



ANÁLISE ESPACIAL EM MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Luiz Arruda de Souza Filho

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

Orientador: Carlos David Nassi

Rio de Janeiro
Janeiro de 2013

ANÁLISE ESPACIAL EM MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Luiz Arruda de Souza Filho

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

Examinada por:

Prof. Carlos David Nassi

Prof. Licínio da Silva Portugal

Prof. Elton Fernandes

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2013

Souza Filho, Luiz Arruda de

Análise Espacial em Modelos de Geração de Viagens/
Luiz Arruda de Souza Filho. – Rio de Janeiro:
UFRJ/COPPE, 2013.

XV, 90 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos David Nassi

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia de Transportes, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 85-90.

1. Estatística Espacial. 2. Autocorrelação Espacial. 3.
SIG. I. Nassi, Carlos David. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de
Transportes. III. Título.

À Ju e Ju.

Agradeço a toda minha família pela iniciativa e força incentivadora.

Aos colegas do Programa de Engenharia de Transportes – Turma 2009, pelas amizades conquistadas e pela troca de informações sempre frutíferas ao longo deste curso.

Aos professores do PET, pelos conhecimentos compartilhados e pela amizade conquistada.

Aos profissionais da Secretaria e do Suporte, pela paciência e ajuda sempre necessária e providencial.

Ao Prof. Nassi, por poder sempre contar em todos os momentos depreendidos neste trabalho.

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

ANÁLISE ESPACIAL EM MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Luiz Arruda de Souza Filho

Janeiro/2013

Orientador: Carlos David Nassi

Programa: Engenharia de Transportes

Um dos modelos mais empregados no planejamento de transporte é o tradicional “modelo de quatro etapas”, que permite a estimativa de viagens das pessoas entre as diversas zonas de tráfego com base na consideração de que a realização de uma viagem depende de um processo que se desenvolve nas etapas de estimativa da geração, sua distribuição, divisão modal e alocação destas viagens. A geração de viagem, primeiro passo do método, baseia-se na análise em zonas de tráfego, que são tidas como unidades geográficas. Portanto, os totais de viagens geradas nas zonas de tráfego são observações medidas em diferentes localizações geográficas. Porém, estudos de demanda por transportes têm sido gerados a partir de dados espacialmente dependentes, sem levar em consideração tais características. O ferramental de Análise Espacial, incluindo novas técnicas descritivas e inferenciais da Estatística Espacial, associado a uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), apresenta-se com um grande potencial de aplicação na caracterização e diagnóstico dos fenômenos urbanos e regionais relacionados ao sistema de transportes. Neste estudo, buscou-se testar para a presença de autocorrelação espacial em ambas as análises de atração e produção de viagem para os dados coletados a partir do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, edição 2004.

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

SPATIAL ANALYSIS IN TRIP GENERATION MODELS

Luiz Arruda de Souza Filho

January/2013

Advisor: Carlos David Nassi

Department: Transportation Engineering

One of the models used in transportation planning is the "four-step model", which allows estimation of people travel between different traffic zones based on the fact that the realization of a trip depends on a process that develops in steps of estimating the generation, distribution, modal split and allocation of these trips. The travel generation, the first step of the method is based on traffic analysis in areas that are considered geographic units. Therefore, the total trips generated traffic areas observations are measured in different geographical locations. However, demand for transport studies have been generated from spatially dependent data, without regard these characteristics. The Spatial Analysis tools, including new techniques of descriptive and inferential Spatial Statistics, associated with Geographic Information System platform (GIS) presents with a great potential for application in the diagnosis and characterization of phenomena related to urban and regional system transport. In this study, attempted to try for the presence of spatial analysis in production and attraction trip to the data collected from the Urban Transport Master Plan of the Rio de Janeiro Metropolitan Region, 2004 edition.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiv
GLOSSÁRIO.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
JUSTIFICATIVA	5
OBJETIVO	5
ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	7
INTRODUÇÃO	7
MODELOS DE PREVISÃO DA DEMANDA POR TRANSPORTES.....	8
O MODELO DE QUATRO ETAPAS.....	9
SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA ANÁLISES DE GERAÇÃO DE VIAGENS ..	13
CRÍTICAS AOS MODELOS DE DEMANDA TRADICIONAIS	14
3. ESTUDOS UTILIZANDO ANÁLISE ESPACIAL	16
INTRODUÇÃO	16
GEOESTATÍSTICA - APLICAÇÕES	18
4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	22
INTRODUÇÃO	22
ESCOLHA DAS VARIÁVEIS	22
DESCRIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS	23
VARIÁVEIS REGIONALIZADAS	23
VARIOGRAMA E SEMIVARIANCA	25

SEMIVARIOGRAMA.....	27
SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL	29
MODELAGEM DO SEMIVARIOGRAMA TEÓRICO – PRINCIPAIS MODELOS	30
ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA – KRIGAGEM	33
VALIDAÇÃO CRUZADA	35
5. APLICAÇÃO – CASO PRÁTICO: PDTU RMRJ	37
ANÁLISE DOS DADOS DISPONÍVEIS	37
O MODELO DE PRODUÇÃO DE VIAGENS DO PDTU-RMRJ	42
MODELOS DE ATRAÇÃO DE VIAGENS	48
DESCRIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS	51
CÁLCULO DOS VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS.....	61
MODELAGEM DOS VARIOGRAMAS TEÓRICOS	67
ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA – INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA	74
VALIDAÇÃO CRUZADA	77
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Produção e Atração de viagens Base Domicilio e Base Não-Domicilio. Fonte: Ortúzar e Willumsen, 1994	10
Figura 3-1: Detalhe do Mapa de John Snow com a quantificação e localização dos casos de cólera na cidade de Londres. Fonte: http://www.udel.edu/johnmack/frec682/cholera/	17
Figura 3-2: Parâmetros de um semivariograma	28
Figura 3-3: Modelo de Variograma Esférico.....	31
Figura 3-4: Modelo de Variograma Exponencial	32
Figura 3-5: Modelo de Variograma Gaussiano.....	33
Figura 3-6: Modelo de Variograma Linear	33
Figura 5-1: Mapa dos Municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro	37
Figura 5-2: Mapa das Macrozonas da RMRJ	38
Figura 5-3: Mapa das Zonas de trafego.....	39
Figura 5-4: Mapa de Empregos - Ano 2003 – percentual do total.....	39
Figura 5-5: Mapa das Matrículas Escolares - Ano 2033 – valores absolutos	40
Figura 5-6: Mapa da População - Ano 2003 – Percentual do total	41
Figura 5-7: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda A e B, sem acesso a automóvel.....	52
Figura 5-8: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda A e B, com acesso a automóvel.....	53
Figura 5-9: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda C, D e E, sem acesso a automóvel	54
Figura 5-10: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda C, D e E, com acesso a automóvel	54
Figura 5-11 : Mapa da Atração de viagens motivo casa – estudo, sem acesso a automóvel.....	55
Figura 5-12: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – estudo, com acesso a automóvel	56

Figura 5-13: Mapa da Atração de viagens por motivo Casa – Outros Destinos, sem acesso a automóvel.....	57
Figura 5-14: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – outros destinos, com acesso a automóvel.....	57
Figura 5-15: Mapa da Atração de viagens de base não domiciliar	58
Figura 5-16:Mapa da Produção de viagens por motivo casa - trabalho	59
Figura 5-17: Mapa da Produção de viagens por motivo casa – estudo	60
Figura 5-18: Mapa da Produção de viagens por motivo casa – outros destinos	60
Figura 5-19: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda AB, com uso de automóvel.....	62
Figura 5-20: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda AB, sem automóvel.....	62
Figura 5-21: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda CDE, com automóvel.....	62
Figura 5-22: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda CDE, sem automóvel.....	63
Figura 5-23: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-estudo, com automóvel	63
Figura 5-24: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-estudo, sem automóvel	63
Figura 5-25: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-outros destinos, com automóvel	64
Figura 5-26: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-outros destinos, sem automóvel	64
Figura 5-27: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-trabalho.....	64
Figura 5-28: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-estudo	65
Figura 5-29: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-outros destinos ..	65
Figura 5-30: Semivariograma da variável Produção total de Viagens	65
Figura 5-31: Semivariograma da variável Atração total de Viagens	66

Figura 5-32: Representação espacial da região do semivariograma para os pontos medidos a partir do Centro da Cidade do Rio de Janeiro.....	67
Figura 5-33: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – trabalho, renda AB, sem acesso a automóvel.....	68
Figura 5-34: Variograma Modelado para a Variável Atração de Viagem motivo casa – trabalho, renda AB, com acesso a automóvel	68
Figura 5-35: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa trabalho, renda CDE, sem uso de automóvel	69
Figura 5-36: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – trabalho, renda CDE, com uso de automóvel.....	69
Figura 5-37: Variograma Modelado para a Variável Atração de Viagem motivo casa – escola, sem uso de automóvel	70
Figura 5-38: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – escola, com uso de automóvel.....	70
Figura 5-39: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – outro, sem uso de automóvel	70
Figura 5-40: Variograma Modelado para a Variável Alteração de viagem motivo casa – outro, com uso de automóvel.....	71
Figura 5-41: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem base não-casa	71
Figura 5-42: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – trabalho	71
Figura 5-43: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – escola	72
Figura 5-44: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – demais destinos.....	72
Figura 5-45: Mapa de superfície de Atração de Viagem por motivo casa-estudo, sem automóvel, por krigagem.....	74

Figura 5-46: Mapa de superfície de Atração de Viagem por motivo casa-estudo, com automóvel, por krigagem.....	75
Figura 5-47: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- trabalho, por krigagem.	75
Figura 5-48: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- estudo, por krigagem.....	76
Figura 5-49: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- outros destinos, por krigagem.....	76
Figura 5-50: Mapa de superfície de Produção de Viagem Total	77
Figura 5-51: Gráfico de Validação Cruzada para a variável Atração Motivo Casa – Estudo, sem auto	78
Figura 5-52: Gráfico de Validação Cruzada para a variável Atração Motivo Casa – Estudo, com auto	78
Figura 5-53: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Trabalho	78
Figura 5-54: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Estudo ..	79
Figura 5-55: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Outros Destinos.....	79
Figura 5-56:Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Total	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1: Taxas de Produção de Viagens para a RMRJ – Fonte: PDTU - 2004	45
Tabela 5-2: Viagens produzidas por motivo para classes de renda/tamanho da família	47
Tabela 5-3: Principais parâmetros dos modelos adotados para as variáveis estudadas nos semivariogramas	73
Tabela 5-4: Resultados da Validação Cruzada	80

GLOSSÁRIO

ABA	- Associação Brasileira de Anunciantes
ABIPEME	- Associação Brasileira dos Institutos de Mercado
ANEP	- Associação Nacional de Escolas Particulares
BD	- Base Domicílio
BND	- Base Não-Domicílio
CHAID	- <i>Chi-squared Automatic Interaction Detection</i>
FIRJAN	- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GIS	- <i>Geographic Information System</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KDE	- Krigagem
O-D	- Matriz Origem - Destino
PDTU	- Plano de Desenvolvimento do Transporte Urbano
RMRJ	- Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
UTPS	- <i>Urban Transportation Planning System</i>
VR	- Variável Regionalizada
ZT	- Zona de Tráfego

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve, de modo resumido, as características do problema estudado, que se refere ao estudo da Geração de Viagens na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, bem como a justificativa, o objetivo e a estrutura deste trabalho.

CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

As dinâmicas das grandes metrópoles provocam constantes modificações do uso do solo urbano, trazendo transtornos em todos os aspectos das relações sociais. As mudanças da estrutura física e a forma de utilização do sistema viário refletem diretamente na dinâmica urbana, impactando sobremaneira no tráfego e no transporte público.

Os responsáveis pelo sistema de transporte fazem uso de modelos de planejamento capazes de efetuar análises de cenários futuros de demanda e alternativas de oferta do transporte público. Esses modelos não apresentam sensibilidade às observações pontuais ou alterações em curto prazo na rede de transportes, mas são absolutamente adequados para análises no médio e longo prazo, uma vez que tem a capacidade de responder de modo consistente a alterações estruturais no padrão de viagem das pessoas, que são geradas a partir de modificações nos níveis de oferta do sistema e no comportamento das variáveis socioeconômicas e de uso do solo (Central, 2003).

Um dos modelos mais empregados no planejamento de transporte é o *Urban Transportation Planning System - UTPS*, conhecido como “Modelo de Quatro Etapas” (ou modelo sequencial), que permite a estimativa de viagens das pessoas entre as diversas zonas de tráfego com base na consideração de que a realização de uma viagem depende de um processo que se desenvolve nas etapas de estimativa da geração dessas viagens (quantas viagens tem origem ou destino nas zonas consideradas), sua distribuição (quantas viagens são realizadas entre as zonas consideradas), a divisão

modal (quais os modos de transporte utilizado) e a alocação destas viagens (qual o caminho utilizado para modos de transporte que permitem a escolha da rota).

O Modelo de Quatro Etapas continua sendo o mais amplamente utilizado no planejamento de transporte, sendo a etapa de geração de viagens a primeira e a mais importante etapa da modelagem que trata da previsão do número de viagens em cada zona de tráfego de uma região. Essa etapa consiste em dois tipos de estimativas: produção e a atração de viagens.

Modelos de Produção de viagens tem o objetivo de estimar o total de viagens produzidas em cada zona de tráfego, por motivo de viagem, em função de características socioeconômicas e de uso do solo destas zonas. Já os modelos de atração de Viagens têm como objetivo estimar o total de viagens atraídas para cada zona de tráfego, pelos mesmos motivos e características dos modelos de produção.

A modelagem da geração de viagens depende essencialmente da quantidade e da qualidade dos dados, bem como da forma estrutural dos modelos. Estes são obtidos através das relações observadas entre as características das viagens e informações sobre as atividades socioeconômicas da população. Torna-se imprescindível caracterizar e diagnosticar o padrão de distribuição espacial dos domicílios, da oferta de empregos e vagas escolares na área de estudo. Assim, alguns dos principais fatores que influenciam a geração de viagens podem ser descritas como renda, possuidores de automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial e acessibilidade.

Além dos fatores descritos anteriormente para produção de viagens, existem ainda outros fatores que podem influenciar a atração de viagens numa dada zona, como o número de empregos ofertados e atividade comercial e serviços. Além disso, estes dados devem estar disponíveis em grande quantidade, sendo ainda difícil isolar os efeitos de todas as variáveis sobre o número de viagens geradas, devido ao comportamento divergente das pessoas, mesmo sob condições socioeconômicas iguais, o que dificulta o estabelecimento de uma forma única que seja capaz de representar a geração de viagens para diferentes pessoas ou grupos.

A estimativa da geração de viagem em cada zona de tráfego pode ser feita a partir de modelos matemáticos, tais como modelos de fator de crescimento, classificação cruzada e regressão linear.

Os modelos de fator de crescimento visam estimar o crescimento das viagens para uma determinada zona, relacionando dados coletados em estudos de tráfego com dados coletados em estudos de uso do solo, buscando averiguar sua taxa de crescimento. Porém, ao assumir uma taxa de crescimento constante baseada nas médias das viagens produzidas, erros podem estar embutidos, podendo comprometer o estudo nas etapas subsequentes da modelagem (Lopes Filho, 2008).

