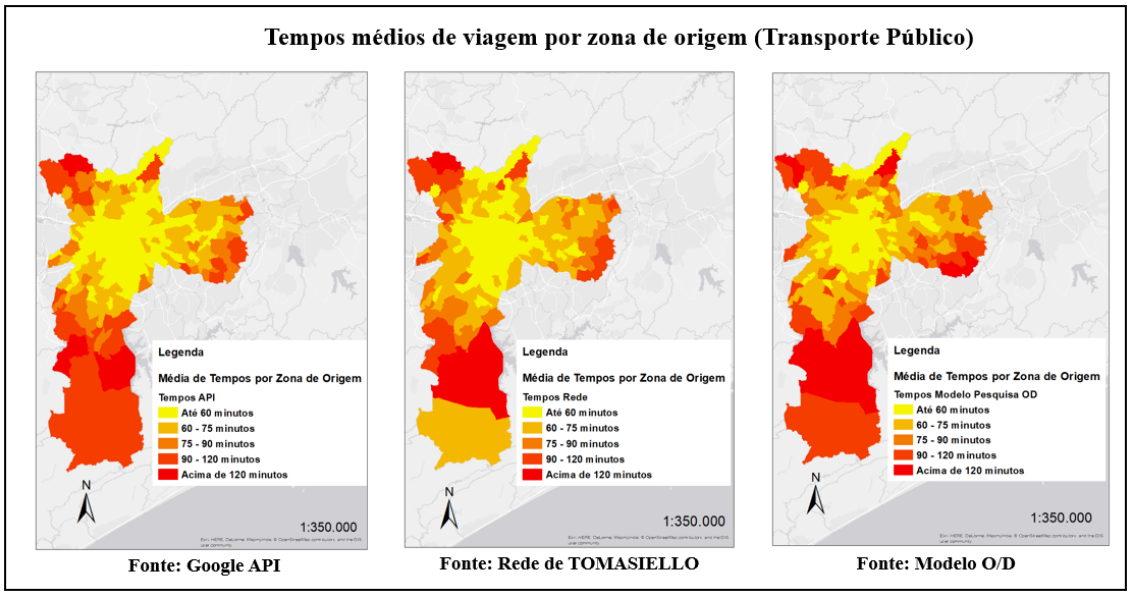

Figura 9: Mural com mapas de tempos de viagem por transporte público por zona de origem

Analisando os tempos resultantes de viagem, é possível observar que as zonas de origem das viagens com o menor tempo médio estão localizadas principalmente na área central do município, cujas viagens às demais zonas não ultrapassam em média os 60 minutos.

Já as zonas de origem das viagens com os piores tempos médios estão localizadas nas extremidades do município. As viagens a partir delas em transporte público são em média as mais demoradas. As três fontes de dados de tempos de viagem apresentaram padrão de distribuição espacial semelhante, com o mapa oriundo dos tempos do Modelo O/D apesentando uma quantidade maior de zonas com maiores tempos de viagem.

4.1.2 Transporte Individual

A seguir, na Figura 10, os três mapas expõem o tempo médio de viagem por cada zona de origem através do transporte individual, cada mapa com os tempos gerados por uma fonte diferente de tempos de viagem, conforme descrito na análise anterior.

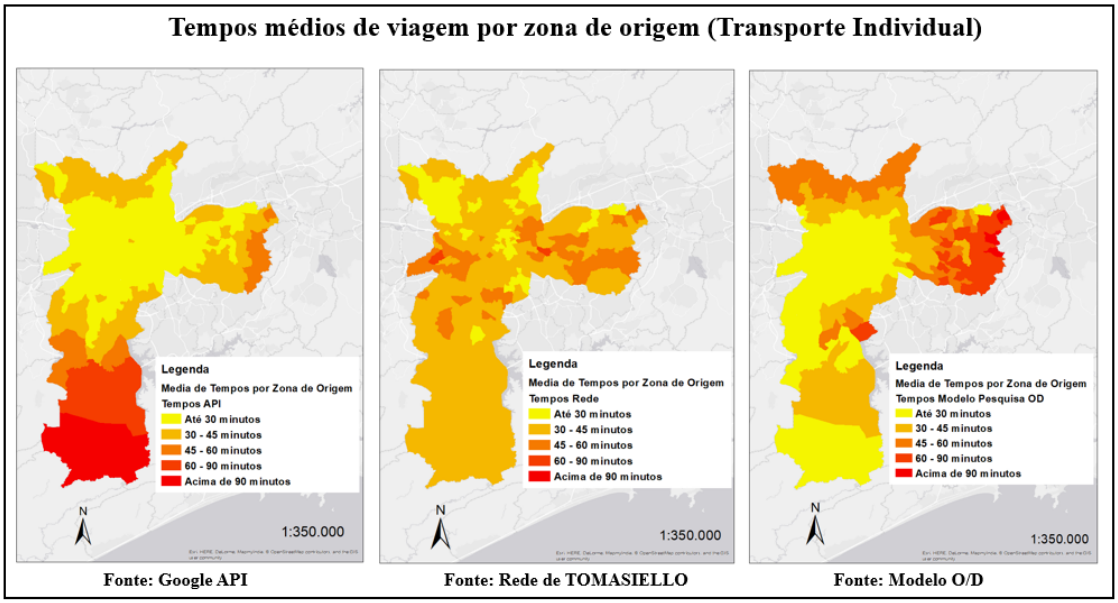

Figura 10:Mural com mapas de tempos de viagem por transporte individual por zona de origem.

Os mapas de transporte individual mostram um panorama mais variado do que os mapas de transporte público. Os tempos entre zonas através da rede de TOMASIELLO são em média maiores que as demais fontes, não apresentando uma concentração espacial definida dos melhores e piores tempos.

Já os mapas com os tempos pelo Modelo O/D e pelo API do Google as zonas de origem das viagens com o menor tempo médio se apresentam bem concentradas na área central do município. Ou seja, as viagens que se iniciam a partir dessas zonas possuem menos duração média.

É nítido o contraste com as zonas periféricas do município à leste e a sul, cujas viagens que têm origem nesses locais são as que apresentam o maior tempo de deslocamento, em média, considerando o panorama com todas as demais zonas.

4.2 Análise de indicadores de acessibilidade

4.2.1 Transporte Público

Na Figura 11 são apresentados três mapas que revelam os padrões espaciais de acessibilidade cumulativa à empregos em 60 minutos de viagem

por transporte público para cada zona de tráfego do município de São Paulo, cada um baseado nos tempos de viagem das diferentes fontes. Esses indicadores são baseados na localização, ou seja, se referem às oportunidades alcançadas a partir de cada zona de origem e destino da Região Metropolitana de São Paulo.

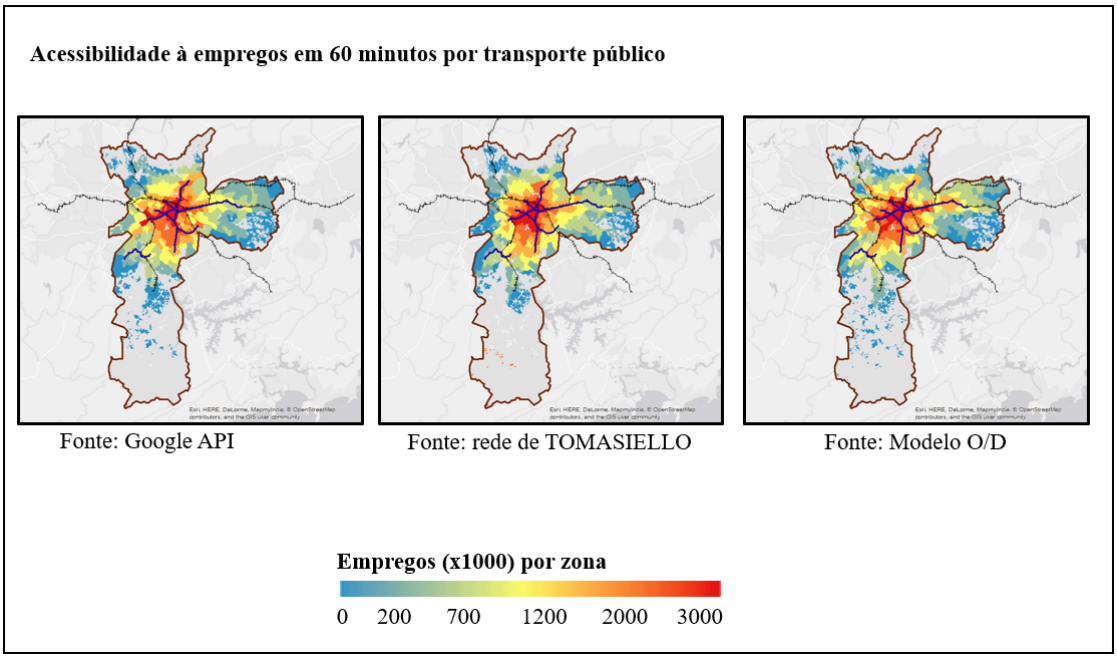

Figura 11: Indicadores de acessibilidade cumulativa a empregos de 60 minutos de alcance por transporte público utilizando as diferentes fontes de tempo.

Analisando os três mapas, é possível perceber um padrão espacial bem semelhante apresentado pelos três indicadores. Eles demonstram que as zonas mais próximas aos eixos de transporte apresentam um nível de acessibilidade aos empregos por transporte público mais alto. As zonas com os melhores níveis acompanham os eixos da rede de trens e, principalmente, os da rede de metrô. As áreas afastadas desses eixos, como os extremos sul e leste do município, são aquelas que apresentam os piores indicadores de acessibilidade a empregos.

4.2.2 Transporte Individual

O próximo mural (Figura 12) revela os mapas de acessibilidade cumulativa à empregos em 60 minutos de viagem por Transporte Individual para cada zona de tráfego do município de São Paulo. Cada um dos mapas foi produzido através de uma própria fonte de dados de tempo de viagem: API do Google Maps, Rede de TOMASIELLO e Modelo O/D da pesquisa da CPTM.

São observadas maiores diferenças nos padrões devido à maior diferença de tempos apresentada entre as diferentes fontes de dados em relação aos tempos de transporte individual.

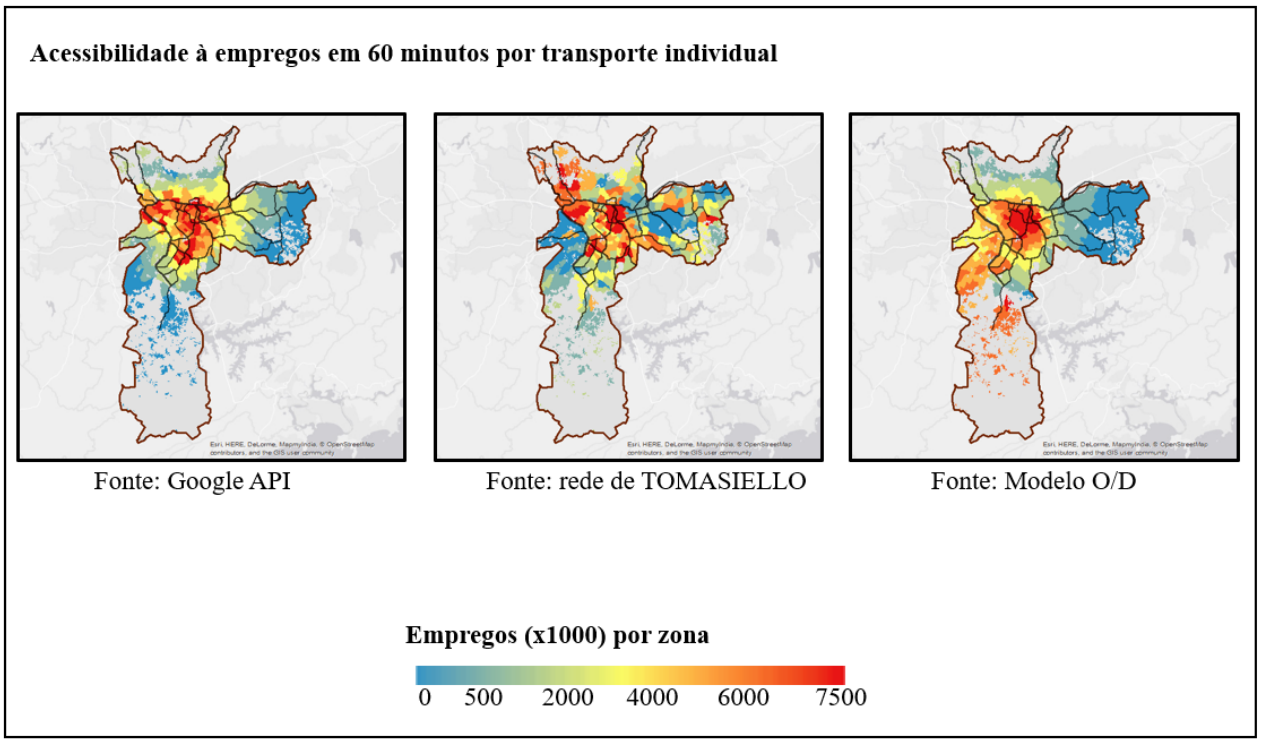

Figura 12: Acessibilidade cumulativa a empregos de 60 minutos de alcance por transporte individual utilizando os tempos obtidos das diferentes fontes.

Nos mapas da Figura 12 é possível visualizar a forma concêntrica favorecendo às zonas centrais do município de São Paulo. Como foi revelado anteriormente, a cidade foi sendo desenvolvida de forma radial concêntrica,

através de vias expressas como a Radial Leste-Oeste, o eixo norte sul e as Marginais dos rios Tietê e Pinheiros.

O número de trabalhos alcançados pelos indicadores de transporte privado é substancialmente maior do que os mostrados na Figura 11, relativa aos índices de acessibilidade por transporte público. Também aqui ficam mais evidentes as diferenças entre os valores dos indicadores gerados por cada fonte de tempo de viagem.

Nos mapas gerados com os dados do Google API e do Modelo O/D é bem visível uma concentração das zonas com níveis altos de acessibilidade a empregos bem definida dentro do chamado “centro expandido”. Nessa área há uma maior densidade das vias importantes do município, assim como de atividades, em contraste com as áreas mais afastadas do Centro. O indicador gerado pelos tempos do Modelo O/D, por sua vez, apresenta uma transição mais gradual dos valores a medida do afastamento da área central, mas aponta altos valores para algumas zonas da periferia a sul. O indicador gerado pelos tempos da rede de TOMASIELLO, apesar de apresentar certo padrão de concentração na zona central, distribui altos valores por um número significativo de zonas nas áreas periféricas a noroeste e sudeste do município, por exemplo. Uma hipótese para isso é que, como os dados da TomTom apresentaram um tamanho de amostra pequeno para São Paulo, isso poderia causar um impacto negativo na representatividade dos dados do tempo de viagem, resultando em padrões inesperados.

4.3 **Análise comparativa entre acessibilidade e renda.**

Outra análise realizada foi a comparação direta entre as variáveis dos indicadores de acessibilidade (produzidos através dos tempos do Modelo O/D por transporte público e transporte individual) e a variável de renda per capita, com a classificação quantitativa de ambas variáveis em ALTO, MÉDIO ou BAIXO.

Optou-se por usar as medidas de acessibilidade pelo Modelo O/D devido aos padrões espaciais parecerem mais consistentes para ambos os modos, em comparação com as outras fontes.

A distribuição dos valores de ambas as variáveis foi dividida em dez classes de percentil do valor máximo de cada variável. Os setores cujos valores estivessem dentro dos três níveis mais altos foram classificadas como de valor ‘ALTO’; os setores cujos valores estivessem dentro dos quatro níveis intermediários foram classificados como ‘MÉDIO’; e os setores cujos valores estivessem dentro dos três níveis mais baixos foram classificados como ‘BAIXO’.

Posteriormente foi realizado o cruzamento direto entre duas variáveis específicas. De um lado foi relacionada a variável relativa aos indicadores de acessibilidade, de forma cumulativa para 60 minutos. Do outro lado foi relacionada a variável do indicador de renda per capita existente oriunda do Censo Demográfico de 2010 do IBGE.

A Figura 13 abaixo mostra a esquematização do processo para a realização dessa análise cruzada de valores entre variáveis.

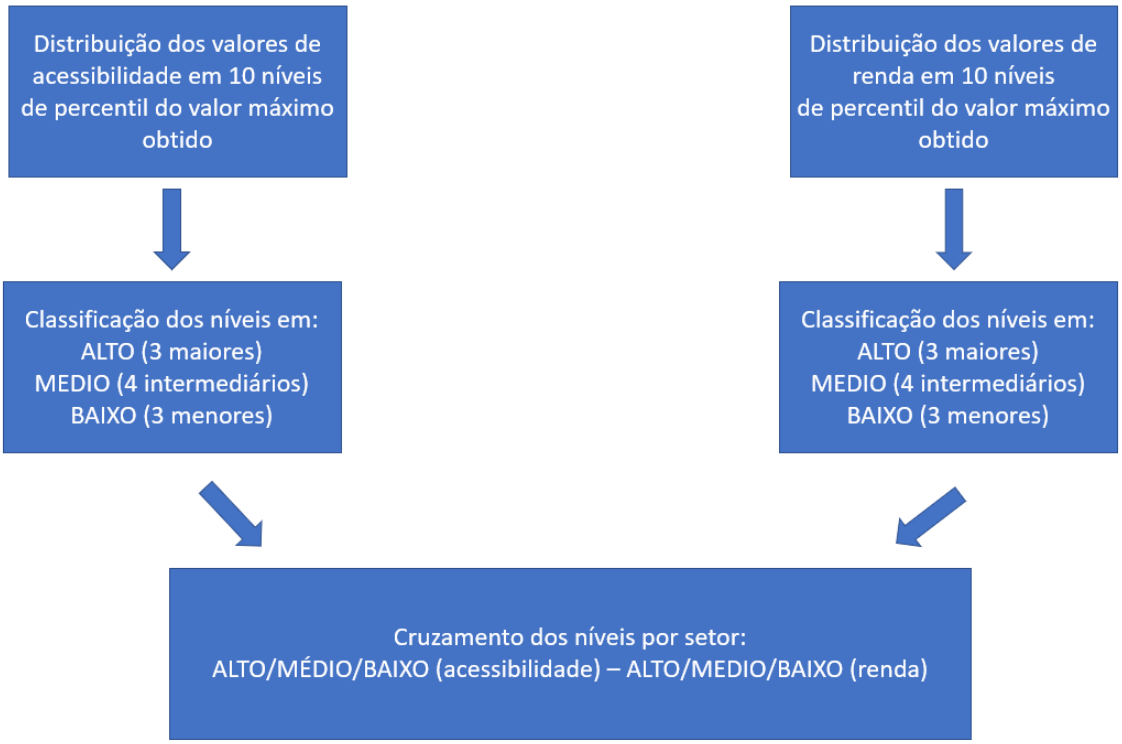

Figura 13: Esquema da análise cruzada de valores das variáveis de acessibilidade e renda.

A seguir, na proxima etapa, serao demonstrados os resultados dessa analise comparativa cruzada de percentis.

4.4 Análise comparativa por percentis de valores máximos de acessibilidade e renda per capita.

Nessa etapa serão analisados os resultados da classificação de valores cruzados entre o indicador de acessibilidade por transporte público em 60 minutos através dos tempos do Modelo O/D e o indicador de renda per capita.