Os métodos de classificação cruzada separam a população de uma área urbana relativamente homogênea em diferentes categorias em diferentes classes socioeconômicas ou por tipo de habitação. Uma vez conhecidas as taxas de viagens para cada classificação, essas são normalmente aplicadas para cada zona. São usadas as características médias de cada zona para determinar a classificação para qual zona pertence, determinando, então, a taxa de viagem a ser aplicada correspondente a cada categoria.

Os modelos de regressão linear são usados para estabelecer uma relação estatística entre o número de viagens geradas e as características dos indivíduos da zona de tráfego, podendo ser usados dados agregados no nível zonal, com a média das viagens por domicílio nas zonas como a variável dependente e a média das características zonais como variável independente (explicativa). Pode-se usar também dados desagregados do domicílio ou do indivíduo, cujas características domiciliares e pessoais constituem as variáveis independentes.

Os modelos de geração de viagem podem ser desenvolvidos em um nível desagregado, em que viagens por domicílio são usadas como variável dependente. No entanto, mais frequentemente, a variável dependente é o número de viagens agregadas em unidades espaciais denominadas zonas de tráfego. Uma vez que uma zona é uma unidade geográfica, as observações das variáveis são medidas em diferentes localizações geográficas e, portanto, são distribuídas espacialmente (Kwigizile, Teng, 2009).

Citando a Primeira Lei da Geografia, Tobler (1970) destaca que todos os objetos no espaço estão correlacionados e que os resultados de análises de dados espaciais dependem da localização dos objetos que estão sendo considerados. Porém, estudos de demanda por transportes têm sido gerados a partir de dados espacialmente dependentes, sem levar em consideração tais características. Com isso, é plausível considerar que a correlação espacial significa que uma geração de viagem em uma zona pode também receber influência de zonas próximas a ela.

Dessa forma, as técnicas de Análise Espacial e de inferenciais da Estatística Espacial, associado a uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), apresenta-se como ferramenta auxiliar de aplicação na caracterização e diagnóstico dos fenômenos

urbanos e regionais relacionados ao sistema de transportes, com ênfase nas análises dos dados de geração de viagens.

A precisão das previsões, que são produzidas por um modelo de geração de viagens depende tanto da precisão com que os “*inputs*” (ou variáveis de planejamento) podem ser previstos, como do conhecimento do analista de como os coeficientes e parâmetros do modelo variam ao longo do espaço. A dependência espacial pode ser capturada através da concepção de modelos com variáveis especiais de filtragem do efeito da dependência espacial. A chave para a definição específica de variáveis para explicar a dependência espacial é a definição de conectividade das observações.

JUSTIFICATIVA

A possibilidade do uso de técnicas de análise espacial em estudos de transporte, em especial na modelagem da demanda por transporte de passageiros em regiões urbanas, justifica o estudo apresentado nesse trabalho, que pretende buscar um melhor entendimento dessas técnicas, possibilitando, assim, contribuir para os próximos estudos e para a comunidade científica.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar o potencial das ferramentas de análise espacial e SIG, com foco nas variáveis aplicáveis a produção de viagens de pessoas em regiões urbanas, caracterizadas em zonas de tráfego, de forma a produzir um mapeamento de superfície com representação de indicadores de geração de viagens em qualquer ponto deste plano, possibilitando, assim, uma contribuição para a comunidade científica.

Esse trabalho visa testar a presença de relações espaciais das variáveis utilizadas na previsão das taxas de geração de viagem, utilizando como dados concretos as informações dos relatórios produzidos para o Plano de Desenvolvimento do Transporte Urbano - PDTU da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, edição 2004.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho apresenta-se estruturado em 6 capítulos. O segundo capítulo contém uma revisão bibliográfica em que são apresentados os principais conceitos sobre modelos de planejamento de transporte, mais especificamente no tocante a modelos de previsão de viagens.

O Capítulo 3 apresenta uma pesquisa contendo trabalhos já publicados contendo a utilização de análise espacial e SIG, com aplicações em transporte. No quarto capítulo encontra-se a descrição do procedimento metodológico pretendido para o objetivo proposto.

O Capítulo 5 mostra a aplicação do procedimento proposto em um caso prático para o Plano de Desenvolvimento do Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e por fim, o capítulo 6 contém as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Este capítulo trata de uma revisão bibliográfica sobre planejamento de transportes, principalmente no modelo de previsão de demanda, necessário para a compreensão de como são realizados estes estudos, suas fontes de dados e metodologia de cálculo.

Uma vez que modelos de demanda são inerentemente espaciais, a utilização de um sistema de informação Geográfica e técnicas de análise espacial podem facilitar a sua obtenção e manipulação, de modo que o resumo a seguir tem importante compreensão.

INTRODUÇÃO

O equacionamento da questão do transporte urbano é um dos grandes desafios no Brasil e no mundo. Maximizar a eficiência de sistemas de transporte multimodais integrados é o paradigma do transporte para o futuro. O objetivo do planejamento de transportes é providenciar as informações necessárias para a tomada de decisão sobre onde as melhorias no sistema deverão ser feitas e promover padrões de viagens e desenvolvimento urbano de acordo com os anseios da comunidade.

Problemas e técnicas de planejamento de transporte sofreram profundas mudanças a partir da década de 1980. Com a continuidade dos problemas relacionados a congestionamento, poluição, acidentes etc., foi possível aprender que um longo período de planejamento deficiente de transportes, investimentos limitados, ênfase no curto prazo e falta de credibilidade na modelagem de transportes e na tomada de decisões estratégicas não são resolvidos com tentativas tímidas de melhoria da gerência de tráfego. Além disso, o advento da computação de alta capacidade e baixo custo eliminou dificuldades que anteriormente existiam na modelagem de transportes.

MODELOS DE PREVISÃO DA DEMANDA POR TRANSPORTES

Para a previsão da demanda de transporte deve-se, inicialmente, realizar um inventário detalhado das condições atuais. A cidade pode ser dividida em zonas de tráfego e a partir daí são determinados os movimentos realizados entre cada par de zonas. O resultado é uma matriz de origens e destinos que tem íntima relação com a atração e a produção de viagens.

As características referentes a população, postos de trabalho, número de veículos e uso do solo podem ser obtidas de estudos específicos ou provir de estatísticas municipais e censitárias. O mapeamento das atividades econômicas é elaborado a partir de dados existentes. Ao final, são estabelecidas fórmulas que relacionam a atração e produção de viagens com as características das zonas que influenciam significativamente o processo. Os modelos de demanda são usados para previsão de mudanças nas viagens e na utilização do sistema de transportes em função do desenvolvimento da região, de alterações demográficas e de mudanças na oferta. A previsão da demanda é uma tarefa desafiadora, mas indispensável para o planejamento racional dos sistemas de transportes.

A aplicação de modelos de transportes sempre se baseou em processos computacionais. Em seus estágios iniciais, os modelos de previsão de demanda constituíram em uma das aplicações pioneiras dos computadores de grande porte. Por outro lado, os modelos de demanda são inerentemente espaciais e, portanto, dependentes da manipulação de variáveis espaciais, a saber:

- Matrizes de fluxo e impedância de viagens;
- Redes para as vias e para o transporte público.

A utilização de Sistemas de Informação geográfica facilita a aplicação dos modelos de demanda. No tradicional modelo de quatro etapas, uma ou mais camadas contêm

informações das Zonas de Tráfego e vetores de matrizes representam as informações do fluxo. As ferramentas de visualização espacial de um SIG possibilitam um maior entendimento dos dados de transportes e dos resultados dos modelos, ajudando a identificar e corrigir erros eventuais.

O MODELO DE QUATRO ETAPAS

Um dos modelos mais empregados no planejamento de transporte é o modelo de quatro etapas – ou modelo sequencial, que permite a estimativa de viagens das pessoas entre as zonas de tráfego com base nas considerações de que a realização de uma viagem depende do processo desenvolvido nas seguintes fases:

- Geração: Quantas viagens tem origem ou destino nas zonas consideradas
- Distribuição: quantas viagens são realizadas entre as zonas consideradas
- Divisão Modal: quais os modos de transporte utilizados
- Alocação do Tráfego: qual o caminho utilizado pelas pessoas

O objetivo da geração de viagens, objeto deste estudo, é a previsão do número de viagens que são produzidas e/ou atraídas para cada zona de tráfego da área de estudo. É um estágio do planejamento de transportes preocupado apenas com o número de viagens que começam ou terminam em cada zona de tráfego, sem necessariamente se importar com as conexões entre as origens e os destinos. Os métodos de geração de viagens fazem a previsão da produção (origens) e da atração (destinos) e, posteriormente, zonas de tráfego são arranjadas em uma matriz de origem - destino (ou matriz O-D).

A análise de geração de viagens consiste na estimativa do número total de viagens, por diferentes motivos, produzidas ou atraídas para cada zona. A geração de viagens relaciona o número ou frequência de viagens a características dos indivíduos /

domicílios, da zona e da rede de transportes. Das análises resultam tantos modelos quantos foram os motivos adotados nos estudos:

- Viagem de base domiciliar: casa/trabalho, casa/estudo e casa/outros;
- Viagem de base não domiciliar: todas as viagens que não tem a residência com a origem ou destino.

Para a correta análise de geração de viagens é importante à compreensão de alguns conceitos básicos usados na modelagem de transporte, que são definidos por ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994) como mostra a Figura 2-1.

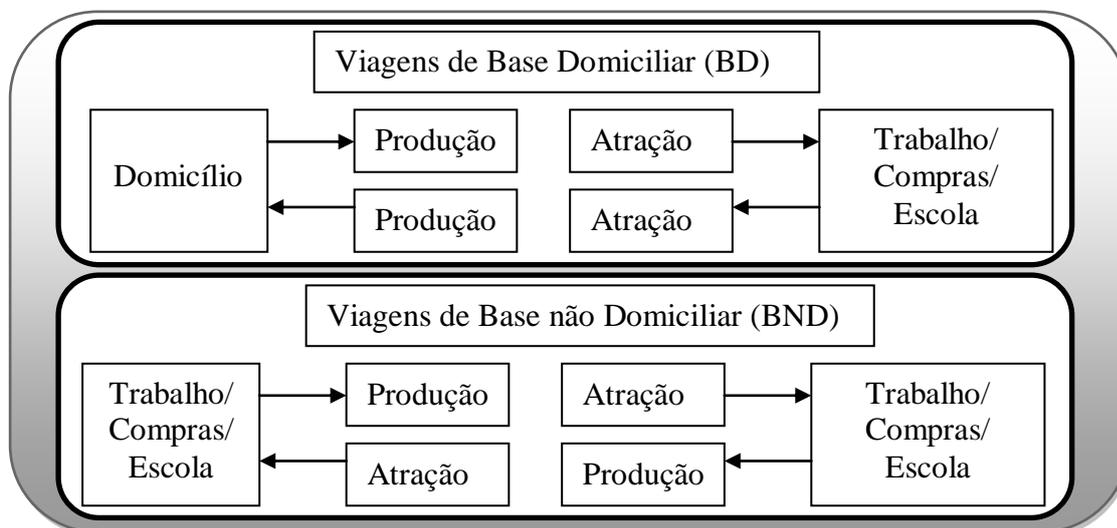


Figura 2-1: Produção e Atração de viagens Base Domicílio e Base Não-Domicílio. Fonte: Ortúzar e Willumsen, 1994

Viagem ou Jornada é o movimento em um único sentido de um ponto de origem para um ponto destino. Embora o interesse seja especificamente por viagens veiculares, deslocamentos a pé a partir de uma determinada distância definida pelo estudo (normalmente 300 metros ou 3 quarteirões) são geralmente considerados.

- Viagens de base domiciliar (BD): São as viagens em que o domicílio do indivíduo que a realiza é a origem ou o destino;

- Viagens de base não domiciliar (BND): são as viagens em que a origem ou o destino não é o domicílio do indivíduo que a realiza;
- Produção de Viagens: refere-se a extremidade domiciliar (origem ou destino) de uma viagem BD ou a origem de uma viagem BND;
- Atração de viagens: refere-se a extremidade não domiciliar (origem ou destino) de uma viagem BD ou o destino de uma viagem BND;
- Geração de viagens: refere-se ao número total de viagens geradas pelos domicílios de uma Zona de Tráfego – ZT sejam BD ou BND.

Os modelos de geração de viagens mais utilizados são:

- Classificação cruzada: separa a população de uma área urbana em grupos relativamente homogêneos, de acordo com certas características socioeconômicas. Posteriormente, taxas médias de produção de viagens por domicílio ou indivíduo são estimadas para cada grupo.
- Regressão: podem ser usados dados agregados ao nível de zona de tráfego, com o número médio de viagens por domicílio sendo a variável dependente e características da zona de tráfego sendo as variáveis independentes. Quando são utilizados dados desagregados, a variável dependente continua sendo o número de viagens feitas por domicílio ou indivíduo, mas as variáveis independentes passam a serem características dos indivíduos ou domicílios.
- Escolha Discreta: usa dados desagregados para estimar a probabilidade de viagens por domicílio ou indivíduo, cujos resultados são, posteriormente, agregados para fornecer a previsão do número de viagens produzidas.

A geração de viagens do transporte de passageiros pode ser qualificada em termos de viagens de pessoas ou de viagem de veículos. Considerando-se o aspecto comportamental, há vantagens em se considerar o passageiro que são os indivíduos que decidem sobre a frequência de viagens, e não os veículos.

A geração de viagens pode ser baseada nos domicílios ou nos indivíduos. Cálculos baseados nos domicílios são mais comuns, mas se houver disponibilidade de dados mais detalhados, o uso de taxas associadas aos indivíduos pode resultar em maior precisão, por considerar os aspectos comportamentais determinantes.

Os motivos das viagens são extremamente variados, refletindo as diversas atividades de trabalho e lazer, desenvolvidas pelas pessoas. Para o propósito de análise, as viagens são agrupadas por categorias ou motivos, que depende do estudo que se pretende fazer e dos dados disponíveis. A prática tem mostrado que com a divisão em categorias por motivo obtêm-se melhores modelos de geração de viagens. São apresentadas cinco categorias geralmente aplicadas para o caso de viagens Base-Domicílio – BD:

- Trabalho
- Estudo
- Compras
- Lazer
- Outras

As viagens de trabalho e estudo são chamadas de viagens compulsórias e são, geralmente, as mais numerosas, enquanto que as demais são consideradas viagens opcionais. A última categoria engloba as viagens menos rotineiras como, por exemplo, as por motivo de saúde, necessidades burocráticas etc. As viagens BND não são normalmente divididas em categorias, pois representam apenas de 15 a 20% do total de viagens.

As viagens podem ainda ser classificadas por período do dia (horários de pico ou fora de pico). Os horários de pico variam de cidade para cidade e, muitas vezes, de região para região dentro de uma mesma cidade. Os motivos de viagem neste período são na maioria para trabalho ou estudo. Outra classificação importante, apresentada por ORTÚZAR e WILLUMSEN (1994) é por características pessoais, tais como nível de renda, posse de veículos ou estrutura e tamanho do domicílio, uma vez que o comportamento individual de viagens é altamente dependente de atributos socioeconômicos.

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA ANÁLISES DE GERAÇÃO DE VIAGENS

Primeiramente, faz-se necessária a distinção de quatro grupos principais, onde diferentes variáveis são consideradas para a modelagem de geração de viagens, a saber:

- Viagens de pessoas (produção e atração)
- Viagens de Carga (produção ou atração)

Os grupos que englobam as viagens de pessoas são os de interesse deste trabalho. Os fatores que afetam a produção são:

- Renda
- Posse de Veículo
- Estrutura do Domicílio
- Tamanho da Família
- Valor do Terreno
- Densidade Residencial
- Acessibilidade

Para a atração de viagens de pessoas, outros fatores são considerados, como, espaço disponível para indústria, comércio/ serviços e, também, o número de empregos. Deve-se destacar ainda a necessidade de verificação de dos aspectos relacionados aos parâmetros de geração de viagens:

- Estabilidade Temporal: os modelos de transporte são desenvolvidos, em geral, para auxiliar a formulação e avaliação de planos e projetos de transporte. Embora muitas vezes seja utilizado dados estatísticos obtidos durante um longo período de coleta, a maioria dos casos envolve a hipótese de que os parâmetros do modelo permanecerão constantes (estáveis) entre a data de seu desenvolvimento e os anos do período de análise.
- Estabilidade geográfica: é o importante atributo em todo modelo de demanda que pode permitir a redução dos custos em pesquisas em diferentes áreas de uma região metropolitana. Nem todas as características podem ser transferidas entre áreas ou cidades, pois a duração média de uma viagem até o serviço depende das dimensões destas áreas, suas formas e distribuições dos locais de trabalho e das zonas residenciais no espaço. Mas considerando-se que as viagens são relacionadas a grupos homogêneos de pessoas, as taxas de geração de viagens podem, em muitos casos, permanecer estáveis geograficamente.

CRÍTICAS AOS MODELOS DE DEMANDA TRADICIONAIS

Os modelos de demanda são desenvolvidos e calibrados em função do comportamento das pessoas e das condições do sistema de transportes que prevalecem no local e na época do estudo. Os valores sociais podem mudar com o tempo, resultando em erros nas projeções de demanda, além de que problemas específicos existentes no sistema de transporte em análise também podem comprometer os resultados.

Saraiva apud Lopes (2004) salienta que a magnitude do problema é ainda maior em países em desenvolvimento como é o caso do Brasil, porque enquanto o planejamento de transportes em países desenvolvidos trabalha com uma situação em que prevalecem populações e áreas urbanas relativamente estáveis, as análises de demanda em cidades brasileiras incluem até mesmo áreas desocupadas.

Vasconcelos resume os principais problemas dos modelos de demanda utilizados no Brasil, destacando a falta de dados confiáveis, o uso de modelos importados, que não reproduzem adequadamente as condições dos países em desenvolvimento, e as altas taxas de mudança demográfica, econômica e social, que resultam em grandes estruturas de transporte ociosas ou desnecessárias.

Taco apud Lopes (2004) critica os modelos tradicionais pelo caráter estático, pois não apresentam recursos que possibilitem a captação, com rapidez, das mudanças urbanas relativas ao uso do solo. Além disso, necessita de grande quantidade de dados, o que impossibilita a sua atualização rápida e contínua, em razão dos elevados custos operacionais.

Uma alternativa para a solução dos problemas apresentados pelos modelos tradicionais e a utilização de técnicas que reconheçam e incorporem características espaciais no processo, o que acentua a potencialidade do uso de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, particularmente de suas ferramentas de análise espacial.

3. ESTUDOS UTILIZANDO ANÁLISE ESPACIAL

Este capítulo visa abordar o tema análise espacial considerando os principais conceitos da chamada geoestatística e, em especial, no uso de técnicas de correlação espacial para a estimativa de valores ponderados espacialmente.

INTRODUÇÃO

O objetivo da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos levando-se em conta a localização espacial do fenômeno em estudo. Ou seja, incorporar o espaço a análise que se deseja realizar. Pode-se definir a análise espacial como o estudo, exploração e modelagem de processos que se expressam através de uma distribuição espacial e podem ser também denominados fenômenos geográficos.

No século XIX, John Snow foi conhecido com o primeiro que, intuitivamente, aplicou técnicas de análise espacial em análises estatísticas, a partir de estudos de epidemia de cólera em Londres. A Figura 3-1 apresenta um detalhe do mapa produzido por ele para o estudo, mapeando e quantificando os casos de cólera e analisando sua proximidade com os pontos de captação d'água.

As análises espaciais ajudaram a identificar uma das bombas de água que abasteciam a cidade como o epicentro do problema, sendo conhecido como a primeira análise de dados em um ambiente de informação geográfica realizado.



Figura 3-1: Detalhe do Mapa de John Snow com a quantificação e localização dos casos de cólera na cidade de Londres. Fonte: <http://www.udel.edu/johnmack/frec682/cholera/>

Vários estudos foram realizados até que avanços no campo da estatística começaram a ser transferidos para o que hoje conhecido com Estatística Espacial. Em muitos trabalhos publicados sobre métodos de estatística convencionais já se observava o reconhecimento de problemas causados pela dependência espacial, mas com Moran e Geary que apresentaram os primeiros índices formais para detectar a presença da autocorrelação espacial em um conjunto de dados.

Para muitos autores, a introdução da análise espacial nos estudos de transporte deu-se com o advento da aplicação de SIG nos mais variados ramos de planejamento. Com o uso mais frequente do SIG, graças principalmente aos recursos computacionais hoje existentes, de maneira acessível e dinâmica, o termo análise espacial passou a fazer parte do cotidiano do profissional de transporte, embora pouco tenha sido de fato discutido sobre suas bases teóricas, seus conceitos e aplicações.

A visualização é um fator importante da estatística espacial, mas complementar a descrição, comparação e interpretação dos dados. A estatística descritiva ou inferencial é, portanto, eficaz e essencial para tornar explícito o que está apenas implícito em mapas ou para analisá-los, chamando a atenção para características que não eram perceptíveis apenas pela visualização.

GEOESTATÍSTICA - APLICAÇÕES

A Geoestatística surgiu na década de 60, baseando-se nas observações de Daniel G. Krige (1951), onde concluiu que somente a estatística clássica era insuficiente para explicar certos fenômenos onde se observa variabilidade espacial. Desta forma, seria necessário levar em consideração a distância entre as observações, onde a localização de diferentes objetos é de extrema importância para análise de dados espaciais. Surge então o conceito de dependência espacial entre as observações.

No final dos anos 70, início dos anos 80, o uso da teoria geoestatística na área das ciências do ambiente é intensificado. Nesta fase da sua evolução, os modelos geoestatísticos assimilam as especificidades dos dados relativos ao campo em estudo. Em meados dos anos 80, dá-se mais um salto na evolução dos conceitos e aplicações no campo metodológico geoestatístico, com o domínio no setor petrolífero. Então, como ciência aplicada, a geoestatística desenvolveu um conjunto de problemas concretos, relacionados a caracterização dos fenômenos espaciais onde não era suficiente por parte da estatística clássica.

Fazendo uma ligação entre as aplicações no campo da geologia e meio ambiente e o Planejamento de Transportes, pode-se afirmar que embora a análise de variáveis que caracterizem solos e indivíduos, no que tange o comportamento de viajantes nas cidades

seja bastante diferente, existe um fator convergente entre tais estudos que é a dependência espacial das variáveis envolvidas.

Estudos relacionados a viagens urbanas, por exemplo, são influenciados por atributos eminentemente geográficos, tais como: adensamentos residenciais e de atividades socioeconômicas, proximidade entre zonas, cobertura espacial da rede de transporte, impedância de viagem na malha rodoviária, etc. (Loureiro et. al., 2006). Assim, é compreensível a consideração do atributo espacial na previsão de viagens no meio urbano, já que se supõe que modelos espaciais traduzem melhor o padrão de comportamento individual relacionado a viagens.

Henrique et. al. (2004) realizaram um estudo para a cidade de Fortaleza – CE que visou a caracterização espacial da mobilidade urbana dos usuários cativos do sistema integrado de transportes metropolitano, buscando identificar o padrão de distribuição espacial dessa mobilidade, bem como outras variáveis correlacionadas, tais como uso do solo residencial, renda da população e acessibilidade provida pela rede de transporte, com o objetivo de verificarem se tais variáveis são explicativas para o fenômeno da autocorrelação espacial da quantidade de deslocamentos realizados neste sistema.

Lopes (2005) efetuou uma investigação dos efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transportes, confrontando o desempenho de modelos ditos tradicionais com modelos alternativos, nos quais são introduzidas variáveis de dependência espacial, comprovando que tais modelos são melhores pois os resultados obtidos mostraram refletir melhor a dinâmica apresentada pelo desenvolvimento urbano, utilizando como base a análise comparativa em pesquisas de Origem e Destino – O-D de dois períodos distintos na cidade de Porto Alegre – RS, dos resultados obtidos com modelos ditos tradicionais e os obtidos com modelos que consideravam variáveis

espaciais. Neste estudo, foi utilizado a técnica de análise por autocorrelação espacial, com o índice de Moran Global e Localizado.

Correia, et. al. (2007) realizou um trabalho para a determinação de indicadores de mobilidade sustentável em regiões metropolitanas aplicando técnicas de autocorrelação espacial cujo objetivo é caracterizar a dependência espacial entre dados analisados, mostrando como os valores estão autocorrelacionados no espaço, com a aplicação do índice global de Moran (I), que fornece uma medida geral da associação espacial. Como conclusão, observou uma maior mobilidade sustentável para setores de classe média, uma vez que possuem melhor atendimento do transporte público, área comercial expressiva (o que diminui viagens) e diversidade de transporte público. A análise permitiu afirmar que variáveis renda e mobilidade sustentável, para a região em análise, podem estar inversamente relacionadas.

Mendonça (2008) realizou estudo aplicando regressão com efeitos espaciais locais em modelos de previsão de demanda de passageiros de transporte rodoviários, mostrando que na existência de dependência espacial e da não-Estacionariedade, os modelos de regressão com efeitos espaciais locais da forma discreta, que analisa cada sub-região com suas particularidades, apresentam diagnósticos que permitem afirmar e compreender melhor de que o espaço influencia na demanda de passageiros.

Feng, et. al. (2009) realizaram uma experiência fazendo uso da autocorrelação espacial nos dados de distribuição modal relacionados com proprietários de automóveis, visando melhorar a precisão dos resultados obtidos em um modelo 4 etapas, aplicados nos dados da cidade de Pequim. Parcialmente, os resultados do modelo denominado *SPA-STEP Model*, (ou Modelo de 4 etapas com autocorrelação espacial integrado), mostraram-se melhores sob o ponto de vista ambiental (emissão de CO), quando comparado com os

resultados do modelo tradicional, cujos resultados são sobre-estimados principalmente para tráfego em baixa velocidade.

Pitombo, et. al. (2010), efetuaram comparações entre duas diferentes técnicas de análise de dados espaciais para a previsão de produção e atração de viagem urbana na Região Metropolitana da Cidade de São Paulo, fazendo uso de técnicas de análise com variáveis independentes, análise geoestatística com o uso de krigagem e regressão atribuindo pesos em componentes relacionados espacialmente. Tiveram como objetivos a proposição de duas diferentes técnicas de análise espacial para previsão de geração de viagens, que denominaram como PCA+GWR (ou Análise de Componente Principal e Regressão Ponderada Espacialmente) e PCA+KED (Análise de Componente Principal e Krigagem com deriva externa). Nas análises proferidas, embora a GWR tenha apresentado maior correlação em relação a KED, esta apresenta a possibilidade de estimar valores em pontos desconhecidos do espaço analisado.

Ribeiro (2012) teve como motivação o trabalho desenvolvido por Lopes (2005), relacionado aos efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transportes, o qual propunha modelar o número de viagens de uma particular área considerando a demanda das áreas vizinhas à partir da aplicação de modelos de regressão espacial, utilizando como caso prático o município de Vitória – ES.

A aplicação da técnica geoestatística de krigagem foi utilizada em um estudo desenvolvido por Siva Junior (2006) para a caracterização da variabilidade espacial da condutividade hidráulica no semi-árido do Nordeste e, como método de análise de dados demográficos, trabalho desenvolvido por Jakob (2002), onde se mostrou possível obter resultados satisfatórios, destacando sua praticidade em aplicações com o uso de SIG.

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

INTRODUÇÃO

O principal objetivo do trabalho é apresentar a geoestatística como ferramenta viável para análise de geração de viagens. Para isso, espera-se estimar as viagens (atração e produção) em qualquer coordenada, ou seja, em qualquer ponto, delimitada no espaço geográfico, delimitada pelos limites das variáveis analisadas, considerando os valores das variáveis nos centróides das Zonas de Tráfego, considerados como valores médios das taxas de viagens por área.

Nestes centroides, serão considerados valores médios das taxas de viagens por área e extrapolados para toda a região da unidade a ser analisada (ex. zona de tráfego, município etc.). Desta forma, cada unidade a ser analisada estará homogeneamente representada pelo valor de seu centroide.

A figura 4-1 apresenta os principais passos que serão seguidos para a obtenção do resultado final, que será representada por um mapa temático.

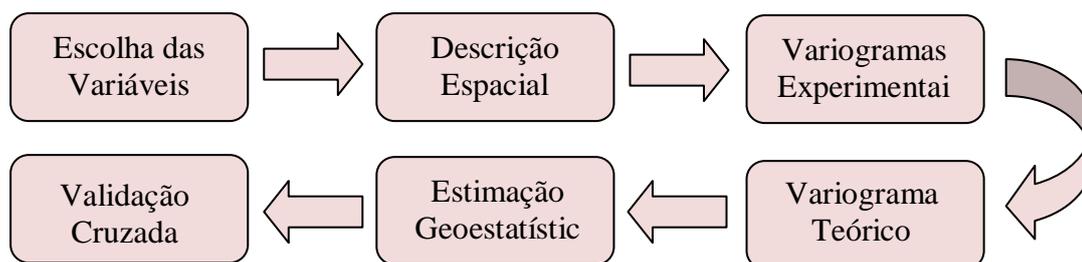


Figura 4-1: Etapas do Processo de Obtenção de viagens geradas por análise espacial

ESCOLHA DAS VARIÁVEIS

Considerando como premissa básica a correlação espacial para geração de viagens (produção e atração) são consideradas as variáveis relativas a viagens, por centroide de

zona de tráfego. Podem ser analisadas dadas que consistem em variáveis próprias em produção ou atração de viagens. Neste sentido, dados relacionados ao motivo das viagens, dados socioeconômicos e estatísticos de cada zona ou região a ser estudadas são aplicáveis, pois são informações que podem conter autocorrelação espacial.

DESCRIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS

Esta etapa tem como objetivo visualizar o modo como cada variável se comporta no espaço geográfico, definindo-se as principais características destas. Para esta etapa, a utilização de sistemas de informação geográfica – SIG é importante, pois possibilita demonstrar a partir de um plano cartesiano conhecido, o posicionamento de cada informação e sua relação com elementos geográficos referenciais, que para o caso podem ser as divisas municipais, estaduais, rodovias, ferrovias e demais elementos notáveis sob o ponto de vista de transporte. Seu resultado pode ser expresso na forma de mapas temáticos.