Abaixo, na Figura 14, está o mapa resultante do cruzamento entre os níveis do indicador de acessibilidade por transporte público e de renda per capita

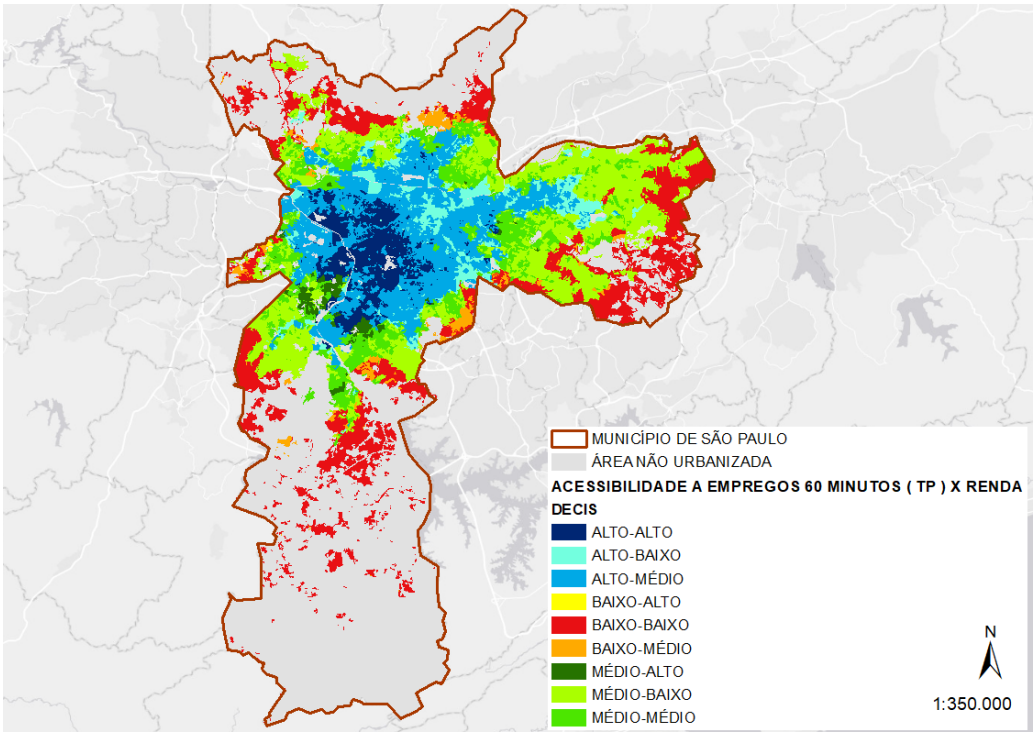

Figura 14: Análise cruzada de valores entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda per capita.

A Figura 14 revela que a distribuição espacial dos setores que apresentam as variáveis com os maiores valores cruzados (ALTO-ALTO) ocorre de forma concentrada, na área central e no vetor sudoeste.

Já os setores que apresentaram os valores mais baixos de ambas as variáveis (classificação BAIXO-BAIXO) se localizam junto aos limites do município.

Abaixo, na Tabela 2, apresenta-se os resultados quantitativos acerca desta análise, revelando a quantidade de setores agrupados por classificação e sua população, de acordo com o Censo de 2010.

NÍVEIS (TRANSPORTE PÚBLICO) ACESSIBILIDADE-RENDA	QUANTIDADE	POPULAÇÃO
ALTO-ALTO	1537	736094
ALTO-MÉDIO	3126	1659602
ALTO-BAIXO	920	592658
MÉDIO-ALTO	277	117968
MÉDIO-MÉDIO	1972	1209453
MÉDIO-BAIXO	5023	3437690
BAIXO-ALTO	5	2041
BAIXO-MÉDIO	356	226176
BAIXO-BAIXO	4966	3227992

Tabela 2: Resultado da classificação de setores através da análise cruzada entre a variável acessibilidade por TP 60 min (Modelo O/D) e renda per capita

Analisando os resultados da Tabela 2, em conjunto com os do mapa da Figura 14, percebe-se que a maior parte dos setores estão classificados como MÉDIO-BAIXO ou BAIXO-BAIXO, abrangendo essas duas categorias mais da metade do total de 18182 setores censitários existentes do município.

Fica evidente também que apenas uma pequena parte dos setores possui classificação ALTO-ALTO, ou seja, com altos níveis de acessibilidade e

renda, sendo localizados de forma concentrada no mapa da Figura 14. Observa-se também a quase ausência de setores classificados como BAIXO-ALTO, ou seja, os que possuem baixa acessibilidade e alta renda, sendo tal classificação composta por apenas 5 setores.

O resultado da classificação de valores cruzados entre o indicador de acessibilidade por transporte individual em 60 minutos com os tempos do Modelo da Pesquisa O/D e o indicador de renda per capita é apresentado na Figura 15 a seguir.

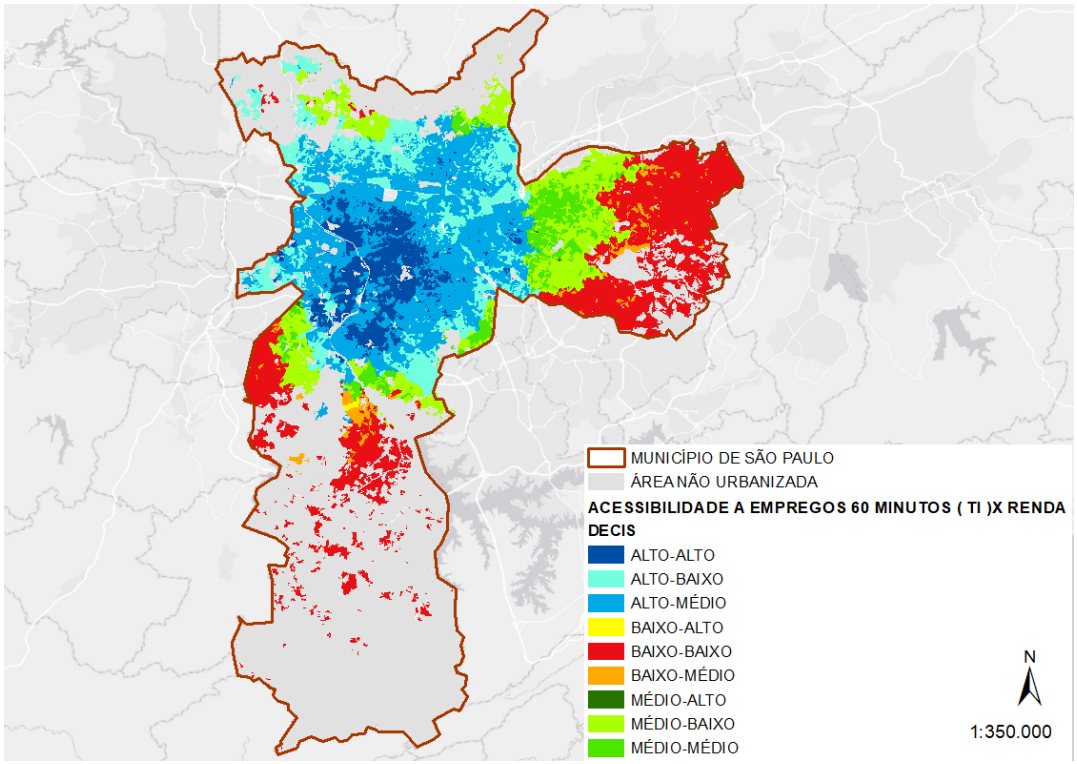

Figure 15: Análise cruzada de valores entre indicador de acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda per capita.

A Figura 15 revela padrões de distribuição espacial da classificação dos setores de forma semelhante aos da Figura 14, com os que apresentam os maiores valores cruzados (ALTO-ALTO) ocorrendo de forma localizada, em setores da área central e do vetor sudoeste. Já os setores que apresentaram a combinação dos valores mais baixos para ambas as variáveis se localizaram

nos limites a leste e sul do município. Abaixo, na Tabela 3, apresenta-se os resultados quantitativos acerca desta análise, revelando a quantidade de setores agrupados por classificação e população por cada classe.

NÍVEIS (TRANSPORTE INDIVIDUAL) ACESSIBILIDADE-RENDA	QUANTIDADE	POPULAÇÃO
ALTO-ALTO	1808	848236
ALTO-MÉDIO	4348	2355298
ALTO-BAIXO	2939	1884222
MÉDIO-ALTO	9	6309
MÉDIO-MÉDIO	864	571219
MÉDIO-BAIXO	2783	1934333
BAIXO-ALTO	2	1557
BAIXO-MÉDIO	242	168714
BAIXO-BAIXO	5187	3437950

Tabela 3: Resultado da classificação de setores através da análise cruzada entre a variável acessibilidade por TI 60 min (Modelo O/D) e renda per capita.

Analisando os resultados da Tabela 3, em conjunto com os do mapa da Figura 15, percebe-se que grande parte dos setores classificados como BAIXO-BAIXO maior do que na Tabela 2. A quantidade de setores ALTO-ALTO também é maior do que o da Tabela 2, e que os setores de alta acessibilidade se associam de forma mais ampla com setores de baixa e média renda. É visto que, dos setores de alta renda, apenas dois se associam à baixa acessibilidade, e outros nove à média acessibilidade, sendo o restante, composto por 1808 setores, associado a alta acessibilidade.

Em observações gerais acerca do panorama total acerca dessa análise cruzada entre valores cruzados foi perceber, através de uma análise de valores

relativamente simples, a relação existente entre renda e acessibilidade tanto em um nível quantitativo como através de um panorama espacial específico. É evidente que os setores que concentram a população de alta renda são aqueles que também apresentam melhores indicadores de acessibilidade, e que a maioria dos setores classificados como de baixa renda dispõem de níveis de acessibilidade menores, classificados como baixa ou média.

4.5 Análise através de modelos de regressão

Os modelos de regressão utilizados foram aplicados utilizando o indicador de renda per capita como variável explicativa (preditora) e o indicador de acessibilidade de forma cumulativa como variável dependente (resposta). Os modelos foram aplicados de forma separada entre o indicador de renda e cada um dos indicadores de acessibilidade cumulativa produzido na etapa anterior.

A primeira análise aplicada sobre as variáveis foi o modelo do Método dos Mínimos Quadrados, conhecido também como Mínimos Quadrados Ordinários (MMQ). Se trata de um modelo de regressão global e clássico, com relações fixas sobre todos os dados das variáveis.

A partir dele, a eficácia do modelo é analisada observando os resultados dos parâmetros, através dos níveis de AIC (Akaike information criterion), que mede a qualidade do modelo frente ao número e tipo das variáveis utilizadas; e de R^2 ajustado, que se baseia na relação entre os resultados observados e esperados do modelo.

Abaixo, na Tabela 4, são verificados os resultados dos parâmetros e do índice Moran I para as análises de regressão OLS feitas entre renda e cada um dos seis indicadores de acessibilidades baseados nas diferentes fontes de tempo de viagem utilizados. Também são revelados os parâmetros de índice R^2 e AIC obtidos pelo modelo GWR, que permitem comparar a eficácia destes em relação aos obtidos pelo modelo OLS.

Indicadores de acessibilidade	Parâmetros OLS			Parâmetros GWR	
	AIC	R^2	Moran I	AIC	R^2
Google API					
Transporte Público	9435	0,297	0,730	9329	0,641
Transporte Individual	9587	0,143	0,576	9148	0,787
Rede de TOMASIELLO					
Transporte Público	9451	0,185	0,802	9277	0,539
Transporte Individual	9496	0,126	0,516	9227	0,632
Modelo O/D					
Transporte Público	8591	0,002	0,580	8493	0,503
Transporte Individual	9983	0,259	0,747	9604	0,783

Tabela 4: Parâmetros resultantes dos modelos de regressão OLS e GWR.

Analisando os resultados da Tabela 4, os parâmetros resultantes dos modelos de regressão OLS apresentaram baixos níveis de R^2 e alto índice Moran I de análise espacial, sendo superior a 0.5 em todas. Embora sugira um ajuste baixo do modelo, também indica que existe determinado grau de correlação espacial entre renda e acessibilidade, indicando que a aplicação de

um modelo de regressão que considere a relação espacial entre as variáveis pode ser útil para encontrar melhores resultados.

Devido a essa evidência de correlação espacial apresentada pelos parâmetros, partiu-se para analisar visualmente a distribuição dos resíduos produzidos pelo modelo clássico OLS.

Os mapas mostram a distribuição espacial dos resíduos, resultantes da diferença entre os valores observados e os previstos para as variáveis. A magnitude dos resíduos de uma equação de regressão é uma medida do ajuste do modelo, com grandes valores residuais indicando um ajuste inadequado do modelo e fortes tendências sobre uma variável.

A seguir, na Figura 16, estão representados espacialmente os resíduos produzidos pelo modelo de regressão OLS aplicado entre os indicadores de acessibilidade por transporte público usando as três fontes de tempo de viagem e renda per capita. A efeito de comparação, foi reproduzida também a rede de metrô (em vermelho) e a rede de trens metropolitanos (em preto)

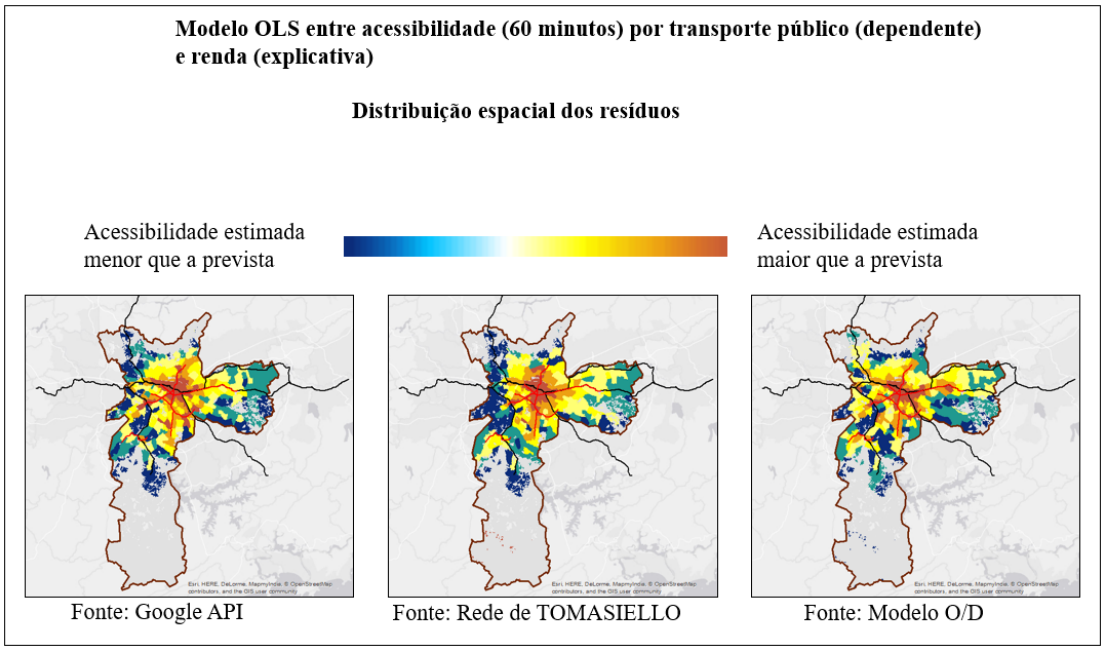

Figura 16: Distribuição espacial de resíduos dos modelos OLS entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita.

Analisando os mapas da Figura 16, as áreas em marrom nos mapas são as que apresentaram um valor de acessibilidade estimado maior do que o previsto pelo modelo. Elas se localizam, em sua maioria, aglomeradas ao longo da rede do metrô, enquanto as áreas com um valor de renda maior que o previsto são aquelas localizadas mais afastadas desse sistema. As zonas de cor mais clara, em branco e amarelo, significam pequenos valores de resíduos, o que significa poucas diferenças entre os valores esperados e observados no modelo. Elas se encontram espalhadas ao redor da área central, também significativamente aglomeradas. Esse padrão se repete de forma bastante parecida nos três mapas, usando diferentes fontes de tempo de viagem.

A Figura 17 abaixo mostra os mapas com a distribuição espacial dos valores de resíduos do modelo OLS entre os indicadores de acessibilidade por transporte privado, utilizando as três fontes de tempos de viagem, e a renda per capita. A efeito de comparação, foi adicionada a feição contendo importantes vias expressas do município de São Paulo.

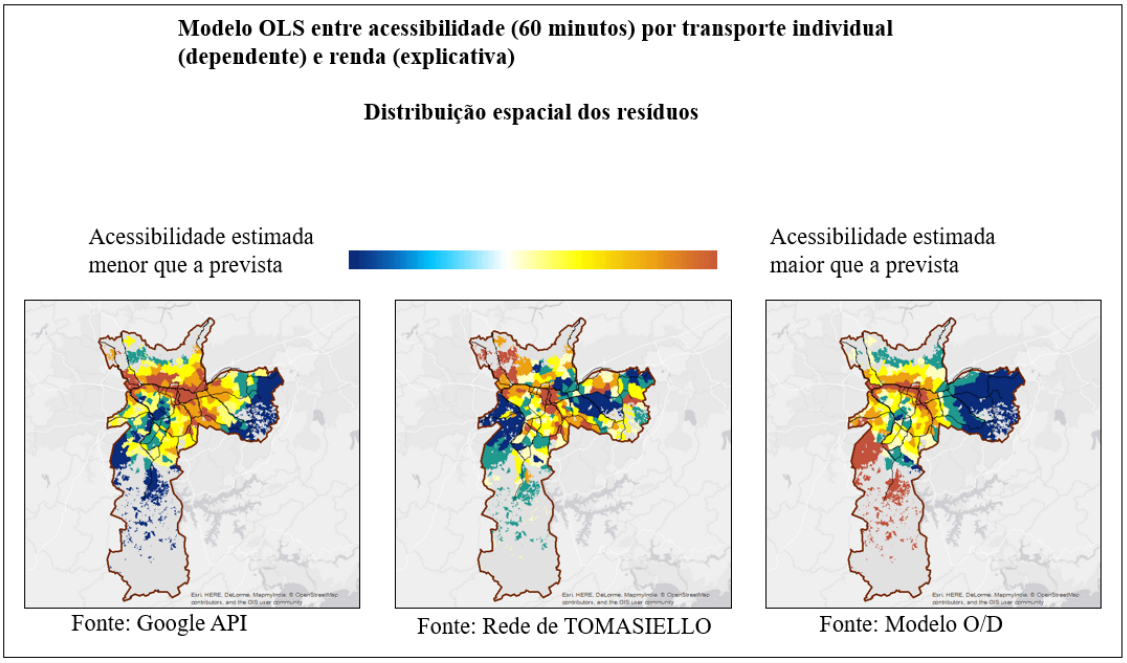

Figura 17: Distribuição espacial de resíduos dos modelos OLS entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

Os mapas da Figura 17 revelam uma forte concentração de valores de resíduos estimando a acessibilidade acima do previsto ao redor das vias

expressas mais centrais em geral, embora os padrões espaciais de distribuição desses valores variem bastante de acordo com cada fonte de tempo de viagem utilizada. Zonas de resíduos pequenos estão espalhadas pela cidade enquanto a acessibilidade estimada é menor em áreas periféricas em geral, com fortes tendências à aglomeração espacial nas três fontes de tempos de viagem, embora com padrões ligeiramente diferentes entre si em cada fonte.