Através da visualização do arranjo espacial dos dados experimentais que se faz o planejamento dos parâmetros fundamentais para o cálculo dos variogramas: direções, classes de ângulos e distâncias.

VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

As variáveis regionalizadas, ou VR, tratadas através da estatística espacial, apresentam em comum o fato de dependerem fortemente da localização espacial (Soares, 2000). Apresentam continuidade de ponto para ponto, mas as mudanças são tão complexas que não são possíveis de descrever por nenhuma função determinística.

A geoestatística estuda o comportamento das chamadas variáveis regionalizadas e fundamentalmente baseia-se nos seguintes pressupostos:

- Ergodicidade: a esperança referente à média de todas as possíveis realizações da variável é igual a média de uma única realização dentro de um certo domínio;
- Estacionariedade: na região em que se pretende fazer estimativas, o fenómeno é descrito como homogêneo dentro desse espaço;
- Hipótese intrínseca: as diferenças entre valores apresentam fraco incremento, isto é, as diferenças são localmente estacionárias.

As variáveis regionalizadas estão intimamente ligadas ao suporte, termo habitualmente entendido como o volume e orientação espacial de uma amostra. Uma amostra em geoestatística é uma porção de material coletado em cada ponto (localizado por suas coordenadas geográficas). Os materiais são coletados através do suporte e este influencia fortemente os valores da variável, determinando, quando aumenta, a diminuição da sua dispersão.

Embora uma VR seja espacialmente contínua, não é normalmente possível saber o seu valor em todos os locais. Geralmente, os seus valores são conhecidos apenas através de amostras que são recolhidas em localizações específicas. O tamanho, forma, orientação e arranjo espacial destas amostras constituem o suporte da variável regionalizada.

Apesar do aspecto errático evidenciado pela VR, existe certa continuidade espacial.

Uma VR, $Z(x)$, é contínua se:

$$\lim_{x \rightarrow x_0} E\{[Z(x) - Z(x_0)]^2\} = 0 \quad \text{(Equação 4-1)}$$

Na realidade, a continuidade raramente existe, ou seja, aquele limite tende para um valor $C_0 > 0$, que pode ser demonstrado em um variograma, designado pelo chamado “efeito pepita” (*nugget effect*). Uma descrição mais detalhada sobre os variogramas é feita nas seções a seguir.

Este efeito deriva de dois fatores: possível existência de erros de amostragem, e existência de micro regionalizações que a escala de amostragem não permite detectar.

$$\lim_{x \rightarrow x_0} E\{[Z(x) - Z(x_0)]^2\} = C_0 \neq 0 \quad \text{(Equação 4-2)}$$

VARIOGRAMA E SEMIVARIANCIA

A continuidade espacial da VR pode ser medida por uma quantidade positiva que traduz as diferenças dos valores da variável medidos em pontos distanciados de h.

Logo, $x(i)$ e $x(i+h)$ são valores de uma variável regionalizada obtidos nos pontos i e $i+h$, separados entre si por múltiplos da distância h, vetor com direção específica, em um espaço a uma, duas ou três dimensões. O grau de relação entre valores numa certa direção pode ser expresso pela covariância ou pela variância entre valores de uma mesma variável, porém obtidos em pontos x e $x+h$.

A função que traduz a semivariância em função das distâncias entre os pontos é chamada de variograma e a função que descreve as diferenças (variações) entre as amostras separadas por distâncias variáveis são denominadas semivariâncias.

Para qualquer deslocamento h, os dois primeiros momentos da diferença $[x(i) - x(i+h)]$ são independentes da localização de x e função apenas de h. Como a média é expressa por:

$$m = E[x(i) - x(i+h)] = E[Z(x)] \quad \text{(Equação 4-3)}$$

Temos que a variância

$$E\{[x(i) - x(i+h)] - m\}^2 = E\{[Z(x) - m]\}^2 \quad \text{(Equação 4-4)}$$

E a covariância como

$$C(h) = E[Z(x+h) \cdot Z(x)] - m^2 \quad \text{(Equação 4-5)}$$

A covariância depende do tamanho de h. Considerando $h = 0$, $C(h)$ passa a representar a variância = $C(0)$.

Sendo a semivariância como a metade da variância das diferenças, temos

$$x(i+h) - x(i) \quad \gamma(h \rightarrow) = \gamma(h) = \Sigma[Z(x+h) - Z(x)] / 2 \quad \text{(Equação 4-6)}$$

A variância de X = $[\Sigma x^2 / n] - [(\Sigma x/n)^2]$

$$\gamma(h) = [1/2 \Sigma(x(i+h) - x(i))^2] / n - [1/2 \Sigma(x(i+h) - x(i)) / n]^2 \quad \text{(Equação 4-7)}$$

Como

$$\{ [1/2 \Sigma(x(i+h) - x(i))] / n \} = 0 \quad \text{(Equação 4-8)}$$

temos

$$\gamma(h) = 1/2 [\{ \Sigma x(i+h)^2 \} / n + \{ \Sigma x(i)^2 \} / n - \{ \Sigma x(i+h)x(i) \} / n] \quad \text{(Equação 4-9)}$$

o que significa que,

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad \text{(Equação 4-10)}$$

Sendo $x(1), x(2), \dots, x(i), \dots, x(n)$, realizações de uma variável regionalizada, satisfazendo a hipótese intrínseca, a estimativa não tendenciosa da semivariância é dada por

$$\gamma(h) = 1/2n \Sigma \{ x(i+h) - x(i) \}^2 \quad \text{(Equação 4-11)}$$

Dessa forma, relações são mostradas quando a função $\gamma(h)$ é colocada em gráfico contra h para originar o semivariograma, onde é possível medir o grau de dependência espacial entre as amostras e a expressão é

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [x(i+h) - x(i)]^2 \quad \text{(Equação 4-12)}$$

Onde,

$y(h)$ é a semivariância para o intervalo h ,

$n(h)$ é o número de pares de dados que distam h entre eles,

$Z(x_i+h) - Z(x_i)$ é o valor da diferença de um par de dados que distam h entre eles.

O variograma é a ferramenta básica que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado. A natureza estrutural de um conjunto de dados (assumido pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção.

SEMIVARIOGRAMA

O semivariograma descreve a autocorrelação espacial dos pontos de amostragem medidos. A figura 3 apresenta um exemplo de semivariograma, onde são observadas algumas particularidades.

A partir de certa distância, a semivariância não aumentará com a distância e irá se estabilizar em um valor igual à variância média, dando a esta região o nome de silo ou patamar.

A distância entre o início do semivariograma e o começo do silo recebe o nome de alcance, (*range* em inglês). Ao extrapolarmos a curva do semivariograma para a

distância zero, podemos chegar a um valor não nulo de semivariância, que é conhecido como Efeito Pepita (*Nugget Effect*).

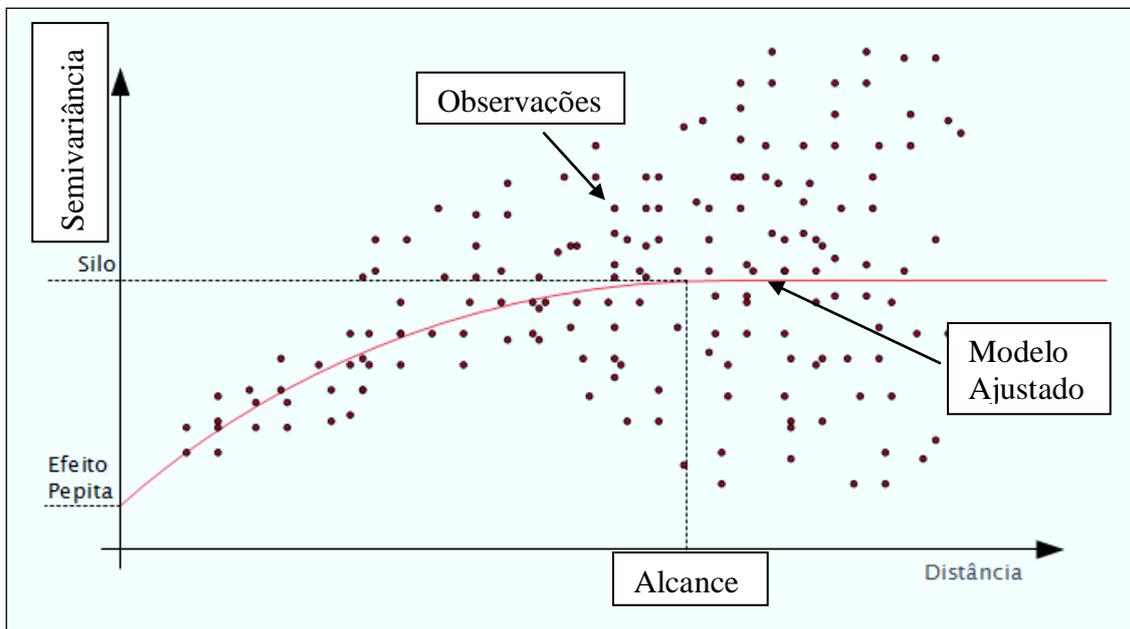


Figura 4-2: Parâmetros de um semivariograma

O efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição ou de fontes espaciais da variação em distâncias menores do que o intervalo de amostragem, ou ambas as situações. O erro de medição ocorre por causa do erro inerente em dispositivos de medição. Fenômenos naturais podem variar espacialmente em um intervalo de escalas.

Tipicamente, o semivariograma irá mostrar baixas variações para pequenas diferenças e variações maiores em distâncias maiores de separação, o que indica que os dados são espacialmente autocorrelacionados. Posteriormente, uma função é ajustada aos pontos, o que é conhecido como um modelo de semivariograma.

Para a obtenção de um variograma, portanto, é suposto que a variável regionalizada tenha um comportamento fracamente estacionário, onde os valores esperados, assim como sua covariância espacial, sejam os mesmos por uma determinada área. Assume-se,

desse modo, que os valores dentro da área de interesse não apresentem tendência que possam afetar os resultados.

A Semivariância distribui-se de 0, quando $h=0$, até um valor igual a variância das observações para um alto valor de h .

SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL

O variograma experimental permite caracterizar o comportamento espacial das variáveis regionalizadas, identificando direções preferenciais no espaço (anisotropia) ou não (isotropia).

Para a utilização do semivariograma em análises espaciais, faz-se necessário observar algumas suposições, sendo:

- a) as diferenças entre pares de valores de amostras são determinadas apenas pela orientação espacial relativa dessas amostras;
- b) o interesse é focado apenas na média e na variância das diferenças, significando que esses dois parâmetros dependem unicamente da orientação (hipótese intrínseca);
- c) por conveniência assume-se que os valores da área de interesse não apresentam tendência que possa afetar os resultados e assim a preocupação será apenas com a variância das diferenças entre valores das amostras.

Para a construção do variograma experimental, devem ser examinados os possíveis pares de pontos em pelo menos 30 pares, sendo removidos os pares com valores anômalos e com maior Δh , a metade da maior distância existente entre os pontos. Quando a distância entre pares é zero, o valor em cada ponto é comparado com ele próprio, e logo as diferenças são 0 e o valor da semivariância também zero.

Existe a necessidade de ajustar uma função matemática que descreva continuamente a variabilidade ou correlação espacial existente nos dados, pois o variograma experimental não serve para esse fim, porque há necessidade de interpolação e os pontos apresentar-se-ão com certa dispersão, principalmente para distâncias grandes, quando o número de pares de amostras diminui.

MODELAGEM DO SEMIVARIOGRAMA TEÓRICO – PRINCIPAIS

MODELOS

Após a escolha dos parâmetros das direções a estudar, é necessário transpor toda essa informação para uma função geral representativa. Sendo assim, é necessário o ajuste dos variogramas experimentais a uma função geral. Dessa forma, são considerados os parâmetros das curvas ajustadas dos variogramas.

Não sendo possível ajustar um modelo por qualquer tipo de função, existem funções interpoladoras que tem um número reduzido de parâmetros (sendo a sua escolha limitada as que fornecem soluções estáveis).

Concluído o ajustamento do variograma teórico para todas as variáveis e direções, é possível selecionar qual a direção principal (a que corresponde uma maior continuidade espacial e a que foi ajustada com maior amplitude) e secundária (a que corresponde a menor amplitude).

O semivariograma experimental fornece informações sobre a autocorrelação de conjuntos de dados, porém, eles não fornecem informações para todas as direções e distâncias possíveis. Após a construção dos variogramas experimentais, faz-se necessária a modelagem a partir de uma curva expressa por um modelo matemático definido por uma função contínua que melhor irá ajustar ao semivariograma.

Sendo o variograma uma função que depende da direção, é natural que apresente andamento diferente conforme a direção, refletindo a anisotropia da continuidade espacial da VR. Se o variograma apresenta uma forma semelhante em todas as direções do espaço, só dependendo de h, diz-se que a estrutura do fenômeno é isotrópica, sem direções privilegiadas de variabilidade.

A seguir, são apresentados alguns modelos matemáticos usualmente conhecidos como funções para ajustar os semivariogramas para análises espaciais. São eles os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear.

Modelo Esférico:

$$\gamma(h) = C \left[\left(\frac{3}{2} \times \frac{h}{a} \right) - \left(\frac{1}{2} \times \frac{h^3}{a^3} \right) \right] \quad \text{(Equação 4-13)}$$

quando $h < a$

$$\gamma(h) = C \quad \text{(Equação 4-14)}$$

quando $h \geq a$,

A inclinação da tangente junto a origem ($h=0$) é $\frac{3C}{2a}$. Considerado o modelo mais comumente utilizado.

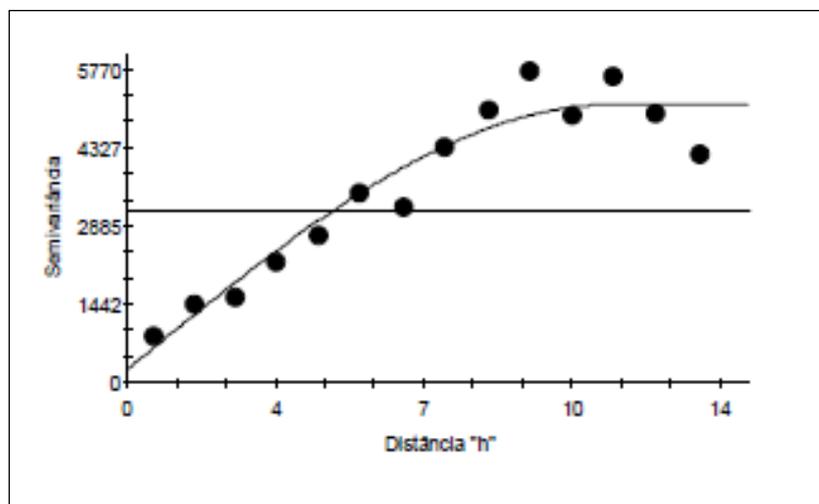


Figura 4-3: Modelo de Variograma Esférico

Modelo Exponencial:

$$y(h)=C(1-e^{-\frac{h}{a}})$$

(Equação 4-15)

A inclinação da tangente junto a origem é C/a ; C é a assíntota de uma curva exponencial e pode ser equalizada junto à soleira.

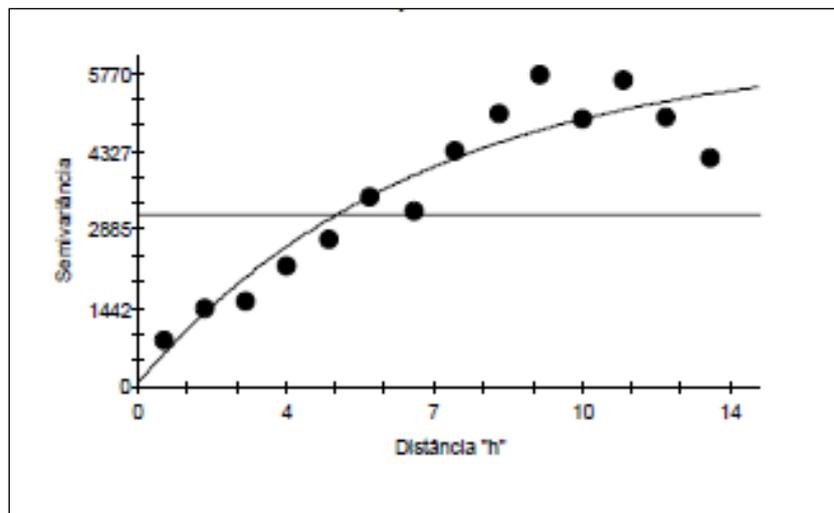


Figura 4-4: Modelo de Variograma Exponencial

Modelo Gaussiano:

$$y(h)=C(1-e^{-\frac{h^2}{a^2}})$$

(Equação 4-16)

A curva parabólica junto a origem e a tangente nesse ponto é horizontal, indicando pequena variabilidade para curtas distâncias.

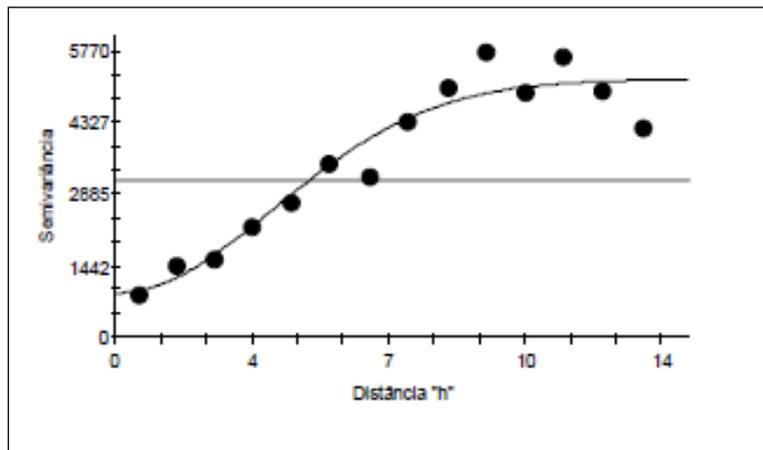


Figura 4-5: Modelo de Variograma Gaussiano

Modelo a Potência:

$$y(h)=Ch^n$$

(Equação 4-17)

com n entre 0 e 2;

quando n = 1: modelo linear. Considerado o modelo mais simples.

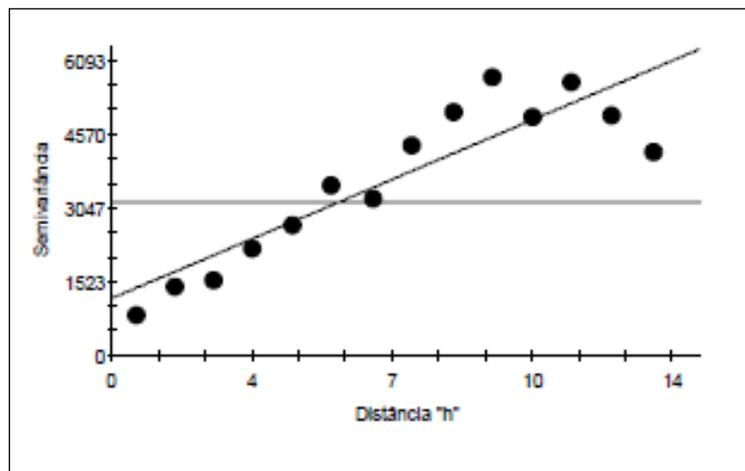


Figura 4-6: Modelo de Variograma Linear

ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA – KRIGAGEM

A técnica de krigagem pressupõe que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados e assume que estes pontos de uma determinada população em uma região se encontram correlacionados no espaço.

Conforme já comentado nas seções anteriores, a Autocorrelação é uma função da distância e é uma característica definidora da geoestatística.

Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de qualquer interpolação, utilizando um conjunto de técnicas de regressão linear generalizadas, em que os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma. Além disso, a krigagem fornece em média, estimativa não tendenciosa e com variância mínima.

A krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de n dados $\{Z(x_i), i=1, n\}$ disponíveis. O estimador poderá ser obtido como uma combinação linear dos dados disponíveis, conforme:

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad \text{(Equação 4-18)}$$

Onde:

$Z(X_0)$, é o valor desconhecido a ser estimado;

$\lambda_i (i = 1, n)$, são os ponderadores obtidos pela resolução do sistema linear de equações;

$Z(X_i) (i=1, n)$, são o conjunto de n dados disponíveis.

A construção do estimador, na krigagem ordinária, não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (Landim, 1998), mas requer que a soma dos pesos $\sum \lambda_i$ seja igual a 1.

Os ponderadores ($\lambda_i, i=1, n$) são obtidos da resolução de um sistema linear de equações, denominado sistema de equações de krigagem.

Para a Krigagem Simples, considere uma superfície sobre a qual se observe alguma propriedade do solo, Z , em n pontos distintos, com coordenadas representadas pelo vetor x . Assim, tem-se um conjunto de valores $\{z(x_i), i=1, \dots, n\}$, onde x_i , identifica

uma posição em duas dimensões representada pelos pares de coordenadas (x_i, y_i) . Suponha que se objetive estimar o valor de Z no ponto x_0 . O valor desconhecido de $Z(x_0)$ pode ser estimado a partir de uma combinação linear dos n valores observados, adicionado a um parâmetro, λ_0 .

O objetivo da krigagem é buscar o melhor conjunto de ponderadores, de tal modo que a variância do erro seja a mínima possível. Trata-se, portanto, de encontrar o mínimo da função variância do erro.

VALIDAÇÃO CRUZADA

A validação cruzada, ou teste do ponto fictício, é um método de análise que consiste em efetuar uma estimativa sequencial do valor de cada ponto da amostra, considerado como estimado, calculando o erro de estimação em relação a seu ponto dito como real, indicando se o modelo e/ou seus valores são razoáveis.

O método consiste na remoção do ponto da amostra a ser observado, verificando o quanto cada ponto variou em relação ao ponto calculado, tomando como base o restante da amostra, sendo aplicado ponto a ponto. Como exemplo, podemos observar a Figura 4-7, onde mostra uma amostra com 10 pontos. O método implica na omissão de um ponto e calcula o valor desse local utilizando os 9 pontos restantes, sendo comparado com o valor do ponto omitido e aplicado em cada elemento amostral.

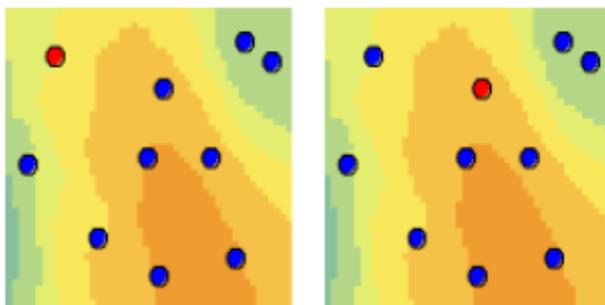


Figura 4-7: Exemplo de aplicação do teste de validação cruzada para cada ponto (em vermelho)

Os resultados das análises de cada elemento amostral com seu par encontrado podem ser observados a partir de um gráfico de dispersão, onde é possível conferir o grau de aderência da regressão através da reta ajustada. A Figura 4-8 ilustra essa condição, onde os pontos estimados (eixo Y) estão “plotados” em relação aos valores ditos reais (eixo x) e uma reta ajustada ao conjunto amostral (em azul) indica o quanto que a autocorrelação espacial variou (linha diagonal).

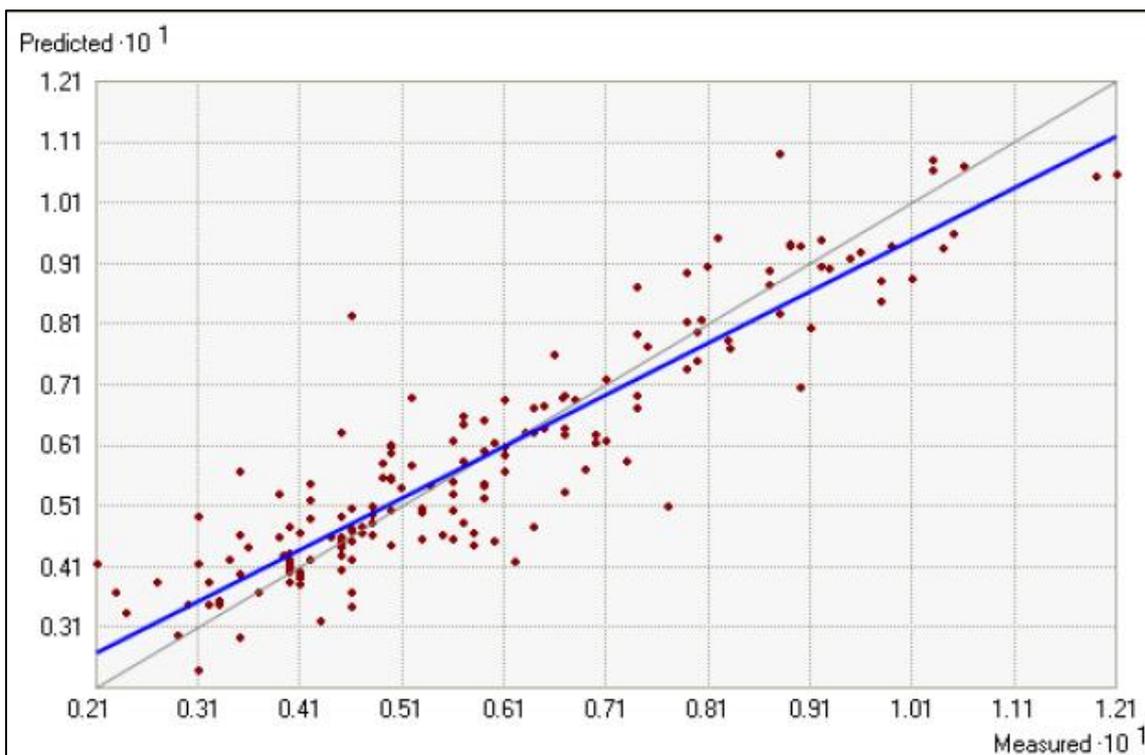


Figura 4-8: Gráfico da Estimativa x Valor Medido

5. APLICAÇÃO – CASO PRÁTICO: PDTU RMRJ

Neste capítulo, serão apresentadas as aplicações dos conceitos expostos anteriormente para as demandas previstas no Plano Diretor de Transporte do Rio de Janeiro – PDTU, onde serão considerados os dados de geração de viagens. Será mostrada a análise dos dados utilizados, o tratamento destes dados com a utilização do modelo matemático adotado, a criação dos mapas de superfície e a validação destes modelos.

ANÁLISE DOS DADOS DISPONÍVEIS

O caso prático deste trabalho é a aplicação dos conceitos de geoestatística e o modelo de Krige nos dados de demanda de transporte obtidos no Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro – PDTU, do ano de 2004. A região metropolitana do Rio de Janeiro é composta por 20 municípios dispostas no entorno da Baía de Guanabara e envolve importantes centros urbanos do Estado do Rio de Janeiro como a capital – Rio de Janeiro, os municípios de Niterói, Nova Iguaçu e São Gonçalo, com grande densidade populacional e Duque de Caxias, que possui importante complexo petroquímico. A figura 9 apresenta a disposição destes municípios.



Figura 5-1: Mapa dos Municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

O PDTU é um importante instrumento para a orientação das ações executivas para os investimentos em infraestrutura, tanto do sistema viário, como dos sistemas de transporte coletivo, em especial dos de maior capacidade com trem e metro. Na medida em que, historicamente, há uma falta de integração dos projetos e das políticas públicas do setor de transportes, o PDTU da RMRJ constitui um elemento promotor, estimulado e consolidador de uma atuação permanentemente integrada dos organismos de gestão e operação no processo de planejamento e gerenciamento dos sistemas de transporte.

A pesquisa Origem-Destino domiciliar, importante fonte de informações para uma abordagem detalhada das necessidades de transporte, ocorreu no período de outubro de 2002 a dezembro de 2003, com uma amostra útil de 34.000 domicílios, tendo sido visitados cerca de 40.000 domicílios, onde foram entrevistadas 99.310 pessoas, distribuídas em toda a região metropolitana.

Para a identificação e análise da demanda atual por transporte na RMRJ, foram definidas 17 macrozonas, sendo 9 no Município do Rio de Janeiro, conforme pode ser visualizado na figura abaixo.



Figura 5-2: Mapa das Macrozonas da RMRJ

As variáveis utilizadas para a aplicação na obtenção da Produção de Viagens foram obtidas no chamado Relatório 10 – Montagem da Rede e Diagnóstico – Versão Final , e contam com dados do IBGE (população), Secretaria de Educação (matriculas) e da FIRJAN (empregos), dados de 2003, distribuídas em 84 zonas de tráfego. Suas distribuições espaciais podem ser vistos na Figura 5-3, Figura 5-4, Figura 5-5 e Figura 5-6.