Analisando os resultados do modelo clássico como um todo, ficou visível que as respostas apresentadas pelos resíduos apontam uma forte tendência de influência de características espaciais que impactaram sobre os valores de acessibilidade estimados, quebrando a premissa do modelo clássico de independência espacial dos resíduos, onde os valores dos resíduos se dariam de forma espacialmente aleatória. Como foi demonstrado com essa análise espacial dos resíduos do OLS e com o apontado pelo índice de Moran I, foi constatada a auto correlação espacial dos resíduos, sendo necessário incorporar um modelo de regressão que considere essa dinâmica espacial e seus impactos sobre o resultado final, justificando, portanto, a aplicação do modelo de Regressão Geograficamente Ponderada, o GWR.

Para a reprodução do modelo GWR, foram escolhidos usar um tamanho de banda de kernel fixa, cuja extensão é baseada no parâmetro Akaike (AIC) resultante da reprodução do modelo. Essa forma visa aplicar qualidade máxima no resultado final dos resíduos e parâmetros do modelo.

A seguir, será feita a análise espacial dos parâmetros produzidos pelos resultados do modelo GWR efetuado entre renda per capita e cada um dos seis indicadores de acessibilidade produzidos anteriormente.

4.5.1: Transporte Público

Este tópico apresentará a distribuição espacial dos parâmetros resultantes dos modelos de regressão GWR efetuados entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita. A efeito de ilustração, foi acrescentada nos mapas a feição que representa a rede de metrô e de trens que se distribui pelo município de São Paulo.

4.5.1.1: Análise dos Resíduos

A Figura 16 abaixo mostra o mural com os mapas que revelam a distribuição dos valores de resíduos produzidos pelo modelo de Regressão Geograficamente Ponderada entre as variáveis renda per capita e o indicador de acessibilidade por transporte público gerado pelas diferentes fontes de dados.

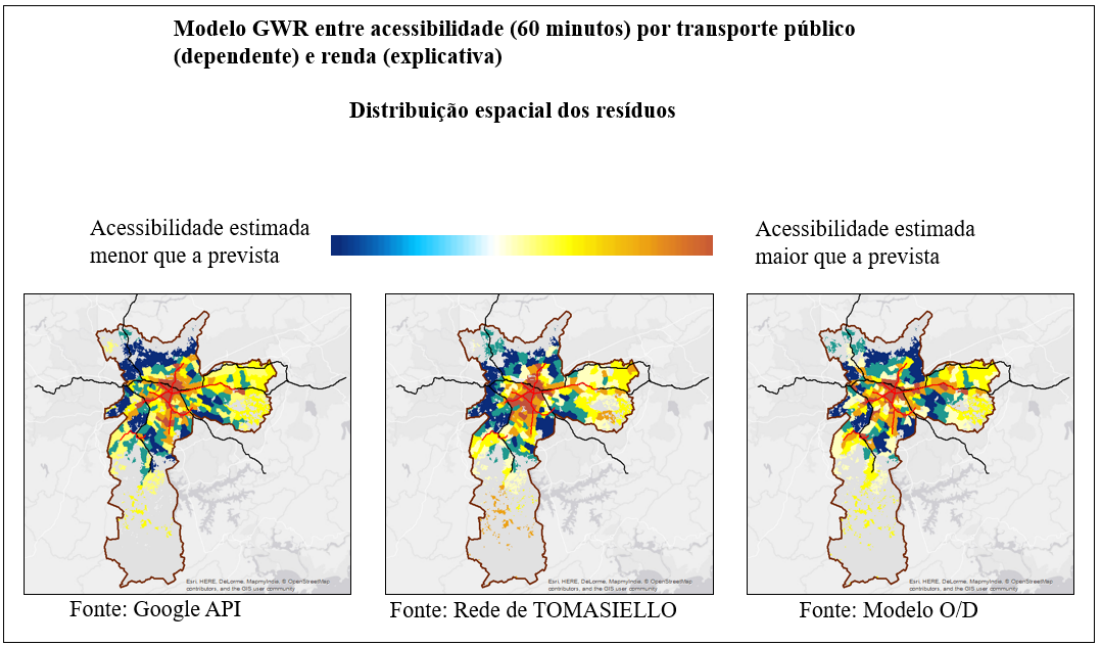

Figura 18: Distribuição espacial de resíduos dos modelos GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita.

Na Figura 18, as áreas em marrom nos mapas são as que apresentaram um valor de acessibilidade estimado maior do que o previsto pelo modelo, ainda com tendências a aglomeração espacial localizadas ao longo da rede do metrô, enquanto as zonas com resíduos indicando valores de acessibilidade menores que o previsto, em azul, estão concentradas mais afastadas dela.

As zonas de cor mais clara, em branco e amarelo, de pequenos valores de resíduos, estão espalhadas ao redor da área central, principalmente nas zonas sul e leste, porém de forma menos aglomerada do que nos resíduos do modelo de regressão OLS. Esse padrão é visível nos três mapas, usando diferentes fontes de tempo de viagem.

4.5.1.2: Análise dos valores R^2

A Figura 19 abaixo revela a distribuição dos valores de R^2 do modelo entre a renda per capita e o indicador de acessibilidade por transporte público gerado com os dados das três fontes de dados de tempos de viagem.

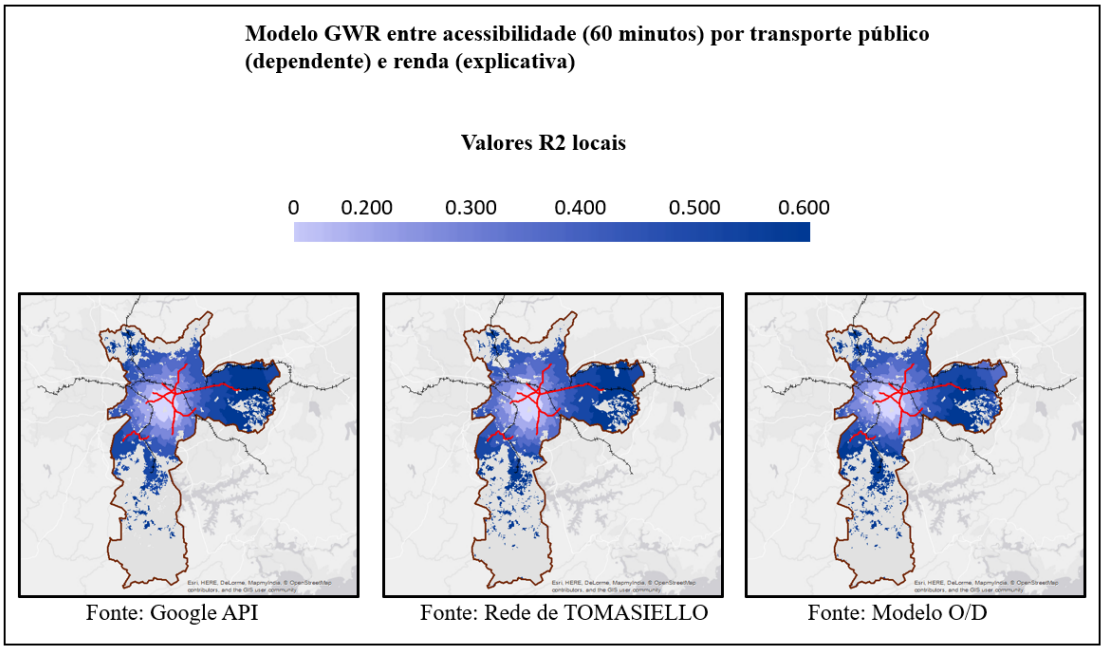

Figura 19: Distribuição espacial dos valores R^2 locais dos modelos GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita.

Na Figura 19, percebe-se padrões semelhantes da distribuição espacial dos valores. Os maiores representam uma maior regulagem do modelo frente aos valores previstos. Percebe-se uma concentração dos maiores valores nas zonas norte e leste, agrupando-se ao redor da região central do município, em um padrão semelhante nos três mapas.

4.5.1.3: Análise dos coeficientes da variável explicativa (renda)

A seguir, na Figura 20 os mapas revelam a distribuição dos valores do coeficiente da variável explicativa, no caso a renda per capita, pelas zonas do município de São Paulo, nos modelos usados com os indicadores de acessibilidade por transporte público. Os maiores valores representam um maior impacto do coeficiente sobre os valores de acessibilidade previstos ao aumento da renda. Ou seja, eles revelam o impacto positivo ou negativo no número de empregos acessados em relação às mudanças de renda da população das zonas.

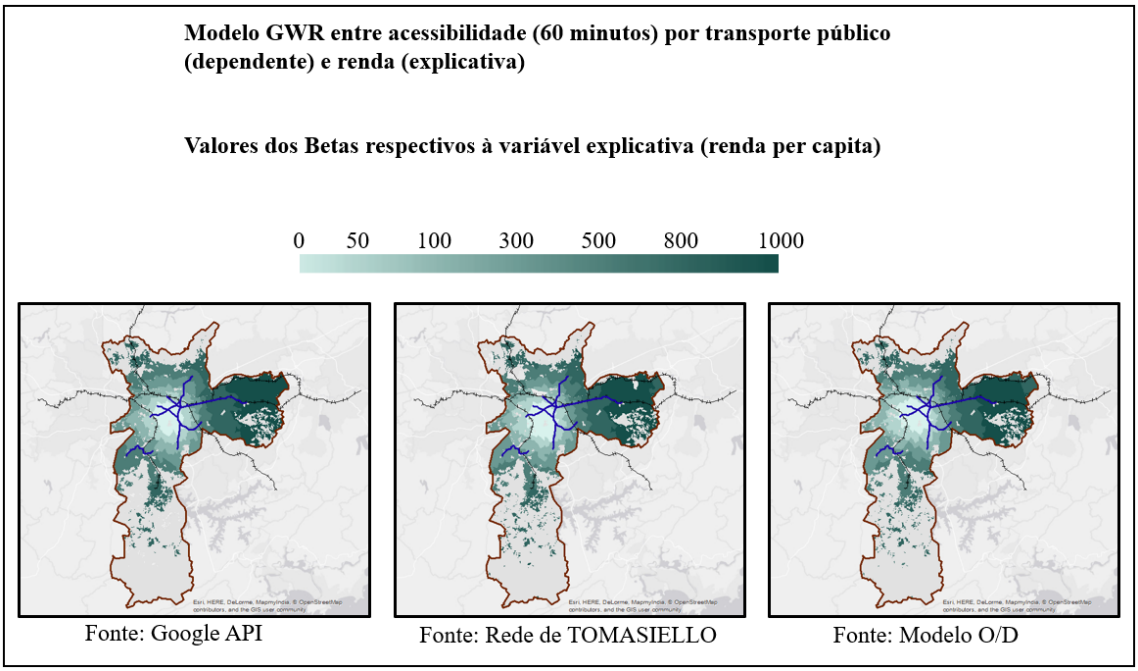

Figura 20: Distribuição espacial dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita.

Nos mapas da Figura 20, a distribuição de valores aparenta seguir um padrão bem definido nas três fontes de dados dos tempos das viagens, com os maiores valores nas periferias leste e sul.

4.5.1.4: Análise dos valores de significância

Nessa etapa os mapas revelam a distribuição espacial do teste de significância com os valores do teste T de Student sobre a variável explicativa, no caso o indicador de renda per capita, pelas zonas de tráfego, sendo feita considerando-se um nível de confiança de 95%.

Os valores de 1,96 e -1,96 representam os níveis de significância de 5%, indicando que nos locais com valores maiores a 1,96 ou menores que -1,96 a probabilidade de hipótese nula é menor que 5%.

A hipótese nula afirma que um coeficiente não é significativamente diferente de zero. Ou seja, para todos os efeitos, o coeficiente é considerado como zero e a variável explicativa associada a ele não está contribuindo em seu modelo. Ou seja, neste caso, a hipótese nula considera que a variável renda não está contribuindo para explicar a diferença existente nos indicadores de acessibilidade pelas zonas do município de São Paulo.

Abaixo, a Figura 21 mostra a distribuição dos valores de significância da variável explicativa (renda) pelas zonas do município de São Paulo no modelo GWR usando os indicadores de acessibilidade por transporte público.

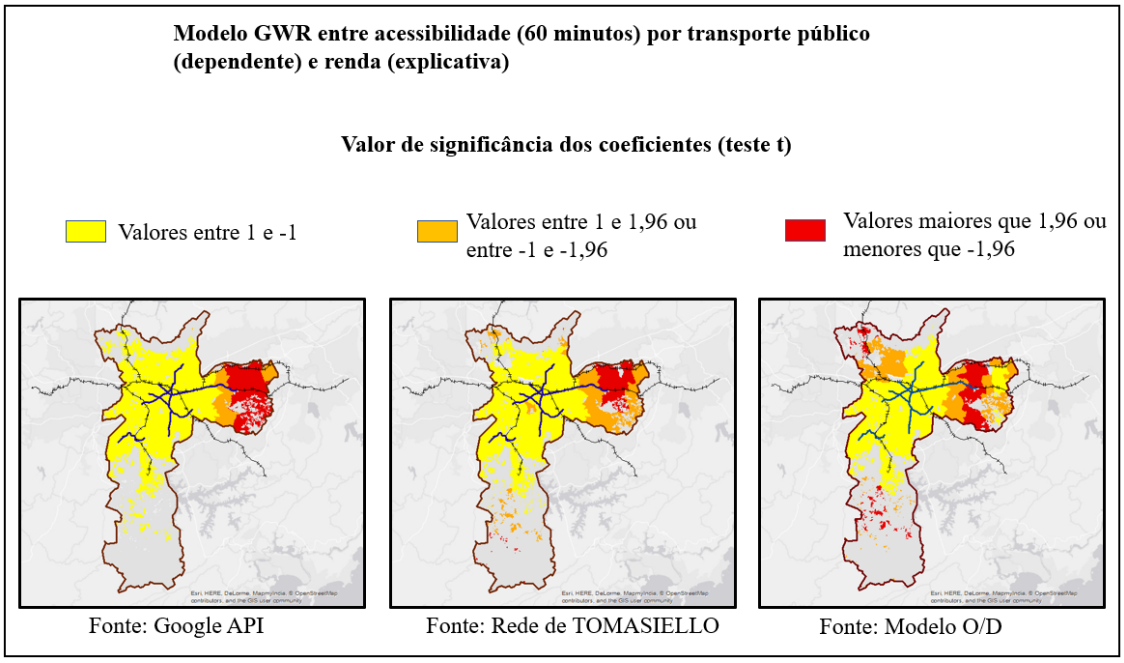

Figura 21: Distribuição espacial dos valores de significância dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) nos modelos GWR entre indicadores de acessibilidade por transporte público e renda per capita.

Analisando a Figura 21 é possível ver quais os locais em vermelho aonde o coeficiente associado à renda ocupa maior significância no modelo. Nestes locais, a hipótese nula é rejeitada a um nível de significância de 0,05, sendo localizados nas periferias da área urbana do município, concentrados a uma área da zona leste entre a rede de trens e metrô; e a algumas zonas na extremidade da zona sul. O modelo aplicado entre o indicador de acessibilidade produzido a partir dos tempos fornecidos pelo Modelo O/D e renda indica também zonas com maior significância em zonas localizadas nas extremidades sul e noroeste do município.

4.5.2 Transporte Individual

Neste tópico são analisados espacialmente os parâmetros resultantes das análises de regressão entre os indicadores de acessibilidade a empregos por transporte individual e renda. Primeiramente foram analisadas a distribuição espacial dos resíduos do modelo GWR, para em seguida analisar os parâmetros espaciais atribuídos localmente pelo modelo GWR para cada

zona do município. A efeitos de ilustração, foi adicionado nos mapas uma feição representando as principais vias de ligação do município de São Paulo, como as Marginais Tietê e Pinheiros, as vias do eixo Norte-Sul e a avenida Radial Leste.

4.5.2.1: Análise dos valores de resíduos

A Figura 22 abaixo mostra o mural com os mapas que revelam a distribuição dos valores de resíduos produzidos pelo modelo de Regressão Geograficamente Ponderada, entre as variáveis renda per capita e os indicadores de acessibilidade por transporte individual, gerado pelas diferentes fontes de dados.

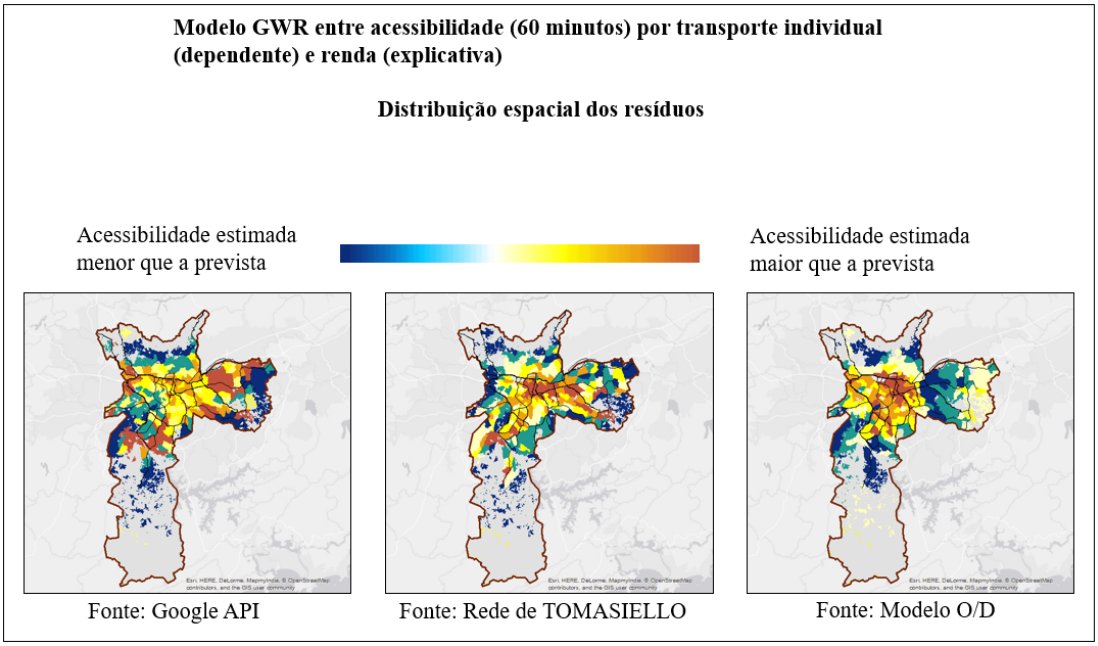

Figura 22: Distribuição espacial de resíduos do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

Ambos os mapas da Figura 22 mostram valores altos de resíduos favorecendo o indicador de acessibilidade na área central. Em relação à distribuição espacial dos resíduos das regressões GWR feitas usando o indicador de acessibilidade por transporte público, ambos os mapas também mostram tendências em algumas áreas mais afastadas, ao longo de alguns

eixos viários importantes. Já os menores valores de resíduos, que determinam áreas sob maior influência de renda, estão espalhados pelas periferias.

A partir dos resíduos do modelo produzido entre o índice de acessibilidade gerado através dos tempos de viagem do API do Google e renda, essas zonas estão mais espalhadas pelo município, localizadas ao longo das vias expressas e principais avenidas nas áreas leste, oeste e sul.

Por outro lado, os resíduos do modelo utilizando o indicador de acessibilidade com os tempos da rede de TOMASIELLO mostram um padrão diferente, com estas zonas mais espalhadas nas áreas leste e sudeste, e com o indicador de acessibilidade produzido através dos tempos de modelo O/D os resíduos do modelo estão mais concentrados perto da área central.