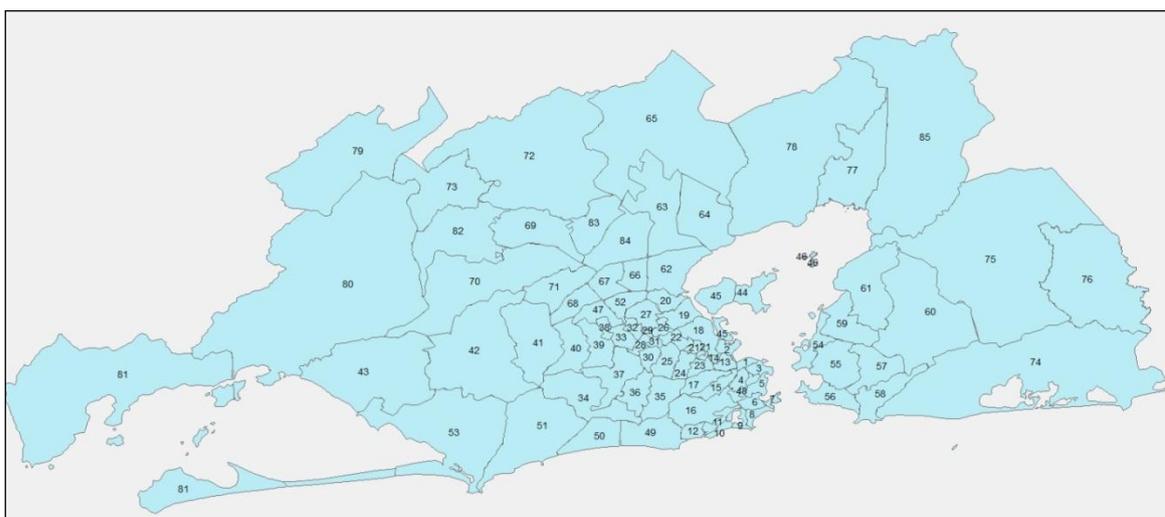


Figura 5-3: Mapa das Zonas de trafego

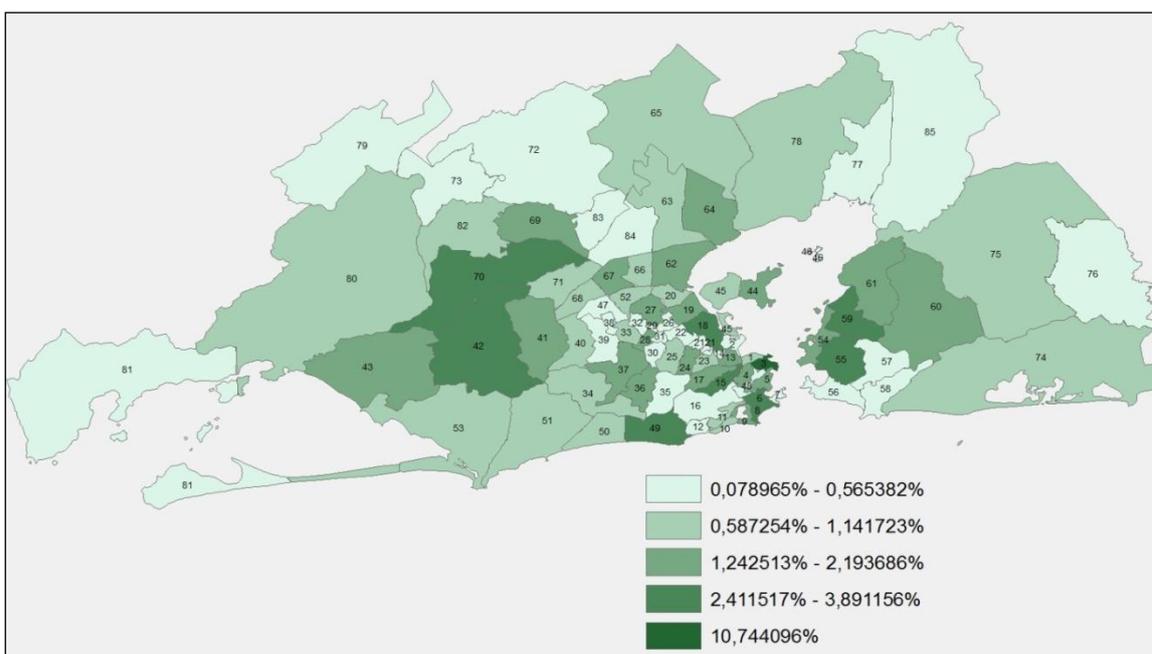


Figura 5-4: Mapa de Empregos - Ano 2003 – percentual do total

Conforme esperado, observamos na Figura 5-4 que a grande concentração de empregos da RMRJ está no centro da cidade do Rio de Janeiro acompanhada da cidade de Niterói. Porém, verifica-se também que outras regiões apresentam significativa expressão desta variável, uma vez que despontam como grande crescimento comercial, com é o caso da Barra da Tijuca e Jacarepaguá.

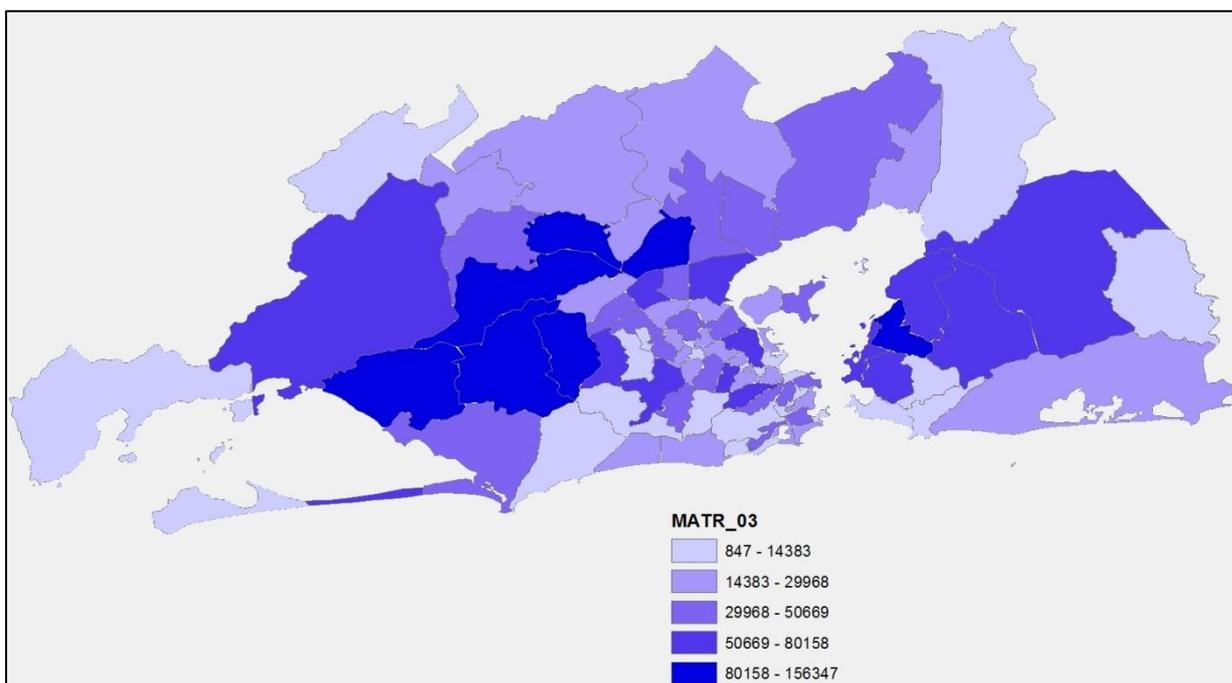


Figura 5-5: Mapa das Matrículas Escolares - Ano 2033 – valores absolutos

Segundo dados do IBGE do recenseamento de 2000, a população da RMRJ totalizava 10.894.756 habitantes, distribuídos entre os municípios que compõem a região metropolitana, como podem ser vistos na Figura 5-6: Mapa da População - Ano 2003 – Percentual do total. Somente o município do Rio de Janeiro reúne 53,8% da população.

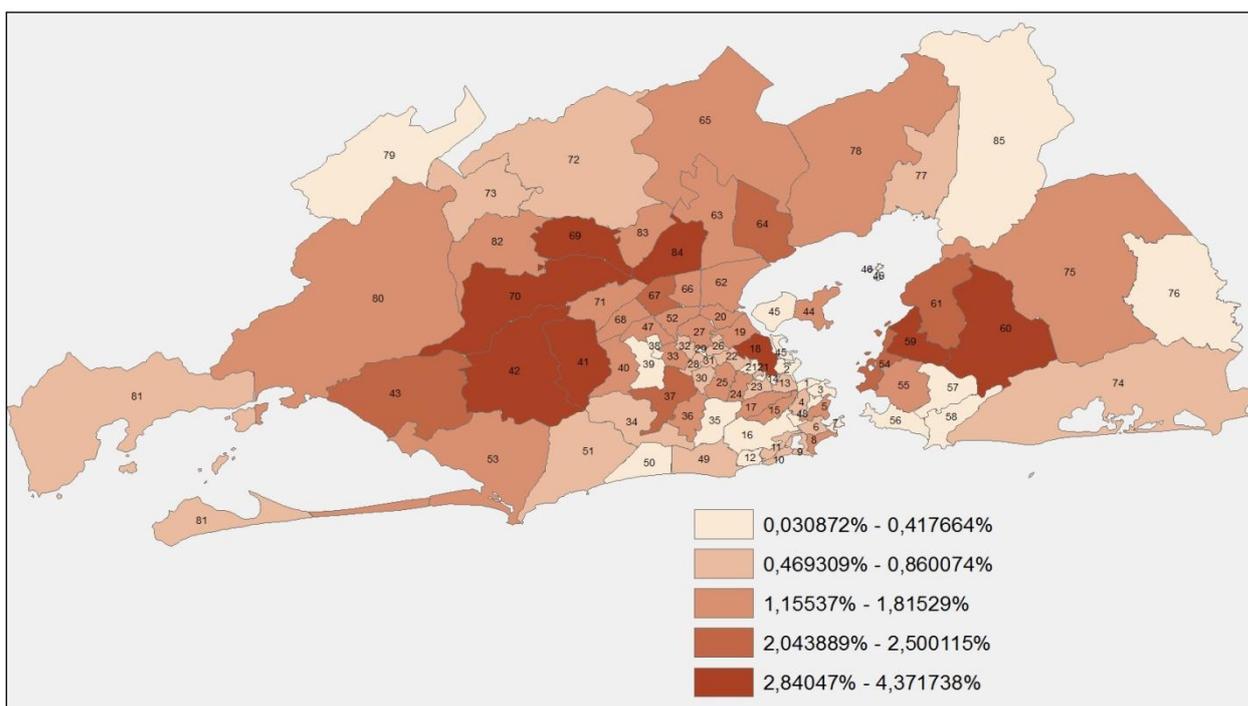


Figura 5-6: Mapa da População - Ano 2003 – Percentual do total

É possível notar que o número de matrículas escolares no município do Rio de Janeiro acompanha a distribuição populacional, notadamente mais intensa na região de Campo Grande, que demonstra uma distribuição de matrículas escolares proporcionais à densidade populacional no município do Rio de Janeiro. Já nas demais regiões, esse fato não é acompanhado, notadamente no município de São Gonçalo.

Já as variáveis para a obtenção das taxas de Produção de Viagens, que são renda familiar, possuidores de veículos e tamanho da família, foram obtidas a partir do banco de dados da pesquisa Origem/ Destino efetuadas para o PDTU, distribuídas em 17 zonas na RMRJ. Foram feitas consultas cruzadas entre as diversas faixas de renda e tamanho da família, para que fosse possível a aplicação das taxas de atração de viagens determinadas pelo PDTU, conforme é descrito na próxima seção.

O MODELO DE PRODUÇÃO DE VIAGENS DO PDTU-RMRJ

O modelo de geração de viagens definido pelo PDTU – 2004 encontram-se no Relatório 11 – Calibração de Modelos - e parte do resultado da aplicação do modelo de segmentação da demanda de acordo com variáveis socioeconômicas, segundo Critério de Classificação Econômica adotada pela ABA/ANEP e ABIPEME. Este procedimento atribui uma série de pontos aos indicadores de conforto familiar e também ao grau de instrução do chefe da família. De posse da somatória destes pontos é possível dividir o total de famílias segundo sua classe de renda.

A validação desta abordagem consistiu no cruzamento da classe de renda obtida através da metodologia com a classe de renda declarada no questionário de pesquisa. Os dados utilizados para a estimação destes modelos foram coletados da Pesquisa Domiciliar realizada em 2002-2003 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Com base no processamento dos registros levantados na pesquisa domiciliar O/D foi possível obter a participação percentual de viagens classificadas segundo os motivos de viagem nos locais de origem e destino.

Em função destes aspectos, adotou-se a seguinte classificação para os motivos de viagem para o estudo da demanda da Região Metropolitana do Rio de Janeiro:

- Motivo 1: Base Domiciliar – Trabalho (BDT): viagens com base domiciliar e motivo trabalho, o que significa que a origem ou o destino da viagem é o domicílio e o outro extremo da viagem é o local de trabalho. As viagens deste motivo representam, aproximadamente, 40,3% da demanda;
- Motivo 2: Base Domiciliar – Estudo (BDE): viagens com base domiciliar e motivo estudo, o que significa que a origem ou o destino da viagem é o domicílio e o outro extremo da viagem é o local de estudo (regular e outros). As viagens deste motivo representam, aproximadamente, 33,1% da demanda;

- Motivo 3: Base Domiciliar – Outros (BDO): viagens com base domiciliar e motivos outros, o que significa que a origem ou o destino da viagem é o domicílio e o outro extremo da viagem não é trabalho nem estudo. As viagens deste motivo representam, aproximadamente, 23,4% da demanda;

- Motivo 4: Base Não Domiciliar - Outros: viagens com quaisquer motivos na origem ou destino, que não o domicílio. As viagens deste motivo representam, aproximadamente, 3,2% da demanda.

Para a definição das variáveis explicativas utilizadas para a caracterização dos padrões de viagens, o modelo de análise estatística adotado pelo PDTU foi o Sistema CHAID (*Chi-squared Automatic Interaction Detector*), que possibilita a construção de árvores de relacionamento entre as variáveis independentes e a variável dependente, determinando, através de testes de Qui-Quadrado, a variável mais explicativa do nível posterior da árvore (CENTRAL, 2003).

Após vários testes, segundo o Relatório, as variáveis consideradas nesta tabulação foram: tamanho de família, classe de renda e posse de automóvel.

A aplicação do CHAID ao banco de dados com todas as famílias produziu resultado de segmentação bastante próximo ao da primeira árvore, sendo as classes propostas descritas a seguir:

- Tamanho de família:

- 1 – 1 morador,

- 2 – 2 moradores,

- 3 – 3 moradores,

- 4 – 4 moradores,

- 5 – 5 ou mais moradores.

- Classe de Renda (Segundo Critérios da ABA/ANEP)

1 – Classe E,

2 – Classe D,

3 – Classe C,

4 – Classe B,

5 – Classe A.

- Posse de automóvel na família

0 – sem posse

1 – com posse

Conforme o Relatório de calibração dos elaborado no PDTU, para o modelo de produção de viagens, optou-se por empregar o uso de um modelo de Classificação Cruzada ou Análise de Categoria. Segundo o Relatório do PDTU, a análise das taxas diárias de produção de viagens obtidas, para os motivos com base domiciliar, permite a conclusão de que existe grande coerência nos resultados à medida que as taxas de viagens, em geral, aumentam com o tamanho da família e com a classe de renda. Embora conste na tabela do PDTU consultada, a variável posse de auto (0/1) não se mostrou explicativa para a obtenção das taxas de geração de viagens (CENTRAL, 2003).

A Tabela 5-1 mostra as taxas familiares diárias de produção de viagens para os motivos de viagem baseados no domicílio.