Já em relação aos resíduos do modelo clássico de regressão OLS feito com os indicadores de acessibilidade por transporte individual, há uma suavização das aglomerações de grandes valores de resíduos nas três fontes de tempos de dados, especialmente a aqueles que apontam locais cuja acessibilidade estimada foi menor que a prevista, embora mantendo ainda um contraste entre os valores dos resíduos.

4.5.2.2 Análise dos valores de R^2 locais

A seguir, a Figura 23 revela a distribuição dos valores de R^2 do modelo entre a renda per capita e os indicadores de acessibilidade por transporte individual, usando as três fontes de tempos de viagem.

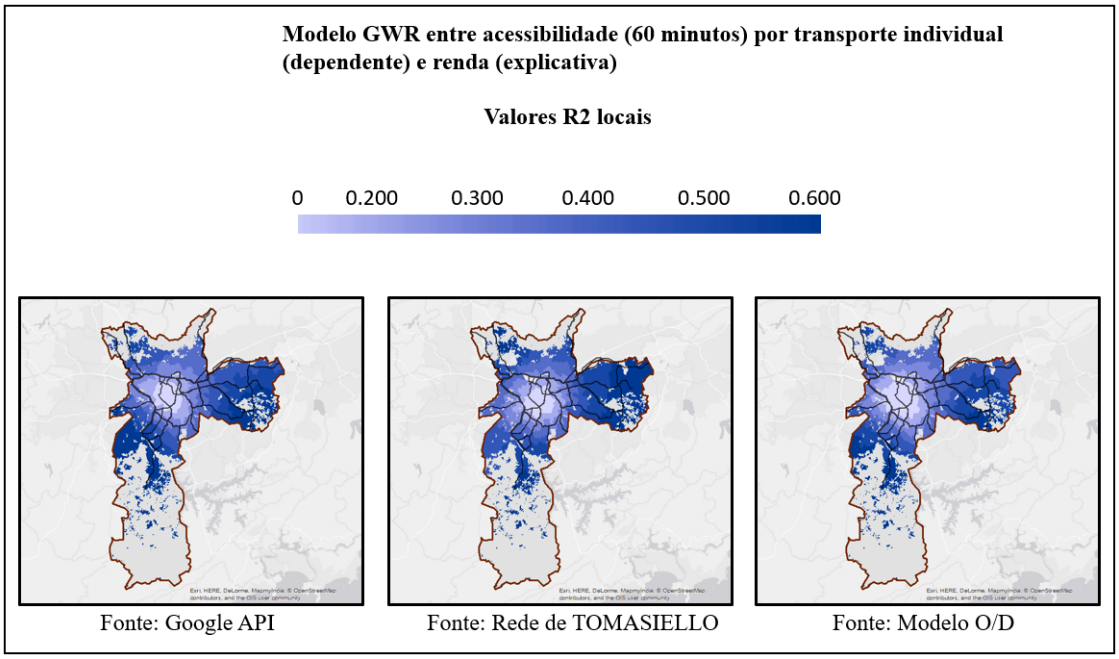

Figura 23: Distribuição espacial dos valores R^2 locais do modelo GWR entre indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

Em ambas as figuras é evidente a melhor calibragem do modelo em áreas ao redor da área central, próximas às vias de ligação com áreas mais afastadas, principalmente nas zonas à sul e a leste do município. Os três modelos, cada um gerado por um indicador de acessibilidade distinto, seguem um padrão espacial semelhante, onde os valores aumentam gradativamente conforme se aumenta a distância em relação à área central.

4.5.2.3: Análise dos coeficientes da variável explicativa (renda)

A Figura 24 a seguir revela o mural com os mapas da distribuição dos valores do coeficiente da variável explicativa, no caso a renda per capita, sobre os modelos desenvolvidos com os indicadores de acessibilidade por transporte individual por zona do município de São Paulo.

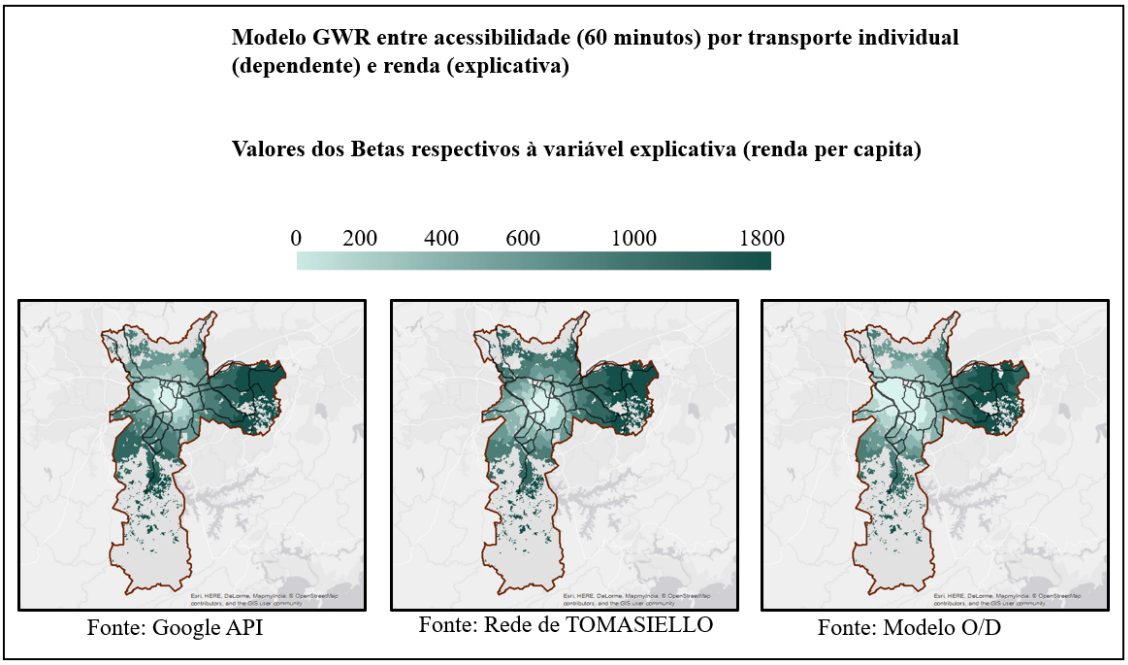

Figura 24: Distribuição espacial dos valores dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

Os mapas da Figura 24 mostram os maiores valores dos coeficientes localizados nas periferias mais afastadas, com os três mapas apresentando um padrão semelhante quando comparados aos modelos GWR que usam índices de acessibilidade de transporte público, sendo tais áreas mais sensíveis às mudanças no nível de renda em relação ao índice de acessibilidade.

4.5.2.4: Análise dos valores de significância da variável explicativa (renda)

A Figura 25 revela o mural com os mapas da distribuição espacial do teste de significância com os valores T sobre a variável explicativa para avaliar a probabilidade de hipótese nula, ou seja, referente ao indicador de renda ser insignificante para as predições dos valores de acessibilidade feitas pelo modelo. Essa análise foi feita considerando-se um nível de confiança de 95%, através das três fontes de dados de tempo de viagem por transporte individual.

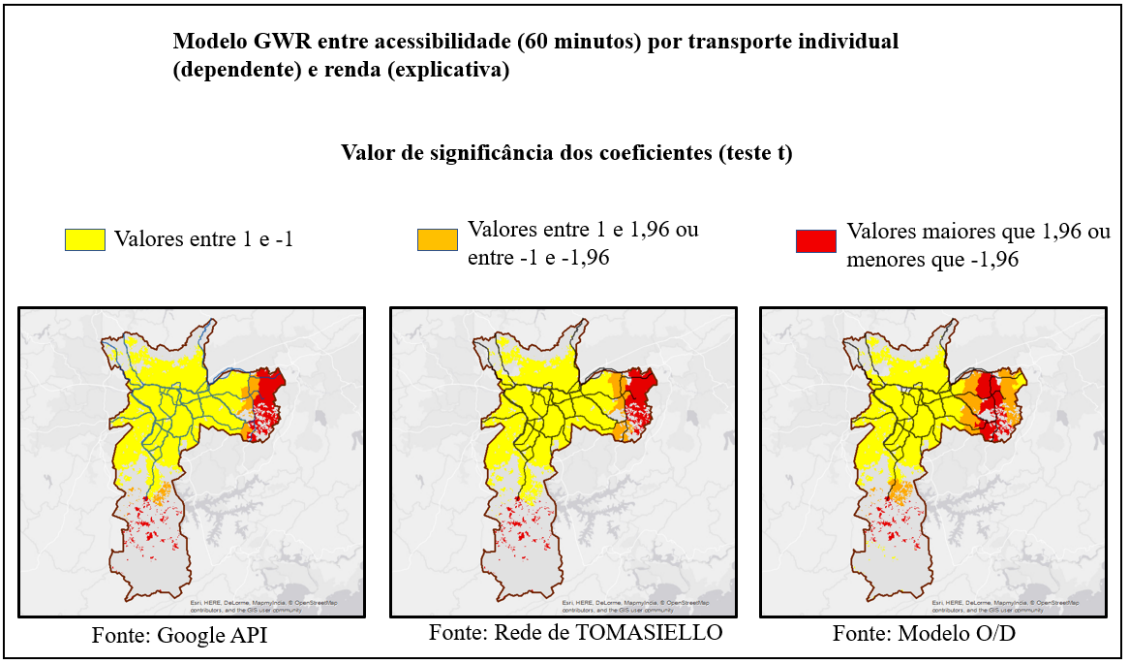

Figura 25: Distribuição espacial dos valores de significância dos coeficientes (betas) atribuídos à variável explicativa (renda) do modelo GWR entre os indicadores de acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

Ambos os mapas apontam zonas agrupadas nas extremidades das zonas leste e sul onde a hipótese nula é rejeitada ao nível de confiança de 0,05, sendo alinhadas aos maiores valores do coeficiente de renda conforme representado na Figura 24. Nessas locais a hipótese nula se apresenta estatisticamente como inferior a 5%.

4.5.3: Observações acerca das análises de regressão

As conclusões que podem ser observadas depois de produzir análise de regressão em relação à acessibilidade e aos dados de renda são que, de fato, existe uma correlação espacial positiva entre as duas variáveis, com o GWR mostrando uma ligeira melhora de parâmetros em relação ao modelo MMQ.

As aplicações do modelo GWR mostram relações mais fortes em locais com menores índices de acessibilidade, seja através de transporte individual ou público. Nos mapas, os maiores valores dos parâmetros, junto com os maiores e mais significativos valores de coeficientes de renda foram localizados em áreas mais distantes, mostrando um impacto maior na relação de renda e

acessibilidade. Isso indica que, nesses locais, uma diminuição na renda pode indicar um tempo mais longo de viagem para alcançar as oportunidades de empregos, podendo resultar na redução da participação nas atividades.

Essas relações evidenciam que um aumento de renda também pode estar relacionado a um aumento no número de opções de viagem, e ao alcance de maiores distâncias na cidade em menos tempo de viagem.

Em ambos os casos, tanto através dos indicadores de acessibilidade por transporte público como por transporte individual, a relação indica que a população de renda mais alta também é aquela melhor localizada em relação às oportunidades de trabalho, com menores tempos de viagem, permitindo dedicar mais tempo em demais atividades. Nesses locais de renda mais alta foi onde o modelo obteve o pior desempenho nos parâmetros em geral, indicando que outros fatores além da renda impactam ou explicam os níveis de acessibilidade.

Assim, as observações após a produção da análise de regressão sobre dados de acessibilidade e renda é que existe, de fato, uma correlação espacial positiva entre as duas variáveis, com o modelo GWR permitindo uma análise mais detalhada dessas relações, cujos resultados destacam uma relação mais próxima nas zonas com níveis mais baixos dessas variáveis.

4.6 **Análise detalhada das regiões a partir das métricas calculadas.**

Nesta etapa, foi feita uma análise acerca de três áreas específicas do município de São Paulo (Zona Sul, Zona Central e Zona Leste), associando suas características com os resultados obtidos pelas análises de regressão e comparativa cruzada entre variáveis.

A seguir, na Figura 26, é apresentado os recortes das áreas em estudo sobre o município de São Paulo.

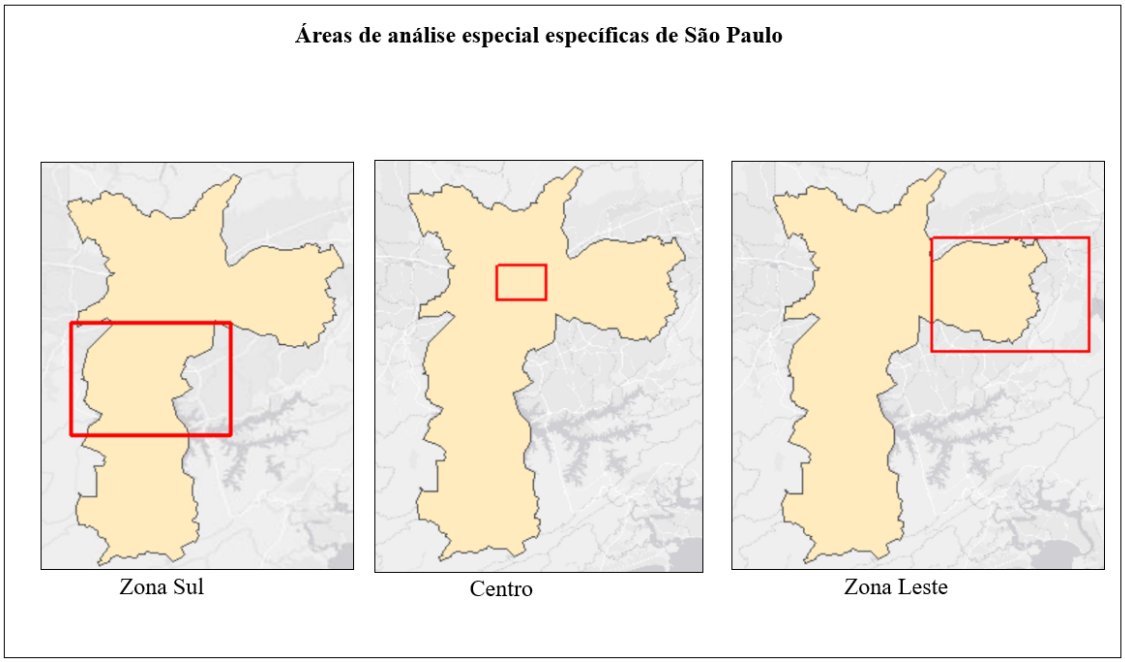

Figura 26: Áreas de análise específica do município de São Paulo

4.6.1. Zona Sul

Essa área de análise reúne algumas das regiões do município com os melhores níveis de acessibilidade a empregos e de indicadores socioeconômicos, principalmente o de renda. Segundo o indicador produzido com dados do IBGE pela organização municipal ObservaSampa (Observatório de Indicadores da Cidade de São Paulo), na relação entre os empregos formais existentes por população economicamente ativa, as subprefeituras de Pinheiros e Santo Amaro (que abrangem a área da Berrini) possuem 246 e 217 empregos formais a cada 100 habitantes, respectivamente. É uma nítida área de concentração de empregos e de bairros de alta renda.

No entanto, também abrange bairros mais carentes, como o de Paraisópolis, de ocupação predominante pela população de baixa renda. Ele foi criado originalmente para ser um loteamento de alta renda, mas foi sendo ocupado progressivamente a partir da década de 1960 por imigrantes de áreas mais pobres do país em uma área próxima à um loteamento de alta renda, não muito afastado do Centro da cidade, o que facilitava o acesso à empregos.

Segundo o ObservaSampa, em 2016 haviam 6.743 famílias vivendo em situação de extrema pobreza (com renda inferior a ¼ do salário mínimo) no distrito da Vila Andrade, que abrange Paraisópolis.

Outros bairros de menor renda da região encontram-se mais afastados, junto aos limites da área urbana, como Capão Redondo, Jardim Ângela e Grajaú.

Os próximos mapas ilustram a comparação entre acessibilidade e os indicadores de renda dentro dessa zona da cidade, utilizando os resultados do modelo GWR, no caso analisando os parâmetros obtidos através dos coeficientes previstos para a variável explicativa, e da análise comparativa de valores cruzados entre as variáveis.

A Figura 27 a seguir mostra o mapa da análise cruzada entre acessibilidade cumulativa em 60 minutos por transporte público e renda per capita na Zona Sul do município.

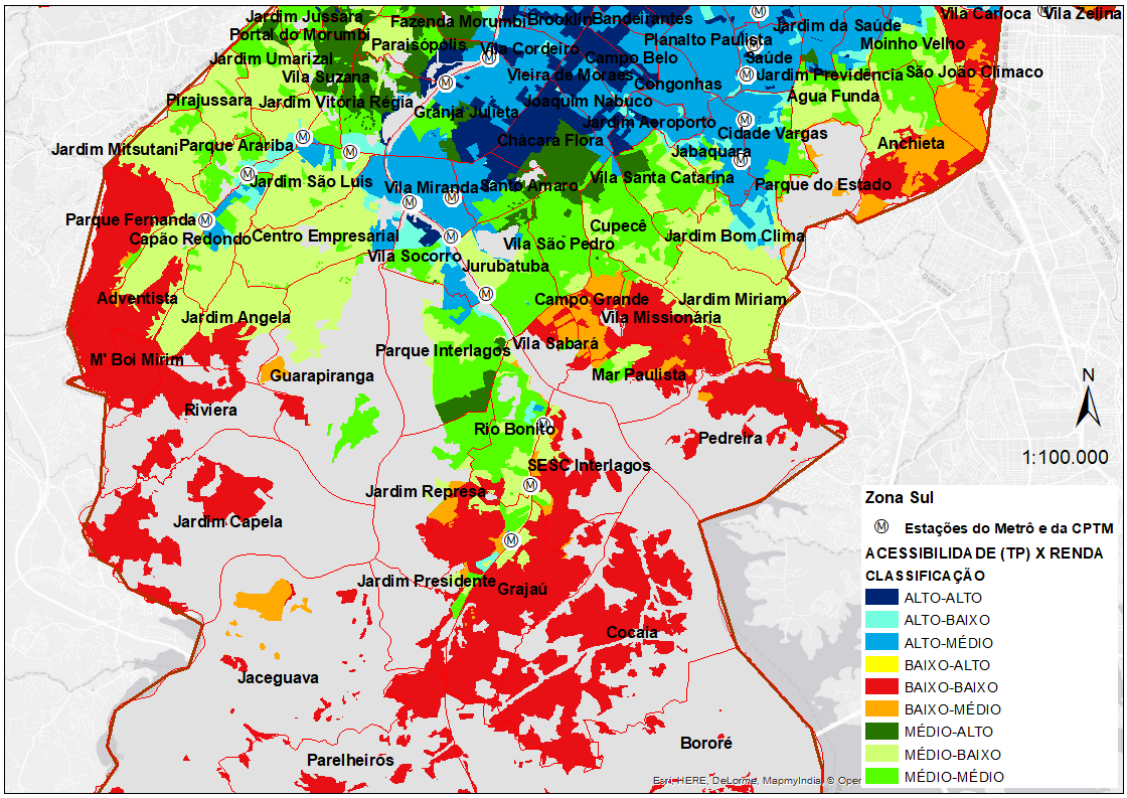

Figura 27: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Sul.

Na Figura 27, os setores classificados como ALTO-ALTO aparecem mais próximos à área central do município, na área dos bairros de Moema, Brooklin e Santo Amaro, conhecidas por disporem de grande disponibilidade de transporte público como terminais e corredores de ônibus. É visível uma transição entre a classificação dos setores a medida em que se aproxima dos limites da área urbana e do município.