Classes de Famílias			Taxa de Geração de Viagens - BDT	Taxa de Geração de Viagens - BDE	Taxa de Geração de Viagens - BDO
Número de Moradores	Classe de Renda	Posse de Automóvel	Modos Motorizados	Modos Motorizados	Modos Motorizados
1	1	0/1	0,35	0,04	0,44
2	1	0/1	0,98	0,11	0,73
3	1	0/1	1,31	0,58	0,76
4	1	0/1	1,46	0,80	0,55
5 ou mais	1	0/1	1,46	1,43	0,77
1	2	0/1	0,58	0,03	0,75
2	2	0/1	1,21	0,19	0,67
3	2	0/1	1,67	0,52	0,64
4	2	0/1	1,94	0,93	0,56
5 ou mais	2	0/1	2,02	1,45	0,58
1	3	0/1	0,94	0,04	0,87
2	3	0/1	1,61	0,26	1,41
3	3	0/1	2,32	0,88	1,04
4	3	0/1	2,66	1,36	0,99
5 ou mais	3	0/1	3,07	1,54	1,07
1	4	0/1	0,94	0,03	1,01
2	4	0/1	1,88	0,35	1,51
3	4	0/1	2,99	1,21	1,24
4	4	0/1	3,18	2,24	1,28
5 ou mais	4	0/1	3,84	2,73	1,45
1	5	0/1	1,44	0,00	1,13
2	5	0/1	2,85	0,26	2,02
3	5	0/1	3,26	1,31	2,14
4	5	0/1	3,70	2,31	1,34
5 ou mais	5	0/1	4,40	2,94	2,50

Tabela 5-1: Taxas de Produção de Viagens para a RMRJ – Fonte: PDTU - 2004

Como as viagens com Base Não Domiciliar, motivo 4, não podem ser explicadas a partir das características da família, adotou-se, para a definição e validação desta categoria de viagem, um modelo baseado em regressão linear, considerando-se como variáveis independentes os totais de empregos de cada zona de tráfego, uma vez que as outras variáveis testadas não se mostraram representativas (CENTRAL, 2003). Como o

resultado R^2 do modelo de regressão foi considerado pouco satisfatório, esta categoria de viagens não entrou neste estudo.

Com base nas taxas de produção de viagens encontradas, foram efetuados cálculos utilizando dados censitários de quantidade de famílias e classes de renda, chegando ao número de viagens produzidas em cada zona de tráfego, nos motivos Casa-Trabalho, Casa-Estudo e Casa-Outros, que podem ser observados na Tabela 5-2.

CLASSES DE FAMÍLIAS - RELAÇÕES ENTRE NÚMERO DE MORADORES (1 a 5) E CLASSE DE RENDA (A,BC,D e E)																										
	BDT	1-A	2-A	3-A	4-A	5-A	1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	1-D	2-D	3-D	4-D	5-D	1-E	2-E	3-E	4-E	5-E
MACROZONAS	1	0	11	0	0	0	0	19	18	0	0	0	395	215	59	37	0	317	195	90	20	1544	949	767	329	156
	2	475	38	0	0	0	539	112	79	0	0	3081	1433	337	140	0	1121	718	407	115	40	1796	3225	1581	770	337
	3	62	18	0	46	0	23	0	0	0	0	1741	644	257	147	19	1131	774	432	119	37	2901	3352	2394	1042	494
	4	49	11	0	0	0	43	0	0	0	0	710	316	202	30	0	346	215	214	22	15	545	1033	569	193	110
	5	62	0	47	53	0	61	13	0	0	0	3751	1467	666	134	88	1752	1372	659	362	87	2833	4332	2877	1100	461
	6	47	0	0	0	0	41	20	0	0	0	884	400	176	14	0	502	222	181	31	87	1254	1891	1119	466	252
	7	36	71	0	0	0	128	0	0	0	0	3983	1396	460	165	76	2601	884	1014	312	125	6062	7406	5372	2080	1103
	8	41	5	0	0	0	52	7	0	0	0	206	132	58	9	0	131	67	51	10	11	250	404	268	106	75
	9	24	47	0	0	0	62	0	0	0	0	4816	1555	759	261	151	2592	1386	711	413	33	6548	7779	6432	3035	1983
	10	21	14	0	0	0	68	0	14	0	0	1254	558	246	51	30	740	425	306	93	39	1070	1897	1028	422	176
	11	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	841	232	134	26	0	892	279	241	93	19	1477	2309	1638	730	323
	12	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	67	5	0	0	0	112	43	27	0	0	300	411	178	90	33
	13	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	76	17	0	0	0	84	10	9	10	0	315	340	176	78	39
	14	12	0	0	0	0	16	0	0	0	0	971	311	312	22	26	877	406	238	114	51	2824	3250	2860	1532	686
	15	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	694	231	89	0	0	928	267	304	56	39	2700	3324	2762	1203	392
	16	40	0	0	0	0	13	0	0	0	0	1249	579	257	37	42	1557	603	462	268	56	4373	5465	3933	1717	646
	17	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	70	31	0	0	0	46	32	24	9	0	203	233	183	112	32
CLASSES DE FAMÍLIAS - RELAÇÕES ENTRE NÚMERO DE MORADORES (1 a 5) E CLASSE DE RENDA (A,BC,D e E)																										
	BDE	1-A	2-A	3-A	4-A	5-A	1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	1-D	2-D	3-D	4-D	5-D	1-E	2-E	3-E	4-E	5-E
MACROZONAS	1	0	1	0	0	0	0	4	7	0	0	0	64	81	30	19	0	50	61	43	15	176	106	340	180	153
	2	0	3	0	0	0	17	21	32	0	0	131	231	128	72	0	58	113	127	55	29	205	362	700	422	330
	3	0	2	0	28	0	1	0	0	0	0	74	104	97	75	9	59	122	134	57	27	331	376	1060	571	484
	4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	30	51	76	15	0	18	34	67	11	11	62	116	252	106	108
	5	0	0	19	33	0	2	3	0	0	0	160	237	253	68	44	91	215	205	174	62	324	486	1274	603	452
	6	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	38	65	67	7	0	26	35	56	15	63	143	212	495	255	247
	7	0	6	0	0	0	4	0	0	0	0	169	225	174	84	38	135	139	316	150	90	693	831	2378	1140	1081
	8	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	9	21	22	5	0	7	10	16	5	8	29	45	119	58	74
	9	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	205	251	288	134	76	134	218	221	198	24	748	873	2848	1663	1943
	10	0	1	0	0	0	2	0	6	0	0	53	90	93	26	15	38	67	95	45	28	122	213	455	231	172
	11	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	36	38	51	13	0	46	44	75	45	14	169	259	725	400	316
	12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	0	0	0	6	7	8	0	0	34	46	79	49	32
	13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	4	2	3	5	0	36	38	78	43	38
	14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	41	50	118	11	13	45	64	74	55	37	323	365	1266	840	672
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	37	34	0	0	48	42	95	27	28	309	373	1223	659	384
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	94	97	19	21	81	95	144	129	40	500	613	1741	941	633
	17	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	5	0	0	0	2	5	7	4	0	23	26	81	62	31
CLASSES DE FAMÍLIAS - RELAÇÕES ENTRE NÚMERO DE MORADORES (1 a 5) E CLASSE DE RENDA (A,BC,D e E)																										
	BDO	1-A	2-A	3-A	4-A	5-A	1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C	1-D	2-D	3-D	4-D	5-D	1-E	2-E	3-E	4-E	5-E
MACROZONAS	1	0	8	0	0	0	0	15	7	0	0	0	346	96	22	13	0	175	75	26	6	1941	707	445	124	82
	2	373	27	0	0	0	579	90	33	0	0	2851	1255	151	52	0	1449	398	156	33	11	2257	2402	917	290	178
	3	49	12	0	16	0	25	0	0	0	0	1611	564	115	55	7	1463	429	165	34	11	3646	2497	1389	393	261
	4	38	8	0	0	0	46	0	0	0	0	657	277	90	11	0	448	119	82	6	4	685	769	330	73	58
	5	49	0	31	19	0	65	11	0	0	0	3471	1285	299	50	31	2266	760	253	104	25	3562	3227	1669	414	243
	6	37	0	0	0	0	44	16	0	0	0	818	351	79	5	0	649	123	69	9	25	1577	1408	649	175	133
	7	28	50	0	0	0	138	0	0	0	0	3686	1223	206	61	27	3363	490	388	90	36	7620	5516	3116	784	582
	8	32	4	0	0	0	56	5	0	0	0	190	115	26	4	0	169	37	19	3	3	314	301	155	40	40
	9	18	33	0	0	0	66	0	0	0	0	4457	1362	340	97	53	3351	768	272	119	9	8231	5795	3732	1143	1046
	10	16	10	0	0	0	73	0	6	0	0	1161	489	110	19	10	957	236	117	27	11	1346	1413	597	159	93
	11	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	778	203	60	10	0	1154	155	92	27	6	1857	1720	950	275	170
	12	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	62	5	0	0	0	145	24	10	0	0	378	306	103	34	17
	13	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	70	15	0	0	0	109	5	3	3	0	396	253	102	30	21
	14	9	0	0	0	0	17	0	0	0	0	898	272	140	8	9	1134	225	91	33	15	3550	2421	1659	577	362
	15	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	642	203	40	0	0	1200	148	117	16	11	3394	2476	1602	453	207
	16	31	0	0	0	0	14	0	0	0	0	1156	507	115	14	15	2013	334	177	77	16	5498	4071	2282	647	341
	17	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	65	27	0	0	0	59	18	9	3	0	255	174	106	42	17

Tabela 5-2: Viagens produzidas por motivo para classes de renda/tamanho da família

MODELOS DE ATRAÇÃO DE VIAGENS

Conforme já comentado na Seção 2 - Planejamento de Transportes, os modelos de atração de viagens têm o objetivo de estimar o total de viagens atraídas, por motivo de viagem, em função das características socioeconômicas e de uso do solo destas zonas.

De acordo com CENTRAL (2003), em seu Relatório 11 – Calibração de Modelos, os modelos de regressão, são os mais utilizados na estimativa dos volumes de viagens atraídas por zona de tráfego em função da alta correlação entre viagens realizadas e as variáveis explicativas tais como empregos, matrículas escolares e renda. Diversos testes estatísticos foram efetuados para avaliar o quanto as variáveis explicativas eram capazes de descrever o comportamento da variável dependente, resultando em alguns modelos lineares definidos para cada zona de tráfego.

Esses modelos foram divididos em nove grupos distintos, ou seja, Base Domiciliar/Trabalho com classes de Renda A e B, Base Domiciliar Trabalho com classes de Renda C, D e E, Base Domiciliar Estudo e Base domiciliar Outros, subdivididos ainda quanto à posse de automóvel. O nono grupo é o de viagens de Base Não Domiciliar.

Dessa forma, as equações lineares definidas estão descritas conforme abaixo:

Motivo 1A - Base Domiciliar Trabalho – Rendas A e B – Sem acesso a automóvel

$$A_i^{1A} = C_1 \times P_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-1)}$$

Onde:

A_i^{1A} = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Trabalho (rendas AB)

C_1 = -0,009820 Estatística t = 9,78

C_3 = 0,070187 Estatística t = 24,84

R_2 ajustado= 0,58

Motivo 1A - Base Domiciliar Trabalho – Rendas A e B – Com acesso a automóvel

$$A_i^{1A} = C_i \times P_i + C_3 \times E_i \quad (\text{Equação 5-2})$$

Onde:

A_i^{1A} = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Trabalho (rendas AB)

C_i = -0,050711 Estatística t = 14,33

C_3 = 0,413117 Estatística t = 41,53

R_2 ajustado= 0,80

Motivo 1B - Base Domiciliar Trabalho – Rendas C, D e E – Sem acesso a automóvel

$$A_i^{1B} = C_i \times P_i + C_3 \times E_i \quad (\text{Equação 5-3})$$

Onde:

A_i^{1B} = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Trabalho (rendas CDE)

C_i = -0,017080 Estatística t = 2,89

C_3 = 1,092892 Estatística t = 65,78

R_2 ajustado= 0,96

Motivo 1B - Base Domiciliar Trabalho – Rendas C, D e E - Com acesso a automóvel

$$A_i^{1B} = C_i \times P_i + C_3 \times E_i \quad (\text{Equação 5-4})$$

Onde:

A_i^{1B} = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Trabalho (rendas CDE)

C_i = -0,01226 Estatística t = 3,76

C_3 = 0,44265 Estatística t = 48,33

R_2 ajustado= 0,87

Motivo 2- Base Domiciliar Estudo - Sem acesso a automóvel

$$A_i^2 = C_i \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-5)}$$

Onde:

A_i^2 = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Estudo

C_i = -0,071500 Estatística t = 5,96

C_2 = 0,790453 Estatística t = 20,27

C_3 = 0,092057 Estatística t = 24,84

R_2 ajustado= 0,76

Motivo 2- Base Domiciliar Estudo – Com acesso a automóvel

$$A_i^2 = C_i \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-6)}$$

Onde:

A_i^2 = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Estudo

C_i = -0,07579 Estatística t = 10,49

C_2 = 0,503936 Estatística t = 14,98

C_3 = 0,137157 Estatística t = 10,30

R_2 ajustado= 0,59

Motivo 3 - Base Domiciliar Outros - Sem acesso a automóvel

$$A_i^3 = C_i \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-7)}$$

Onde:

A_i^3 = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Outros

C_i = -0,08398 Estatística t = 5,83

C_2 = 0,418982 Estatística t = 6,26

C_3 = 0,538543 Estatística t = 20,32

R_2 ajustado= 0,69

Motivo 3 - Base Domiciliar Outros – Com acesso a automóvel

$$A_i^3 = C_i \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-8)}$$

Onde:

A_i^3 = Atração da zona i de viagens Base Domiciliar Outros

C_i = -0,03784 Estatística t = 5,43

C_2 = 0,177750 Estatística t = 5,48

C_3 = 0,330469 Estatística t = 25,75

R_2 ajustado= 0,75

Motivo 4 – Base Não Domiciliar

$$A_i^4 = C_i \times P_i + C_2 \times M_i + C_3 \times E_i \quad \text{(Equação 5-9)}$$

Onde:

A_i^4 = Atração da zona i de viagens Base Não Domiciliar

C_i = -0,010570 Estatística t = 3,92

C_2 = 0,051290 Estatística t = 4,39

C_3 = 0,123623 Estatística t = 24,86

R_2 ajustado= 0,69

Com base nos dados de População, Emprego e Matrícula Escolar encontrada no banco de dados Socioeconômico produzido para o PDTU, foram encontradas as viagens atraídas por zona de tráfego.

DESCRIÇÃO ESPACIAL DOS DADOS

Uma vez obtido os dados de produção e atração de viagens, tomando como referência os modelos produzidos pelo PDTU, foi efetuada a espacialização de cada variável encontrada, de modo e permitir a sua visualização para observar como cada variável se dispersa no espaço, verificando previamente o comportamento delas. Através da visualização do arranjo espacial dos dados experimentais que se faz o planejamento dos

parâmetros fundamentais para o cálculo dos variogramas: direções, classes de ângulos e distâncias.