Setores de ALTO-MÉDIO, ALTO-BAIXO e MÉDIO-BAIXO aparecem ao longo desses setores e junto à maioria das estações de metrô (é visível a influência das estações do metrô do Capão Redondo) e trem (ao redor das estações da CPTM em Interlagos por exemplo). Também houve representação significativa de áreas classificadas como MÉDIO-ALTO (média acessibilidade e alta renda) nos setores do Morumbi, Chácara Flora e de Interlagos, locais com menos disponibilidade de transporte público. Os setores com as piores

classificações (MÉDIO-BAIXO e BAIXO-BAIXO) aparecem mais a sul e a oeste como nos bairros Jardim Ângela e Grajaú.

A Figura 28 abaixo mostra a distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) sobre o resultado do modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda per capita na Zona Sul.

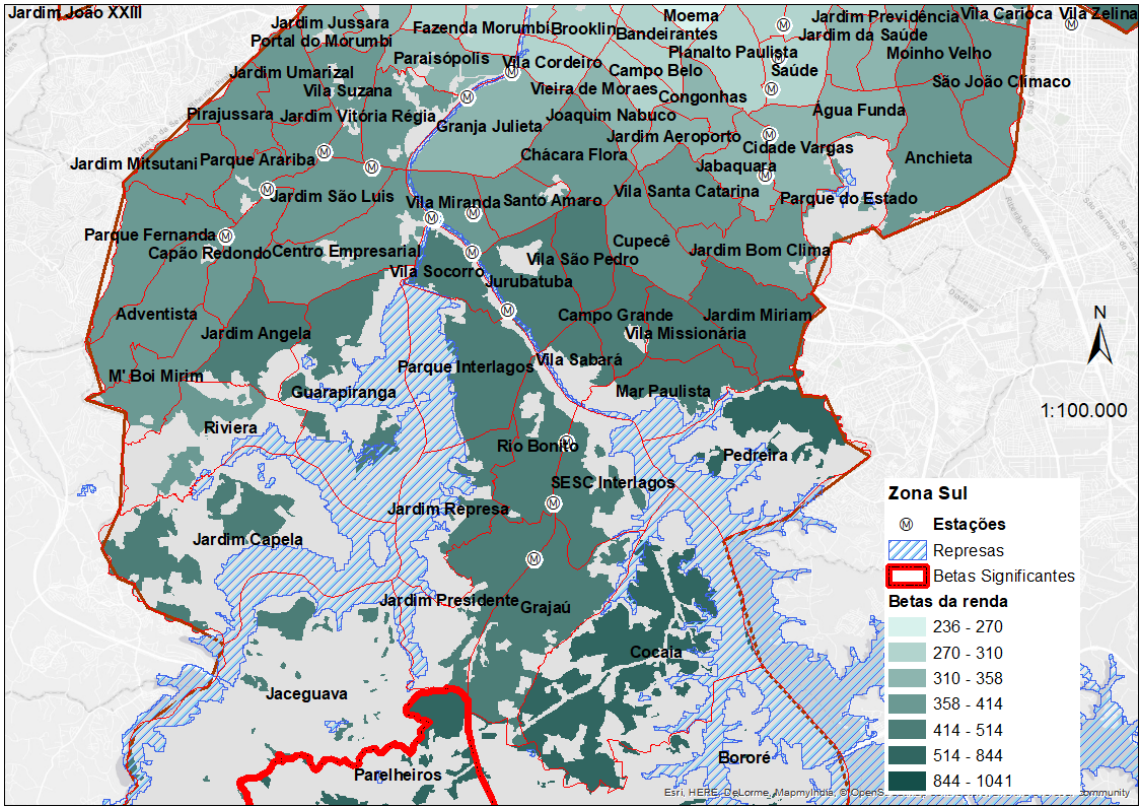

Figura 28: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na zona sul de São Paulo.

É visível na Figura 28 um crescimento gradual dos valores dos coeficientes à medida em que se afasta das áreas mais próximas à área central rumo às extremidades da área urbana e do município, cujas zonas apresentam os maiores valores de coeficientes, com duas delas apresentando coeficientes significativos, onde a hipótese nula é rejeitada a um nível de confiança de 0,05. Os maiores valores estão associados às zonas cujos setores apresentaram classificações de BAIXO, tanto para renda como para acessibilidade, na Figura

27. Ou seja, tais zonas possuem seu nível de acessibilidade sensíveis às mudanças eventuais de renda.

As duas figuras anteriores revelaram um panorama de semelhança entre a acessibilidade por transporte público e a renda per capita. A seguir, a Figura 29 revela o mapa da análise cruzada entre acessibilidade cumulativa em 60 minutos por transporte individual e renda per capita na Zona Sul do município.

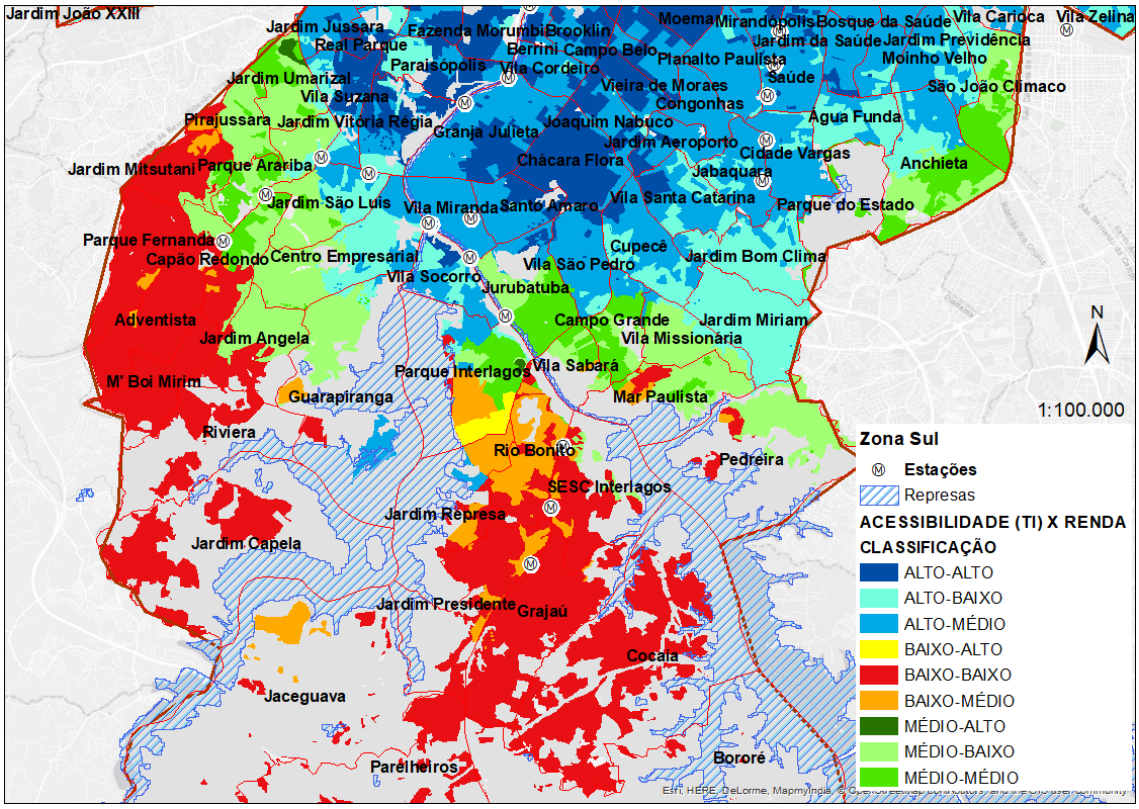

Figura 29: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda na Zona Sul.

Analisando o panorama apresentado pelo mapa da Figura 29, percebe-se que os setores com as melhores classificações estão mais a norte, como nas zonas de Moema, Berrini e Santo Amaro. Fica o destaque para Paraisópolis, classificada como possuindo alto nível de acessibilidade e baixo nível de renda. Não quer dizer, necessariamente, que os moradores de Paraisópolis possam usufruir desses bons níveis, pois se desconhece nesse

trabalho a capacidade financeira destes em adquirir um automóvel, embora seu baixo nível de renda sugere que esta seja limitada a poucos.

Os piores níveis estão nas zonas mais afastadas à sul e oeste, assim como na Figura 27. Fica o destaque para uma área que se destaca pela baixa acessibilidade e alta renda, na zona de Interlagos. A longa distância aliada à pouca quantidade de vias de acesso à essas extremidades do município pode ser um fator relevante para essa situação, conhecidas por ficarem congestionadas habitualmente em dias úteis.

A seguir, na Figura 30, é revelada a distribuição espacial dos valores dos coeficientes da variável explicativa do modelo (renda), mostrando o seu peso no resultado do modelo.

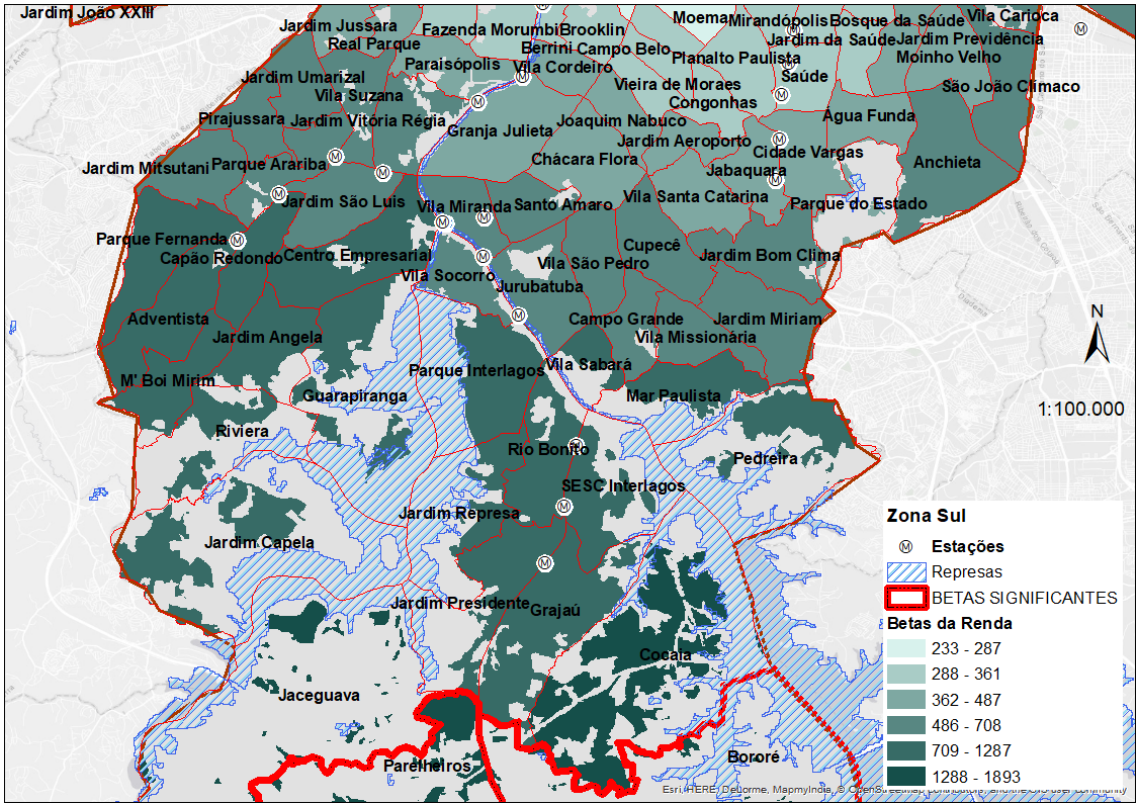

Figura 30: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte individual e renda na zona sul de São Paulo.

A Figura 30 revela que as zonas com os maiores valores dos coeficientes se situam nas extremidades, assim como os mais significativos,

coincidindo com a localização dos setores classificados como possuindo menores valores de renda e acessibilidade, conforme visto na Figura 29. Já os menores valores dos coeficientes coincidem com as zonas que contém os setores com as melhores classificações de renda e acessibilidade. É um panorama semelhante ao da análise de regressão utilizando o indicador de transporte público, com o destaque nesse caso para valores ainda maiores dos coeficientes.

Resumindo as análises sobre a Zona Sul, esta é uma porção do município de São Paulo que reúne diferentes perfis socioeconômicos, com uma grande concentração de renda e empregos fora da área central do município, enquanto que também apresenta áreas mais carentes de renda e de baixa acessibilidade, junto também a áreas transitórias entre essas duas situações. Sobre esse território essas análises possibilitam visualizar o comportamento da relação entre acessibilidade e renda em diferentes locais.

4.6.2. Região Central

Localizada ao redor do centro geográfico do município, muitas zonas dessa região concentram grande parte dos empregos disponíveis. Segundo o ObservaSampa, na relação empregos formais existentes por população economicamente ativa, existem somente na Subprefeitura da Sé cerca de 467 empregos formais a cada 100 habitantes da área.

De acordo com levantamento estatístico da Pesquisa de Mobilidade produzida pelo Metrô de São Paulo em 2012 na Região Metropolitana, a região do Centro concentrava 65% do total de empregos das pessoas entrevistadas.

É neste local da cidade para onde convergem as redes de transportes da cidade, como os itinerários de ônibus municipais e as linhas de metrô e trem.

A Figura 31 abaixo compara o mapa da análise cruzada entre as classes de valores das variáveis de acessibilidade cumulativa em 60 minutos por transporte público e de renda per capita pela Zona Central.

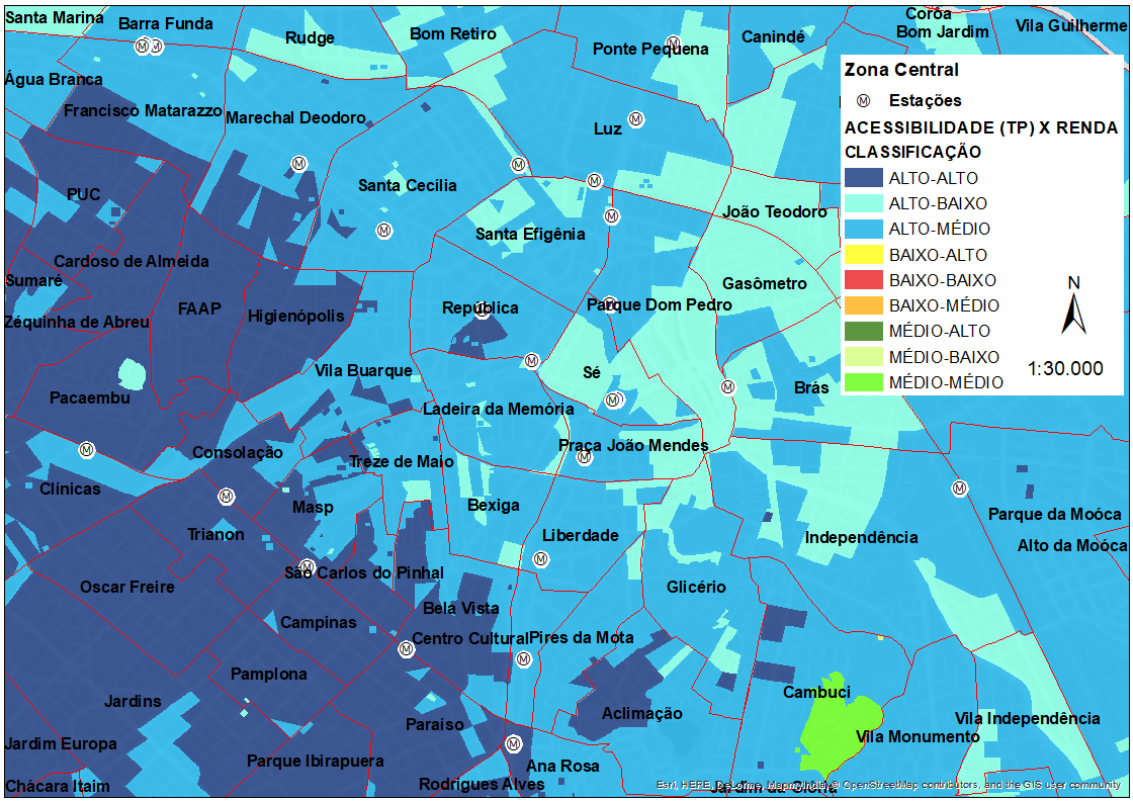

Figura 31: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Central.

A Figura 31 mostra que praticamente todos os setores da área analisada possuem tanto altos níveis de acessibilidade à empregos por transporte público. No entanto, é visível uma concentração dos maiores níveis de renda nos setores a oeste e sul da área, nos setores que abrangem os bairros do Higienópolis, Jardins e ao redor da Avenida Paulista.

Há a presença de setores de baixa renda nas zonas que compõem o centro histórico da cidade, como Sé, República e Brás. Esses locais são conhecidos por possuírem uma intensa gama de serviços e comércio popular, além de abrigarem as mais movimentadas estações de metrô e trem da área, como Sé, Luz e Brás. É aqui onde o esvaziamento da área central das classes sociais mais ricas se vê presente, com a pouca disponibilidade de serviços mais especializados, e poucas residências em geral frente ao número de estabelecimentos comerciais, sendo procurado para ser moradia pelas classes

de renda mais baixas, sendo visível também ocupações irregulares e muitos moradores sem teto nas ruas e terrenos da área.

A Figura 32 abaixo mostra a distribuição espacial dos valores dos coeficientes da variável explicativa do modelo (renda), mostrando o seu peso no resultado do modelo.

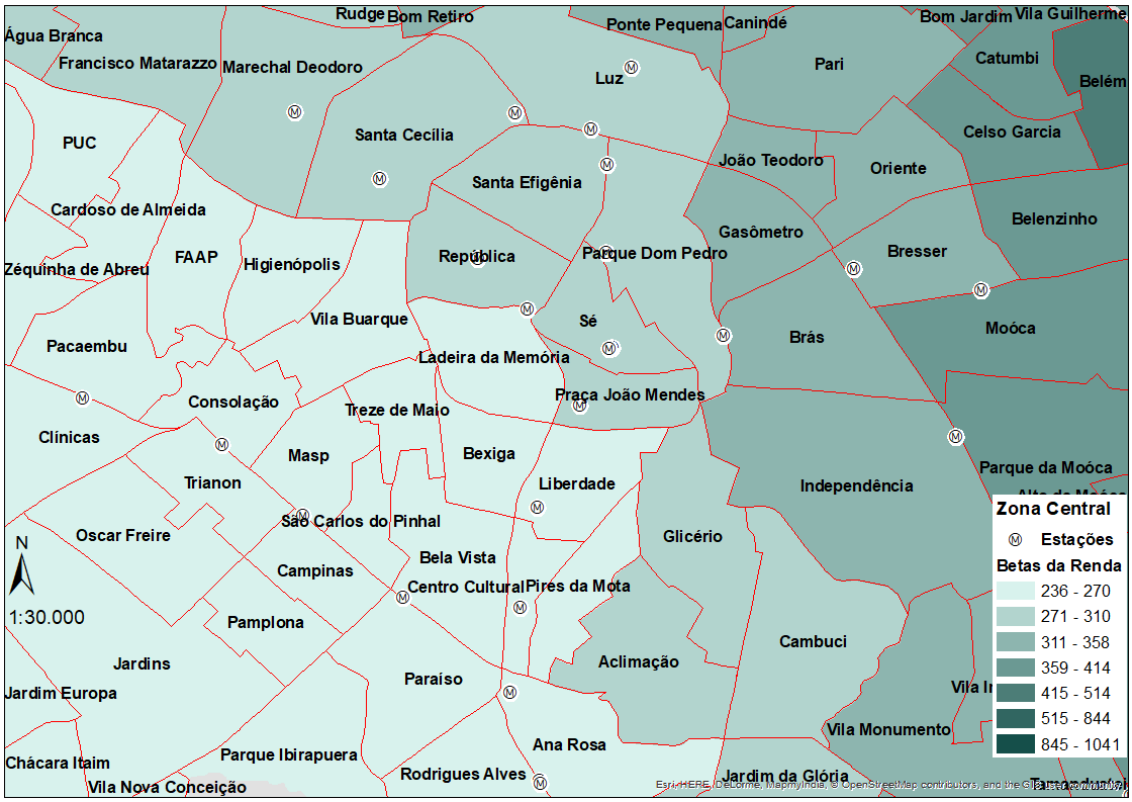

Figura 32: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na zona central de São Paulo.

A Figura 32 acaba revelando valores mais baixos justamente nas áreas com os setores de maior renda, mostrando que estarão previstos impactos menores na acessibilidade nesses locais. Já os maiores coeficientes se localizam justamente nas áreas à leste, onde se encontravam os setores de renda mais baixa conforme revelado na Figura 31. Vale ressaltar que os coeficientes das zonas da região apresentaram também baixos níveis de significância e de R2, conforme apresentado anteriormente, o que indica um ajuste fraco do modelo nessa região.

A seguir, foi feita a análise usando o indicador de acessibilidade por transporte individual e renda per capita. A Figura 33 abaixo mostra a análise comparativa pela classificação de valores entre acessibilidade por transporte individual e renda per capita.

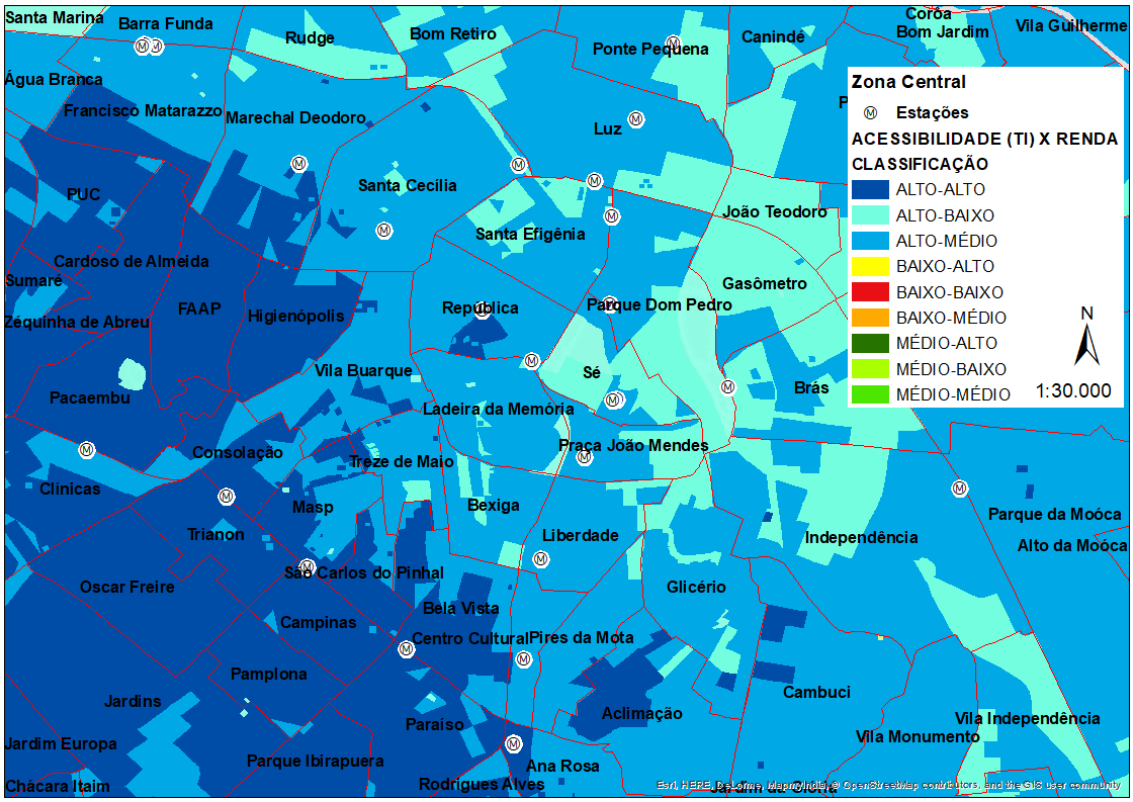

Figura 33: Comparação entre acessibilidade cumulativa a empregos por Transporte Individual e renda na Zona Central.

A Figura 33 mostra um panorama bem similar ao da Figura 31, com a predominância de setores de alta acessibilidade por transporte (neste caso, individual) e com uma divisão espacial visível entre os setores com renda classificada em ALTO, MÉDIO e BAIXO.

A Figura 34 abaixo mostra a distribuição espacial dos valores dos coeficientes da variável explicativa do modelo (renda), mostrando o seu peso no resultado do modelo.

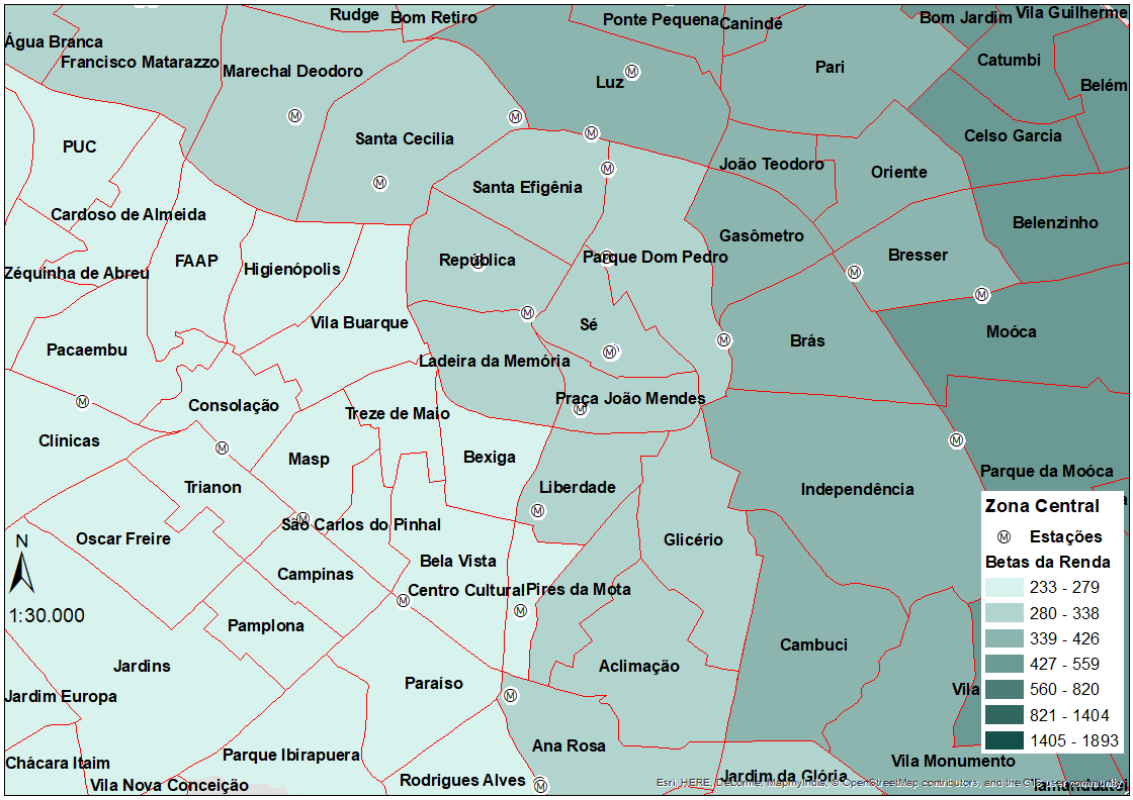

Figura 34: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte individual e renda na zona central de São Paulo.

Percebe-se na Figura 34 a diferença entre os valores dos coeficientes em relação à distribuição do nível de renda, ressaltando também que nenhuma das zonas obteve coeficientes do modelo significantes, assim como ocorreu na análise com a acessibilidade transporte público. É evidente o contraste nos indicadores de renda entre as áreas mais próximas dos Jardins e da Avenida Paulista e as áreas ao redor da Sé, República e Brás. São nessas áreas de setores de média e baixa renda onde o coeficiente do modelo de regressão apresentou maior força, sendo as mais vulneráveis em caso de mudanças da renda de seus moradores.

Ainda em relação ao desempenho dos modelos de regressão na região, perceberam-se fracos parâmetros resultantes, sendo nessa área onde foram revelados os piores valores de R2 ajustado e de valores de significância do coeficiente da variável explicativa. Tais resultados podem ser explicados pela grande variação dos níveis de renda existente nessa região, com a predominância de altos níveis de acessibilidade conforme demonstrado nas análises acima. Isso contribui para explicar que apenas a renda não é o suficiente para explicar, por si mesma, os níveis de acessibilidade da área, havendo provavelmente outros fatores a serem considerados.

Uma possível explicação se deve pela saída das classes sociais mais ricas dessas ultimas devido a saturação desses espaços centrais, sendo orientados principalmente às atividades de serviços e comércio populares. Isso acarretou em um “esvaziamento” da região, mesmo possuindo atualmente alto grau de acessibilidade a empregos, concentrando grande parte do total do município, além de ter sido historicamente o coração da rede de transportes da cidade.

4.6.3. Zona Leste

A área de análise em questão localiza-se nos limites a leste do município, sendo a mais populosa do município e com uma estrutura de transporte à disposição mais limitada do que nas áreas centrais. Na Figura 4, referente ao carregamento médio de pessoas por dia útil, foi visto que o trecho mais lotado foi referente às linhas de metrô e trem que ligam essa área à região central.

A carência em serviços e a crescente demanda por terra em São Paulo alimentam a especulação, pela valorização diferencial entre as diferentes áreas urbanas. Quando tais áreas recebem a estrutura de apoio e de serviços necessária, elas têm seu valor aumentado e se tornam mais inacessíveis financeiramente ao público de menor renda.

A especulação e o déficit de residências, ocasionado pelo crescimento populacional, são dois fatores que conduzem a uma “periferização” da

população mais pobre e, novamente, a um aumento no tamanho da cidade, onde persistem os vazios urbanos. Na Zona Leste, o desenvolvimento do bairro de Cidade Tiradentes se deu por essa lógica. Quando foram desenvolvidos os primeiros conjuntos habitacionais pela Companhia Metropolitana de Habitação (COHAB), houve também um intenso loteamento das glebas ao redor que possibilitou o desenvolvimento urbano da região com novos empreendimentos privados de baixa renda, de caráter predominante residencial.

Atualmente, segundo a organização municipal ObservaSampa (Observatório de Indicadores da Cidade de São Paulo), a subprefeitura de Cidade Tiradentes apresenta o segundo pior resultado do município na relação empregos formais existentes por população economicamente ativa: 3 empregos a cada 100 habitantes.

A Figura 35 abaixo mostra a análise de comparação cruzada entre os níveis de acessibilidade por transporte público e de renda na Zona Leste.

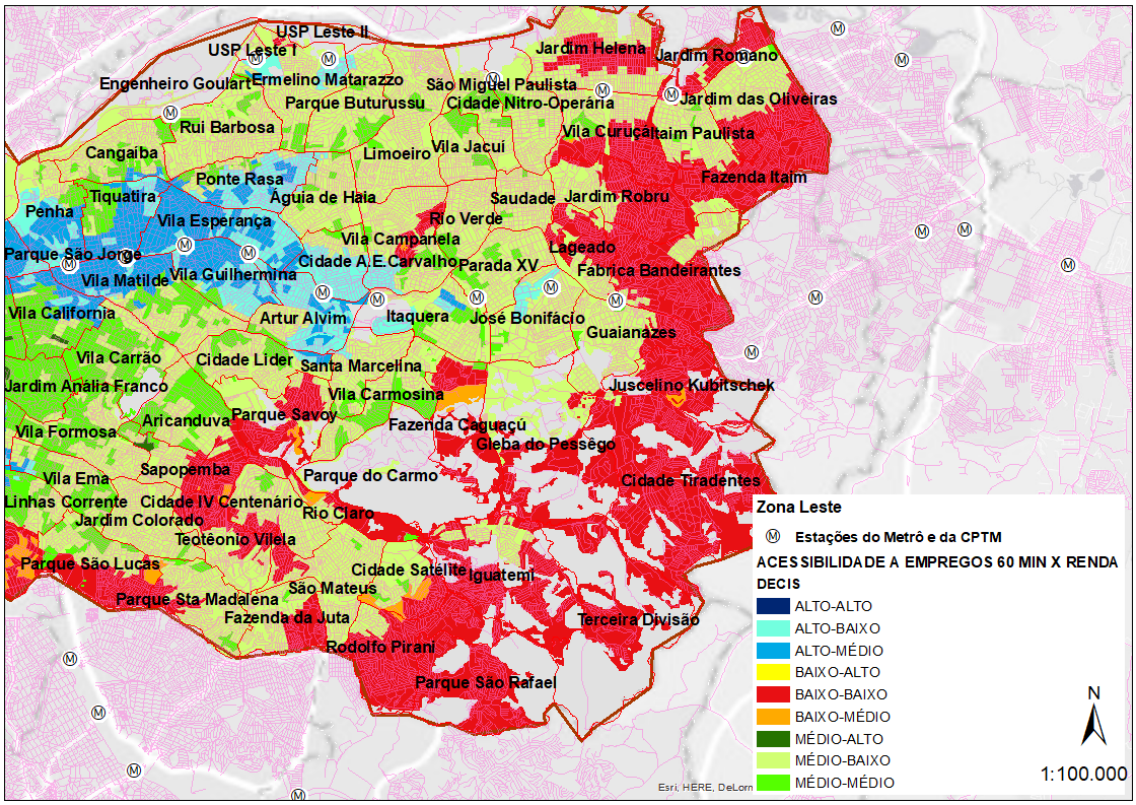

Figura 35: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e renda na Zona Leste.

A Figura 35 revela a predominância de indicadores de baixo ou médio nível de renda para toda a área. Indicadores de alto nível de acessibilidade são visíveis nas proximidades das estações de metrô e trem, e setores com médio nível de acessibilidade se espalham por toda a área.

Os setores mais críticos, de classificação BAIXO-BAIXO, se concentram nas zonas mais limitadas, junto aos limites do município, como é o caso de Cidade Tiradentes, por exemplo. Segundo o indicador produzido pela organização ObservaSampa, no ano de 2010 a proporção de famílias vivendo com até ½ salário mínimo em Cidade Tiradentes, era de 25,91%, e altos níveis de violência, com a ocorrência de 19 homicídios registrados na área pela Secretaria de Segurança Pública de São Paulo apenas no ano de 2016.

A Figura 36 a seguir mostra a distribuição espacial dos valores dos coeficientes do modelo GWR entre o indicador de acessibilidade por transporte público em 60 minutos (usando os tempos do Modelo O/D) como a variável dependente e renda per capita como a variável explicativa.

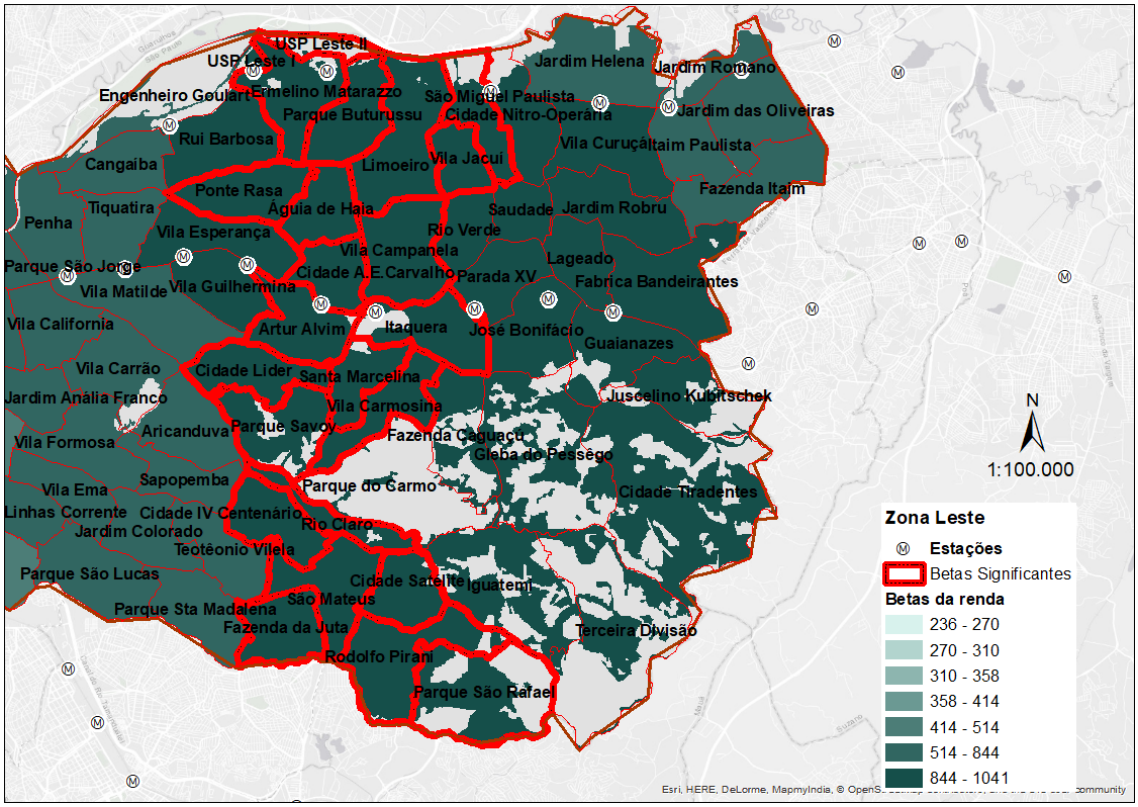

Figura 36: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre acessibilidade por transporte público e renda na Zona Leste de São Paulo.

Observando os resultados da Figura 36, e em comparação com os obtidos através da análise comparativa na Figura 31, percebe-se que os maiores e mais significativos valores estimados para o coeficiente sobre a variável explicativa (renda) no modelo de Regressão Geograficamente Ponderada se destacam sobre as zonas cuja maioria de setores foi classificada como BAIXO-BAIXO (baixa acessibilidade e baixa renda), MEDIO-BAIXO (média acessibilidade e baixa renda) e ALTO-BAIXO (alta acessibilidade e baixa renda). Isso indica a maior sensibilidade da acessibilidade desses locais frente a eventuais mudanças sobre sua já limitada renda.

A Figura 37 a seguir mostra a análise cruzada comparativa entre valores de acessibilidade cumulativa por transporte individual e renda per capita.

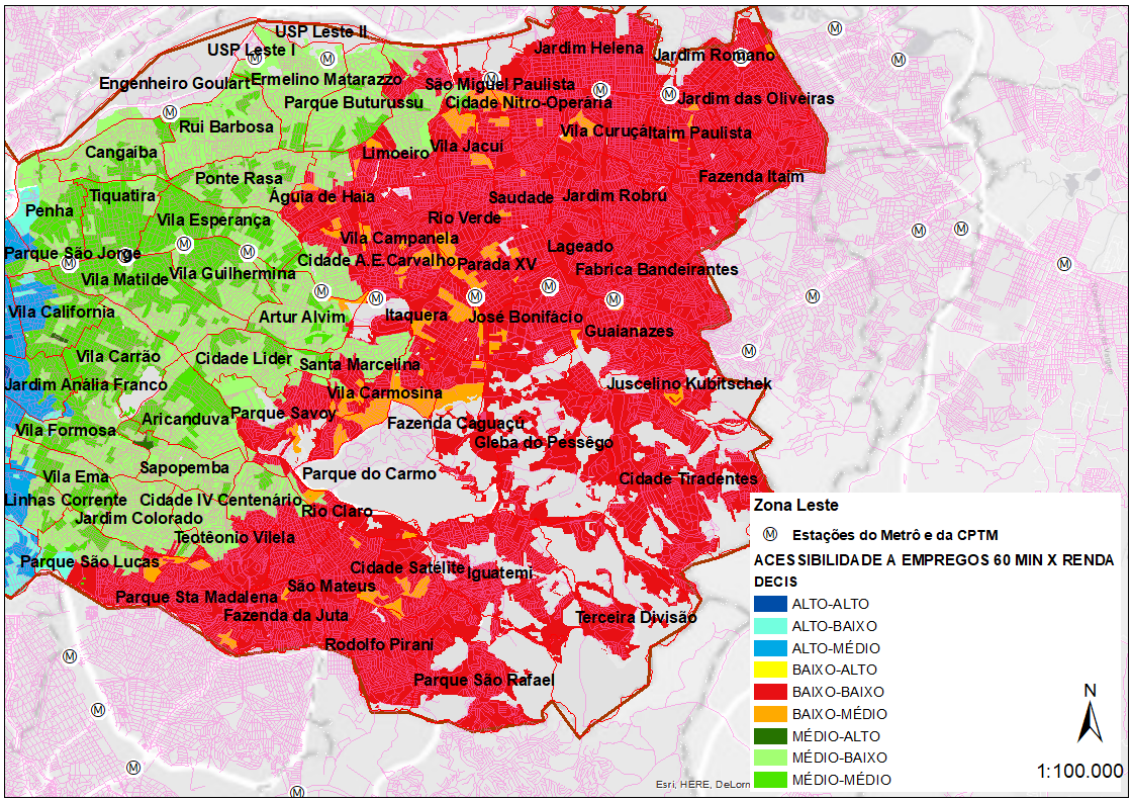

Figura 37: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte individual em 60 minutos e renda na Zona Leste.

Na Figura 37, a presença de setores classificados de acessibilidade média por transporte individual é reduzida se em comparação com o mapa da Figura 35, relativo ao transporte público. Uma explicação pode ser pelo fato de a Zona Leste ser altamente populosa e ao mesmo tempo possuir uma baixa concentração de empregos (em relação ao Centro e à Zona Sul) além de possuir poucas vias expressas para automóveis.

Isso faz com que boa parte da população tenha que deslocar-se para uma mesma direção em direção às áreas de concentração dos empregos usando as poucas vias de ligação disponíveis, o que resulta em congestionamentos maiores e maior tempo de viagem. As áreas com os setores de melhor acessibilidade por transporte individual estão junto às zonas da área central como Tatuapé e Jardim Anália Franco, por exemplo.

A seguir, a Figura 38 mostra a distribuição espacial dos valores dos coeficientes do modelo GWR entre o indicador de acessibilidade por transporte individual em 60 minutos (usando os tempos do Modelo O/D) como a variável dependente e renda per capita como a variável explicativa.

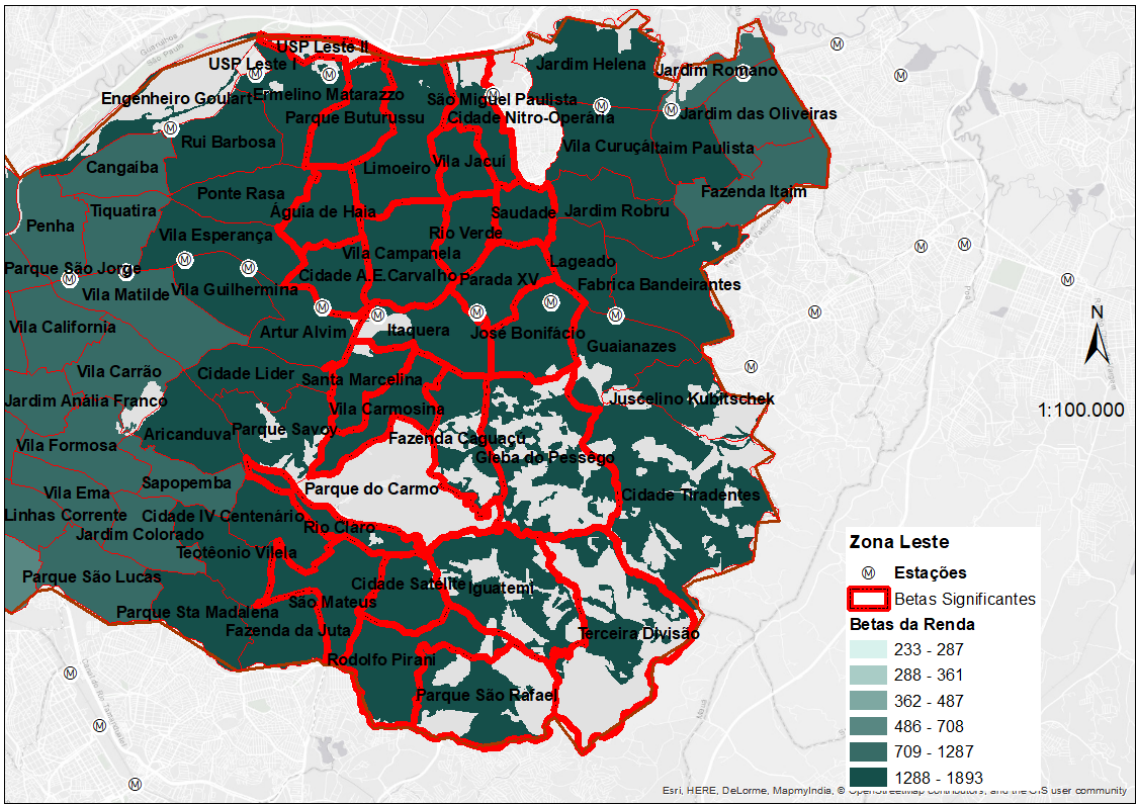

Figura 38: Distribuição espacial dos coeficientes da variável explicativa (renda) no modelo GWR entre renda e acessibilidade por transporte individual na Zona Leste de São Paulo.

É visível na Figura 38 que os maiores valores do coeficiente se localizam nas zonas mais periféricas da região, com uma porção importante destas apresentando altos níveis de significância, onde a hipótese nula pode ser rejeitada a um nível de significância de 0,05. São zonas que coincidem com áreas de valores baixos de renda e acessibilidade conforme demonstrado na figura anterior.

Observando-se a situação da Zona Leste após serem exibidos todos os mapas das figuras anteriores, ficam registradas as seguintes observações:

É a área do município que concentra a maior concentração de zonas com os piores indicadores de acessibilidade e de renda, além dos maiores valores do coeficiente do modelo, representando uma maior vulnerabilidade frente às mudanças na renda. Ela também concentra um grande número de zonas com maior significância do coeficiente do modelo de regressão, onde a hipótese nula (de a renda não influenciar na acessibilidade) é rejeitada sob confiança de 0,05.

Boa parte dessas áreas provêm de uma ocupação urbana mais recente e que não veio acompanhada de serviços básicos, além de disporem de transporte precário a outros locais da cidade. A dispersão e espraiamento da cidade, gerando esse grande número de vazios urbanos, é explicada por SANTOS (1993), sendo fruto do modelo rodoviário de desenvolvimento da cidade, que possibilita a especulação imobiliária e corporativa de novas áreas a serem ocupadas. É o exemplo de Cidade Tiradentes, localizada nos limites à leste do município, sendo lá evidente o grande número de áreas ainda não urbanizadas.

Os indicadores cruzados das Figuras 35 e 37 revelam o fruto dessas condições, onde há baixos níveis de acessibilidade, se tratando de uma região afastada das áreas concentradoras de empregos da cidade e da rede de transporte sobre trilhos; com baixos níveis de renda per capita. A baixa oferta de empregos na região e as longas distâncias a serem percorridas fazem com que o transporte consuma parte significativa da já bem limitada renda média da população dessas áreas, sensibilizando sua mobilidade em caso de alterações nesta, e por consequência sua acessibilidade à atividades, como é revelado nas Figuras 36 e 38.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou as dinâmicas que existem entre renda da população e sua capacidade de acessar empregos baseando-se em medidas de acessibilidade.

O município de São Paulo possui um alto nível de desigualdades, conforme visto no Gráfico 1 referente a análise de Gini e nos murais de mapas que refletiram as diferenças nas acessibilidades aos empregos e renda dentro das diferentes áreas da cidade.

As análises desse trabalho demonstraram a diferença existente entre a acessibilidade por transporte público e individual, com ainda uma vantagem pendendo para o modo individual quando considerado apenas o fator de tempo de viagem. No entanto, ambos privilegiam as zonas centrais e o denominado “quadrante sudoeste”, com as classes mais ricas, e apontam os piores resultados para as periferias mais afastadas do município. Cabe destacar também que mesmo em áreas mais afastadas os valores de acessibilidade apresentaram variações significativas, apontando para características distintas de acessibilidade em relação à distribuição dos sistemas de transportes destes locais.

Os padrões espaciais apresentados pelos indicadores de acessibilidade calculados pelas três diferentes fontes de tempos de viagem mostram muitas semelhanças, principalmente na acessibilidade ao transporte público, favorecendo as zonas próximas ao sistema de metrô. Nas medidas de acessibilidade ao transporte privado, diferenças mais significativas aparecem quando se comparam as três fontes de dados de tempo de viagem, sugerindo diferentes calibrações de rede, que devem ser consideradas com cuidado.

A análise espacial dos indicadores de acessibilidade por si só não fornece o cenário completo para os problemas relacionados à exclusão social dos indivíduos, porque não é possível verificar se as pessoas que vivem em

áreas de baixa acessibilidade também têm baixa renda. No entanto, quando aplicado juntamente com variáveis socioeconômicas, como renda, pode ser um meio para identificar alguns padrões de exclusão social, conforme explorado no presente estudo.

Os resultados obtidos neste trabalho, tanto através das análises de comparação espacial direta entre as classes de valores das variáveis, como pelo uso dos modelos de Regressão Geograficamente Ponderada, revelaram que existe uma relação entre essas variáveis. Quando aplicados os modelos de regressão clássica OLS, ficou visível, tanto sob a análise do Indice Moran I quanto na análise dos resíduos, padrões de aglomeração espacial dos valores indicando a existência de uma autocorrelação significativa entre as variáveis.

A interpretação dos resultados permite identificar que a relação entre renda e acessibilidade não é tão forte nas classes de renda mais alta. Possivelmente isso decorre do fato de sua faixa de rendimentos lhes permite ter a disposição de si um maior número de opções de deslocamento, além de estarem em geral a um tempo menor de viagem em relação aos empregos, localizados majoritariamente naquela região. A acessibilidade se torna um valor a mais na escolha e nos preços da residência. Esse fato se encaixa com os resultados das análises de regressão espacial nos trabalhos feitos por DU E MULLEY (2006) e WANG E NA (2015).

Os resultados deste trabalho também indicam que são as classes mais baixas de renda, espalhadas principalmente nas extremidades da área urbana de São Paulo, as mais impactadas pela distribuição desigual de acessibilidade às oportunidades (no caso desse trabalho, a empregos). Para os grupos de renda mais baixa de áreas periféricas, o gasto em transporte ao emprego ou outras atividades consome uma fatia considerável de seu rendimento e, nesse sentido, a maior relação com acessibilidades mais baixas evidenciam a sobreposição de vulnerabilidades que esta população está sujeita.

Há que se atentar, no entanto, conforme descrito por BOCAREJO E OVIEDO (2012) pelo seu estudo sobre a implementação do sistema BRT (Bus Rapid Transit) através de Bogotá, Colômbia, que embora um sistema possa

representar um benefício no tempo de viagem dos usuários, aumentos contínuos nos valores das tarifas podem afetar fortemente os usuários de renda mais baixa e estes aspectos não foram explorados neste trabalho ficando então como perspectivas para trabalhos futuros.

Ainda sobre as classes de renda mais baixa, é importante mencionar a importância dos modos não motorizados nas suas viagens diárias. De acordo com a pesquisa de mobilidade produzida pelo Metrô de São Paulo em 2012, 50% da população de renda mais baixa utiliza de modos não-motorizados para seu deslocamento. Considerando esse panorama, é importante focar em maneiras de equidade vertical ao transporte, conforme mencionado por LUCAS (2012) para atender às necessidades específicas dessa camada da população, como melhorar as condições de deslocamento para os usuários de modos não motorizados, sendo importante também abordar esses aspectos em outros trabalhos.

Por suposto que existem outras variáveis a serem consideradas que quando aplicadas poderiam ampliar o horizonte dessa pesquisa, como o acesso a demais atividades (lazer, cultura, educação, saúde) ou relacionando a incidência de empregos informais. Esse último setor absorve boa parte da mão de obra de baixa renda, não havendo nenhum amparo financeiro do empregador ou do poder público.

Além disso, supor que zonas dispõem de um alto nível de acessibilidade a empregos (ou a outras atividades) por transporte individual não necessariamente significa que a população dessas áreas seja beneficiada diretamente disso, pois não houve (ao menos nesse trabalho) relação direta dessa informação com posse ou número de automóveis por habitante ou por zona.

Vale ressaltar também que, quando aplicados os modelos GWR, os parâmetros de resposta do modelo se distribuíram de forma bastante distinta pela extensão do município. Os níveis de R2 ajustado e os maiores e mais significativos coeficientes da variável explicativa (renda per capita) se apresentaram de forma localizada em determinadas áreas da cidade,

especialmente em áreas de baixa renda e baixa acessibilidade, indicando a importância que esta variável explicativa (renda) exerce sobre a acessibilidade nesses locais. Por outra parte, houve um fraco desempenho do modelo nas áreas mais centrais do município em geral, com fracos valores de R2 ajustado e baixa significância, indicando que a variável renda por si mesma não parece ser suficiente para justificar os níveis de acessibilidade apresentados.

No entanto, a semelhança apresentada pelos padrões da distribuição dos valores dos parâmetros e dos resíduos usando as três fontes de tempos de viagem, tanto por transporte público como por transporte individual, indicam uma consistência das respostas dos modelos de Regressão Geograficamente Ponderada frente as fontes de tempo de viagem atribuídas pelos indicadores de acessibilidade. Essa consistência valida a capacidade da aplicação de todo o processo feito neste trabalho, dos indicadores de acessibilidade, dos modelos de regressão e da análise comparativa cruzada dos valores das variáveis, para análises em dados relativos à outras áreas urbanas do país, comparando seus parâmetros e resultados; sendo interessante verificar como se manifesta essa relação entre níveis de acessibilidade e renda em tais locais de características urbanas distintas à de São Paulo.

Através da interpretação de todos os resultados apresentados neste trabalho, sugere-se também que poderiam ser considerados em uma análise futura fatores de qualificação dos grupos sociais de acordo com as suas características. Estas poderiam ser escolarização, tipo de emprego, idade, dentre outros, se aproximando de modelos de acessibilidade baseados no indivíduo e buscando investigar outras formas de exclusão que não somente a econômica.

Espera-se que os resultados desse trabalho venham a contribuir em futuros estudos que abordem alternativas de produção do território urbano, não somente em São Paulo, mas também em demais áreas urbanas, visando demonstrar uma forma de identificar essa relação significativa entre baixa renda e baixa acessibilidade a empregos. A partir dessa identificação, que tais resultados possam então orientar na busca por soluções de planejamento

urbano que envolvam uma distribuição de renda e de empregos mais equilibrada no âmbito urbano visando mitigar essa situação de desigualdade existente atualmente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (2017). Disponível em: http://indicesilp.al.sp.gov.br. Acessado em 24 de junho de 2017.

BOCAREJO, J.P; OVIEDO, D.R: Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. Journal of Transport Geography 24, p 142-154, 2012.

BOCAREJO, J.P; PORTILLA, I.J; VELAZQUEZ, J.M; CRUZ, M.N, PEÑA, A; OVIEDO, D.R: An innovative transit system and its impact on low income users: the case of Metrocable in Medellín. Journal of Transport Geography 39, p 49-61, 2014.

CHURCH, A; FROST, M; SULLIVAN, K: Transport and social exclusion in London. Transport Policy 7, p. 195-205, 2000.

CPTM. **Companhia Paulista de Trens Metropolitanos**. Disponível em: http://www.cptm.sp.gov.br. Acessado em 24 de junho de 2017.

DALVI, M.Q; MARTIN, K.M: The measurement of accessibility: Some preliminary results. Transportation 5, p.17-42, 1971

DELBOSC, A; CURRIE, G: Using Lorenz Curve to Access Public Transport Equity. Journal of Transport Geography 19, p.1252-1259, 2011.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M: Análise Espacial de Dados Geográficos. Cap.5. EMBRAPA, Brasília, 2004

DU, H; MULLEY, C: Relationship Between Transport Accessibility and Land Value. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Record, nº 1977, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2006, pp 197-205.

GEURS, K; VAN WEE, B: Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. Journal of Transport Geography 12, p 127-140, 2004.

HANSEN, W.G: How accessibility shapes land use. Journal of American Institute of Planners 25, p.73-76, 1959.

HARVEY, D. A justiça social e a cidade. Editora Hucitec, São Paulo, 1980

HEINRICHS, D; BERNET, J.S: Public Transport and Accessibility in Informal Settlements: Aerial Cable Cars in Medellin, Colombia. Transportation Research Procedia 4, p 55-67, 2014.

IBGE (2016). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/. Acessado em 24 de junho de 2017.

LANGENBUCH, J.R. A estruturação urbana da Grande São Paulo. Estudo de Geografia Urbana. Tese de Doutoramento, Universidade de Campinas, 1968.

LEFEBVRE, H. La production de l'espace. Editions Anthropos, Paris, 1974

LEVINE, J.; GRENGS, J.; SHEN, Q. Does Accessibility Require Density or Speed? Journal of the American Planning Association, 78:2, 157-172, 2012.

LOJKINE, J. O estado capitalista e a questão urbana. Livraria Martins Fontes Editora, São Paulo, 1981.

LUCAS, K: Transport and Social Exclusion: Where are we now? Transport Policy 20, p 105-113, 2012.

MAGAGNIN, R. C; SILVA, A. N. R: A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana. Revista TRANSPORTES (RJ), Vol XVI, nº1, p:25-35, 2008.

METRÔ. **Companhia do Metropolitano de São Paulo.** Pesquisa Origem/Destino, 2007.

METRÔ. **Companhia do Metropolitano de São Paulo.** Disponível em: http://www.metro.sp.gov.br/. Acessado em 24 de junho de 2017.

OBSERVASAMPA. Observatório de Indicadores da cidade de São Paulo. Disponível em: http://observasampa.prefeitura.sp.gov.br/. Acessado em 24 de junho de 2017.

PAEZ, A; SCOTT, D; MORENCY, C: Measuring Accessibility: Positive and normative implementations of various accessibility indicators. Journal of Transport Geography 25, p. 141-153, 2012.

PAQUETTE, R.J., ASHFORD, N., WRIGHT, P.H: Transportation Engineering Planning and Design. The Ronald Company. New York, 1972.

PRESTON, J; RAJÉ, F: Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. Journal of Transport Geography 15, p 151-160, 2006.

SAGHAPOUR, T; MORIDPOUR, S; THOMPSON, R.G: Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density. Journal of Transport Geography 54, p 273-285, 2016.

SANTOS, M: A Urbanização Brasileira. Edusp, 5ª Edição, 2009

SPTrans (2017). São Paulo Transporte S.A. Disponível em: http://www.sptrans.com.br/. Acessado em 24 de junho de 2017.

SMITH, M.J; GOODCHILD, M.F; LONGLEY, P.A: Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. 5th Edition, 2015.

TOMASIELLO, D.B: Modelos de rede de transporte público e individual para estudos de acessibilidade em São Paulo. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo,

São Paulo, 2016. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-24062016-111306/>. Acesso em 26 de junho de 2017

VILLAÇA, F; ZIONI, S: Redes de Transportes sobre trilhos na Região Metropolitana de São Paulo. Relatório de Pesquisa FAPESP, 2005.

WANG, C; NA, C: A GIS-based spatial statistical approach to modeling job accessibility by transportation mode: case study of Columbus, Ohio. Journal of Transport Geography 45, p 1-11, 2015.

YU, W; AI, T; SHAO, S: The Analysis and Delimitation of Central Business District using Kernel Density Estimator. Journal of Geography Transportation 45 (2015) 32-47

ZIONI, S: Raízes Históricas da concentração e da mobilidade em São Paulo (2012)

7. ANEXOS

Nota de Apêndice A: Análise cruzada entre acessibilidade e outras variáveis cruzadas

A seguir estão resultados obtidos na comparação de valores cruzados entre os indicadores de acessibilidade com o de outras duas variáveis socioeconômicas: O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e o IPVS (Índice Paulista de Vulnerabilidade Social), ambos referentes ao ano de 2010.

A medida em que foram desenvolvidos tais resultados, preferiu-se dar destaque à análise com o indicador de renda per capita pelo impacto mais significativo dessa comparação dessa variável com o indicador de acessibilidade.

No caso para esse anexo foi produzida a relação apenas com o indicador de acessibilidade por transporte público, usando os tempos da Matriz O/D. Abaixo, a Figura 39 mostra a distribuição dos níveis de IDH por setor censitário dentro do município de São Paulo.

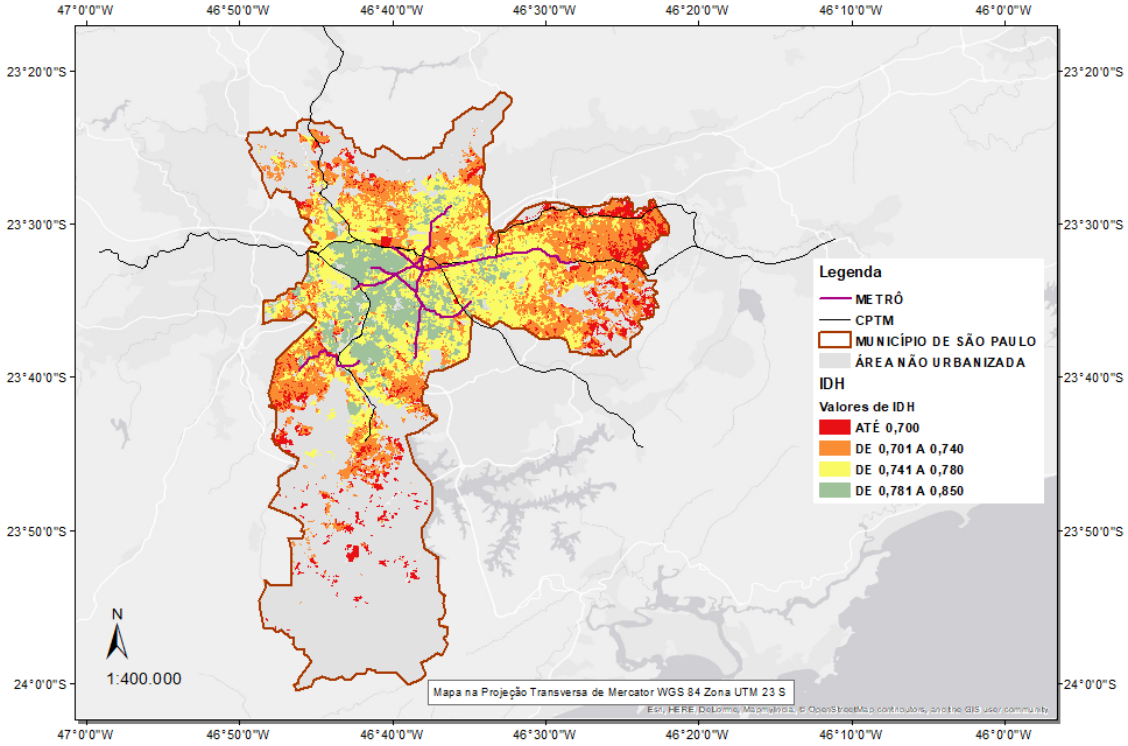

Figura 39: Mapa de distribuição dos indicadores de desenvolvimento humano do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo.

É visível na Figura 39 uma concentração dos melhores indicadores na área central do município.

A Figura 40 abaixo mostra a análise cruzadas entre o indicador de acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos usando tempos da Matriz O/D em relação com os níveis de IDH no município de São Paulo.

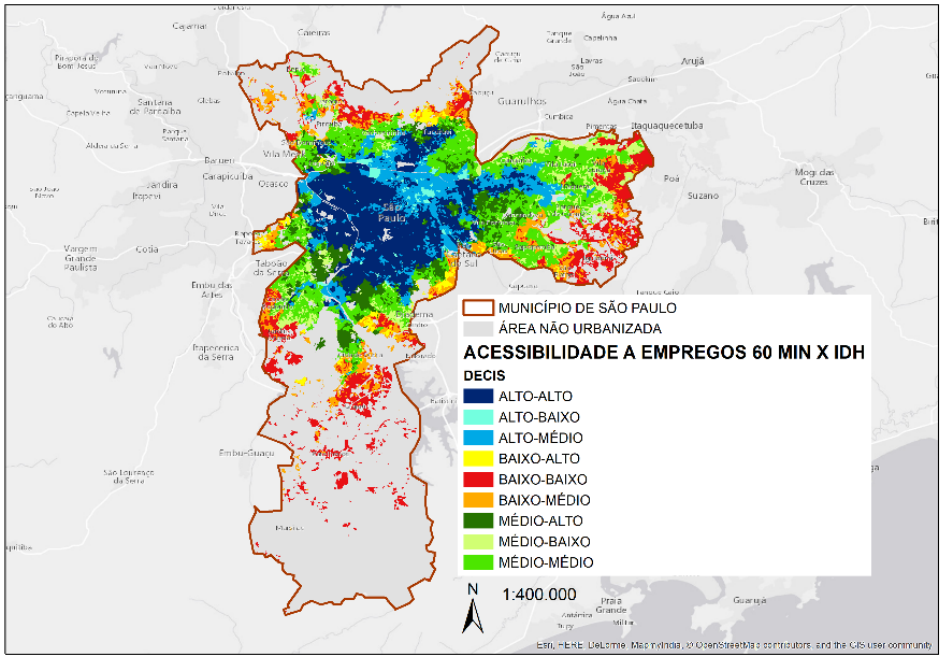

Figura 40: Comparação entre acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos e IDH.

Analisando a Figura 40, percebe-se a concentração dos maiores valores na zona central do município, cuja classificação vai diminuindo até alcançar os limites do município. É visível a concentração dos valores de “ALTO” para ambas variáveis no centro do município, com os valores de “BAIXO” localizados com mais presença próximos dos limites do município e da área urbana.

A seguir, o mapa na Figura 41 mostra a distribuição dos níveis de vulnerabilidade por setor censitário em São Paulo. De acordo com o Governo de São Paulo, o IPVS é um indicador social síntese de diversas informações obtidas como escolaridade e renda da população e infraestrutura da área, representado em níveis de 1 a 7. Quanto menor o nível, menos vulnerável é a população residente.

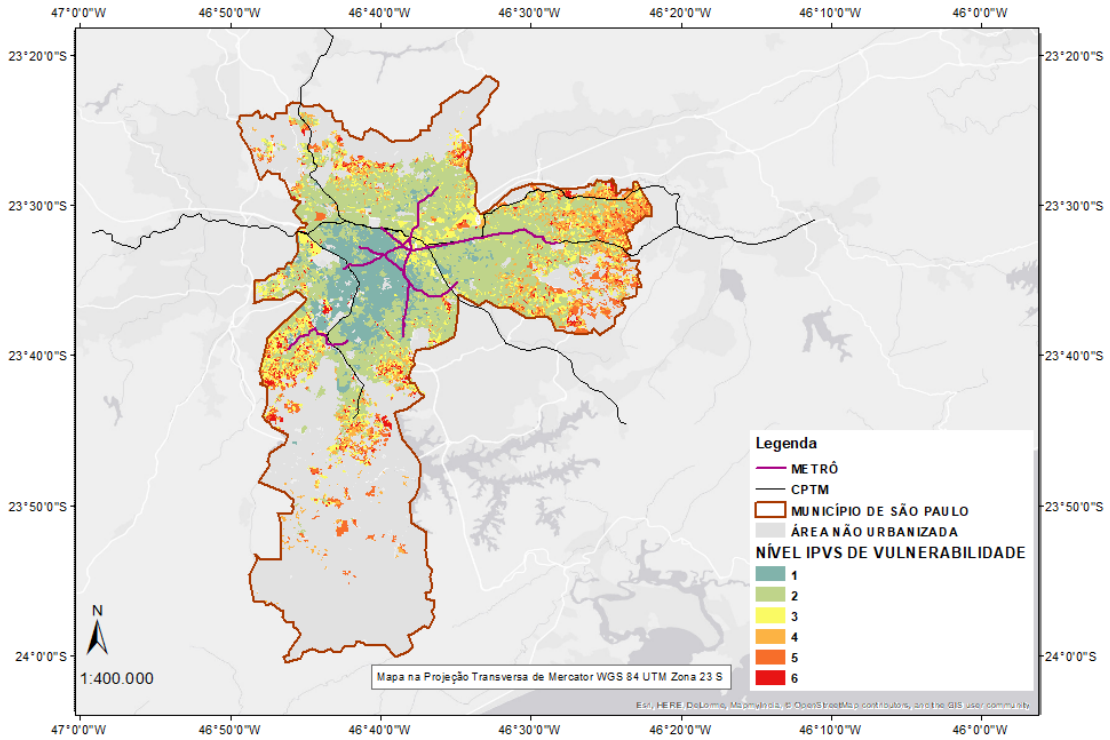

Figura 41: Distribuição dos indicadores de vulnerabilidade social (IPVS) do ano de 2010 por setor censitário do IBGE no município de São Paulo.

A Figura 41 mostra que os melhores valores (que são os menores dentro da escala de 1 a 6) estão melhor espalhados dentro da área do município, com os piores valores localizados de forma mais isolada, nos limites do município.

A Figura 42 abaixo mostra a análise cruzada entre o indicador de acessibilidade a empregos por transporte público em 60 minutos usando tempos da Matriz O/D em relação com os níveis de IPVS no município de São Paulo.

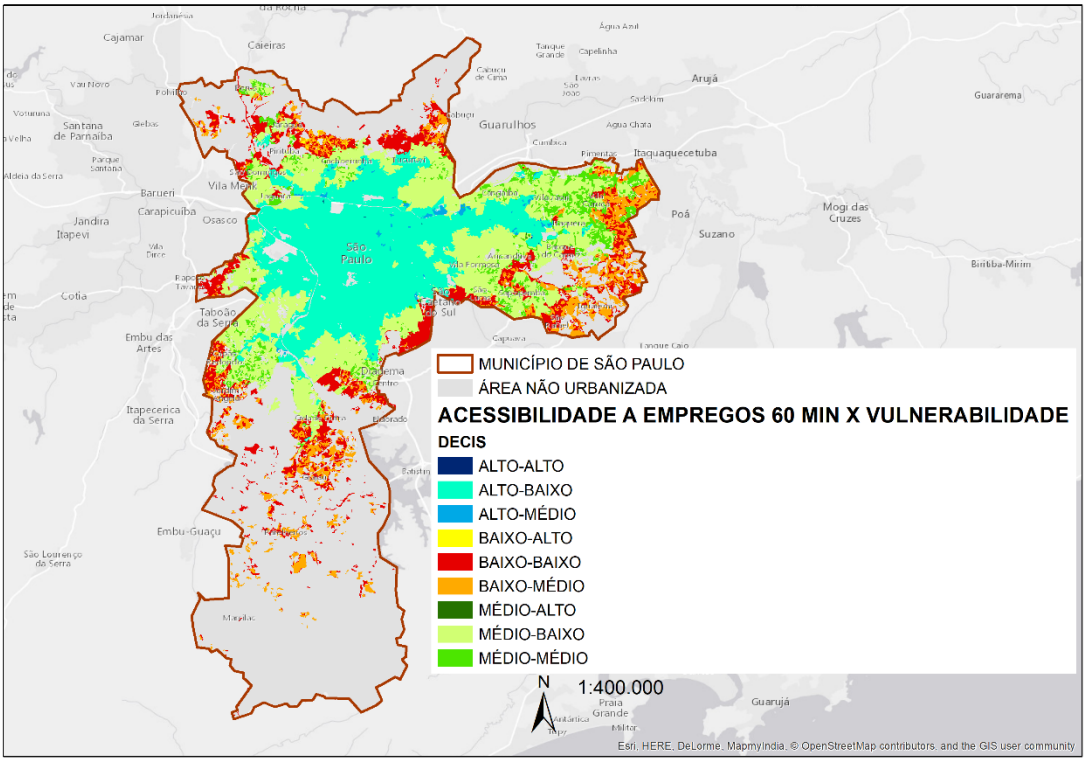

Figura 42: Comparação entre acessibilidade cumulativa a empregos por transporte público em 60 minutos e Índice de Vulnerabilidade Social (IPVS).

Analisando a Figura 42, verifica-se que a relação entre acessibilidade e vulnerabilidade é uma relação inversa, ou seja, quanto maiores os níveis de acessibilidade em geral menores os de vulnerabilidade. É visível a concentração dos valores de “ALTO-BAIXO” para ambas variáveis no centro do município, com os valores de “BAIXO-MÉDIO” localizados com mais presença próximos dos limites do município e da área urbana.

Contudo, a relação entre acessibilidade e vulnerabilidade não se mostrou muito bem definida em relação à análise entre acessibilidade e renda, optando-se por se focarem as análises sob essa segunda abordagem. O método SOM é uma ferramenta de análise exploratória de dados para a visualização de semelhanças através de agrupamento por determinadas variáveis, sejam contínuas ou categóricas (FRASER E DICKSON, 2007).

Nota de Apêndice B: Análise do SOM (Self-Organizing Map)

A metodologia do SOM, conhecido como mapa auto organizável, trata de aglomerar variáveis de uma feição ou objeto de acordo com seu nível de correlação, tornando possível identificar similaridades e proporcionalidades entre vários atributos. Através de sua correlação, serão desenvolvidos “clusters” que demonstrarão classes de acordo com a correlação entre as variáveis, e esse resultado poderá ser posteriormente aplicado no mapa da área aplicada.

A análise posterior foi desenvolvida no programa RStudio, que gera os mapas auto organizáveis relativos a cada variável, além do mapa final resultante da correlação entre as variáveis, além da matriz dos níveis de auto correlação resultante entre essas.

Essa metodologia foi aplicada antes dos modelos de regressão neste trabalho, utilizando a métrica cumulativa por transporte público, e apenas através dos tempos fornecidos pela Matriz O/D. Abaixo, na Tabela 4, estão revelados os níveis de correlação entre as variáveis de acessibilidade em 30 e 60 minutos e as variáveis socioeconômicas de IDH, renda e IPVS.

	ACESSIBILIDADE POR TP 30 MINUTOS	ACESS POR TP EM 60 MINUTOS
ACESS 30 min	1	0.855
ACESS 60 min	0.855	1
IDH	0.204	0.318
RENDA	0.465	0.616
IPVS	-0.295	-0.417

Tabela 5: Matriz de auto correlação entre as variáveis escolhidas do município de São Paulo.

Na Tabela 5, é possível visualizar que a correlação entre os atributos, quando analisados dentro do mesmo conjunto, é em geral bastante baixa devido às diferenças nas características na composição de cada um destes. Contudo, cabe destacar a boa correlação entre os dois indicadores de acessibilidade com renda.

Os efeitos dessa baixa correlação se mostram presentes na produção do mapa auto organizável onde os comportamentos dos clusters não são claramente visíveis, especialmente no último resultado (U-Matrix). Devido à grande variação nos valores de auto correlação e a valores muito baixos entre algumas variáveis, apresentou-se no final uma matriz não muito definida, onde os agrupamentos entre semelhanças não ficaram evidentes.

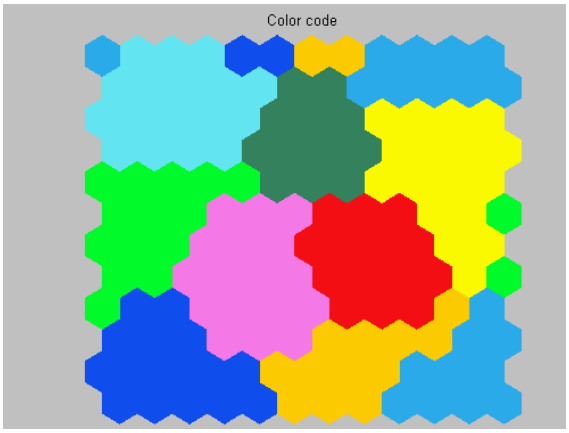

Figura 43: Clusterização (agrupamento) dos grupos através da semelhança entre as variáveis

Os resultados do mapa auto organizável representados pela Figura 43 revelam que houve uma grande aglomeração em várias classes. Isso se deveu graças à relação fraca entre as variáveis, que não se aglomeraram adequadamente. A análise espacial desse resultado traduziu-se em um mapa do município de São Paulo com coesão limitada na Figura 44.

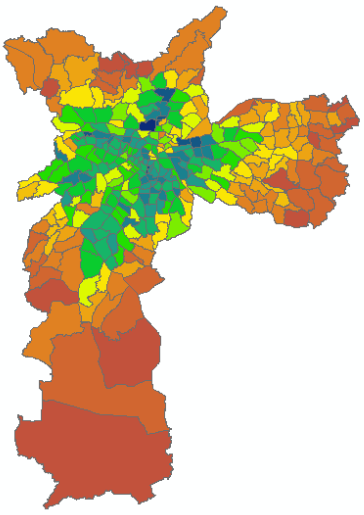

Figura 44: Resultado da clusterização (agrupamento) mapeada pelo município de São Paulo.

A Figura 44 apresenta um mapa do município pouco conciso em relação à classificação, embora forneça um resultado ligeiramente relevante que reflete a desigualdade na distribuição espacial tanto dos indicadores de acessibilidade como dos socioeconômicos.

Portanto, após a obtenção desses resultados, partiu-se para outra forma de abordagem da relação entre acessibilidade e indicadores socioeconômicos, sendo adotados os modelos de regressão.