Os mapas a seguir apresentam as variáveis analisadas em Atração e Produção de viagens, com a classificação dividida em 5 classes cada, sendo o percentual do total de cada uma delas. Conforme já visto anteriormente, as variáveis de atração foram distribuídas entre as 85 zonas de tráfego adotadas pelo PDTU, bem como os dados de Produção, distribuídas entre as 17 macrozonas.

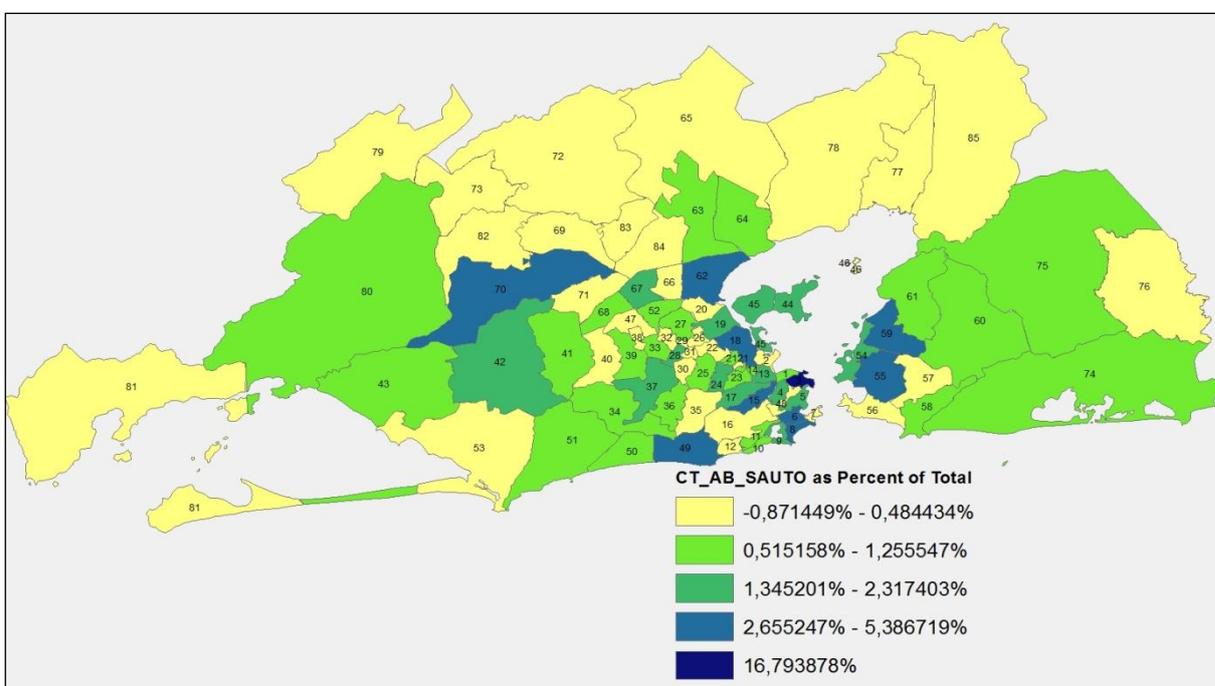


Figura 5-7: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda A e B, sem acesso a automóvel

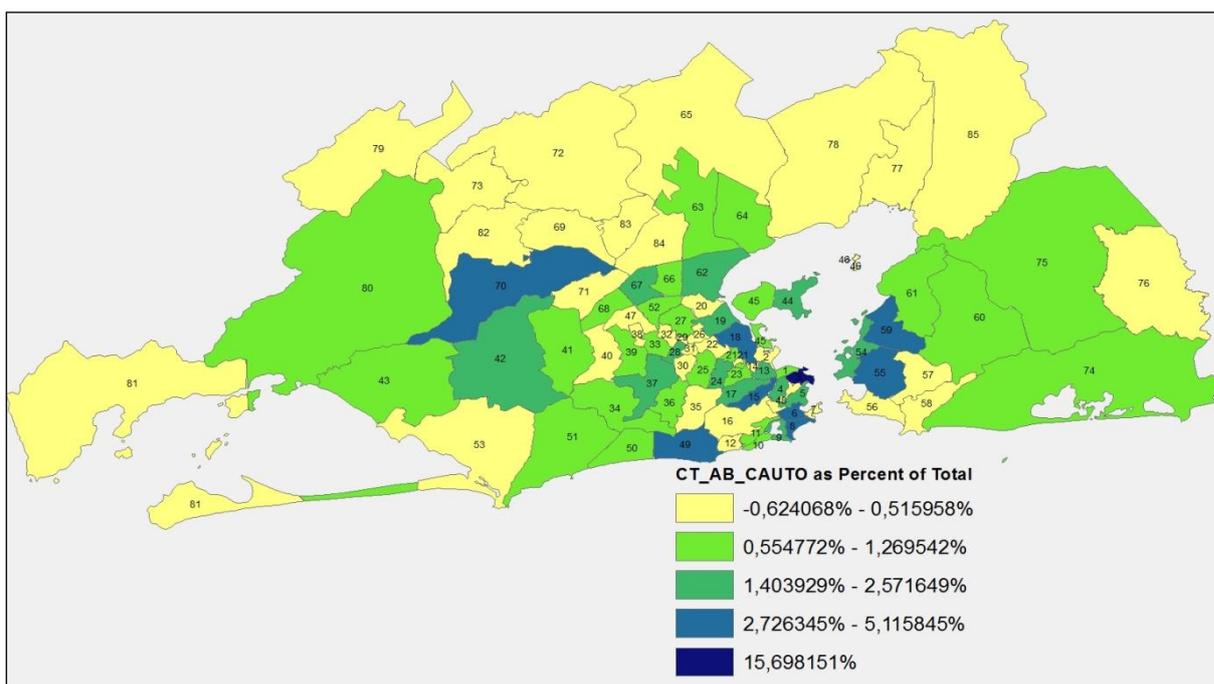


Figura 5-8: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda A e B, com acesso a automóvel

Os mapas de atração de viagens por motivo de viagem Casa-Trabalho, para as classes de renda mais alta – A e B não possuem significativa variação entre o uso ou não de automóvel. Nota-se que as regiões do Centro da Cidade do Rio de Janeiro, Barra da Tijuca e Niterói/São Gonçalo se caracterizam como regiões mais significativas, o que corrobora com o número de empregos nestas regiões. Também é possível notar regiões como Jacarepaguá- RJ e a região norte do Rio de Janeiro e Duque de Caxias como significativa, por serem grandes centros de comércio varejista.

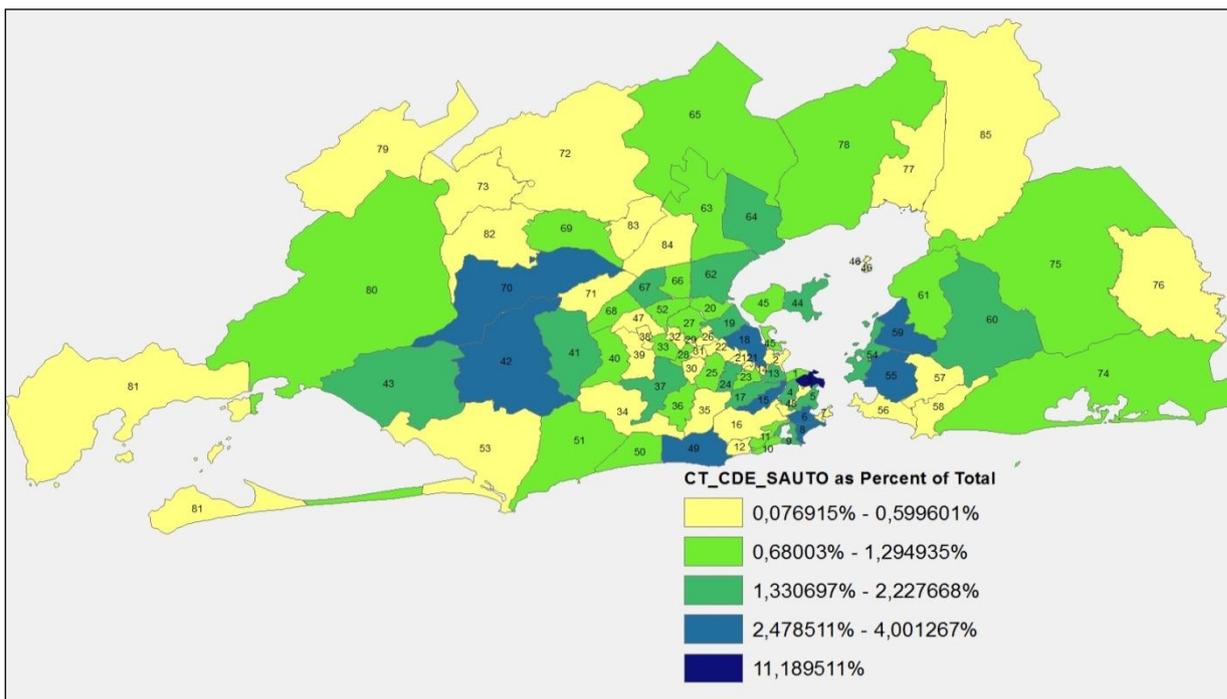


Figura 5-9: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda C, D e E, sem acesso a automóvel

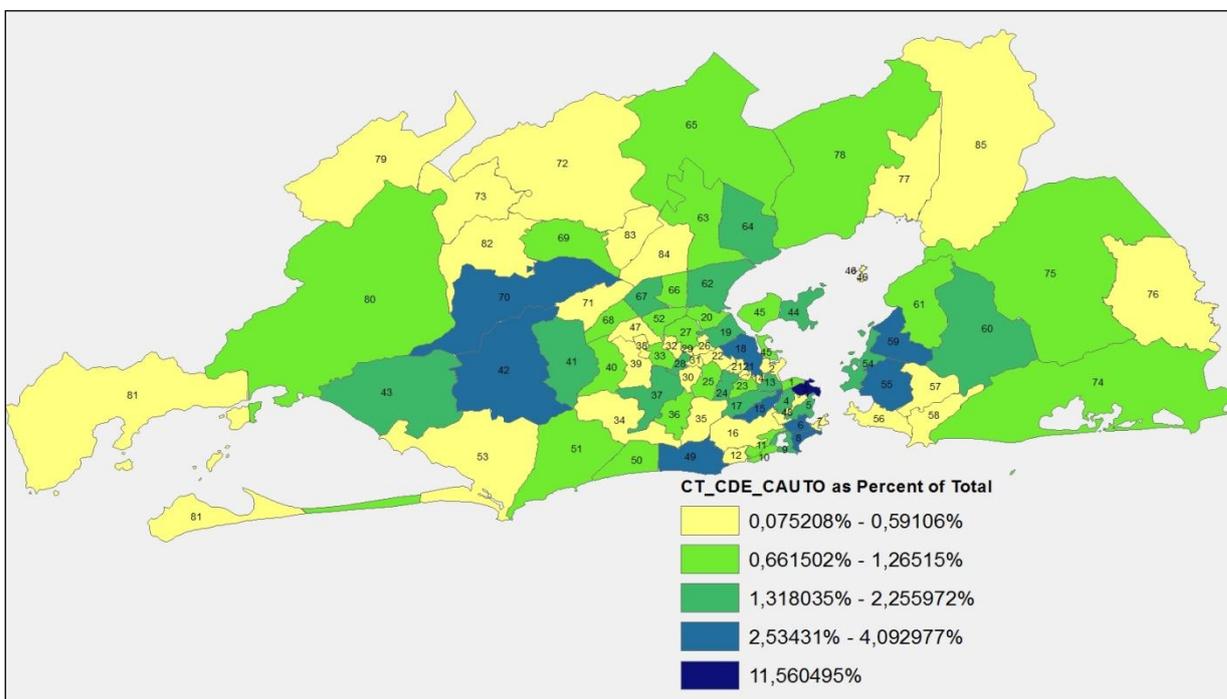


Figura 5-10: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – trabalho, renda C, D e E, com acesso a automóvel

Nos mapas de atração de viagem para as classes de renda C, D e E, também é possível notar grande semelhança entre o uso ou não de automóvel, o que denota que este elemento tem pouca representatividade para as taxas de atração de viagens. Para estas classes de renda, em comparação com os mapas das classes mais altas, nota-se que há uma maior distribuição na região metropolitana, que pode ser explicado pela oferta de empregos de baixa renda nas regiões mais pobres da metrópole, como Itaguaí, Maricá, Seropédica e a Baixada Fluminense.

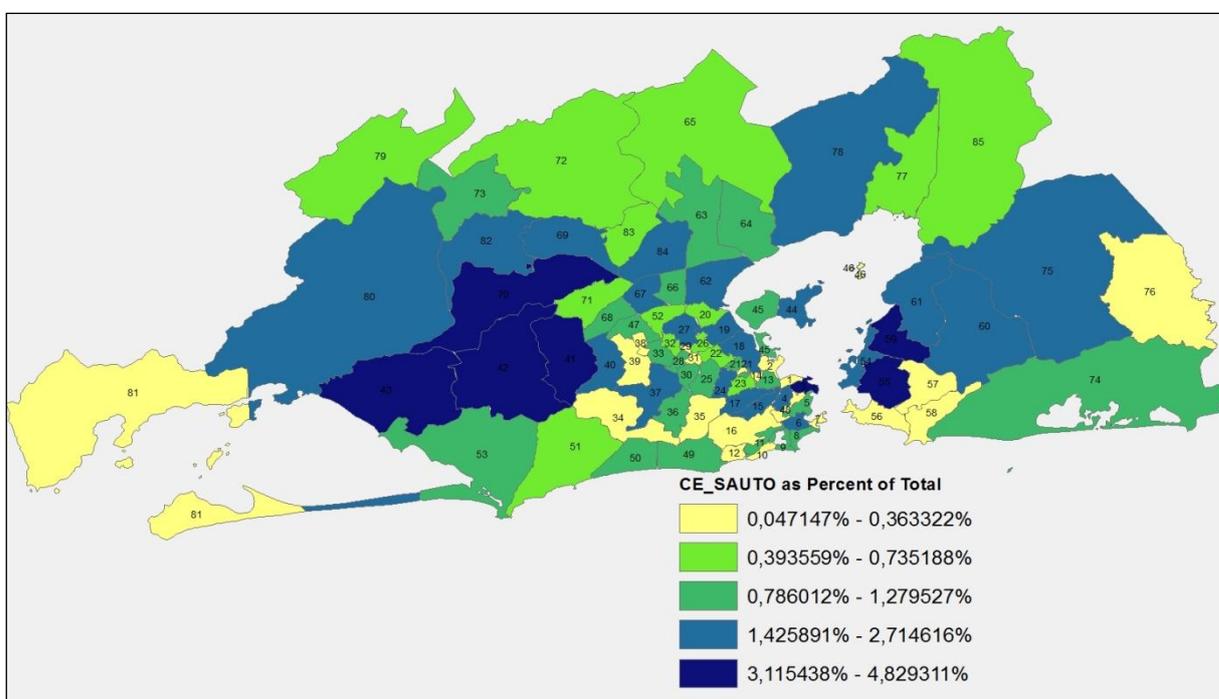


Figura 5-11 : Mapa da Atração de viagens motivo casa – estudo, sem acesso a automóvel

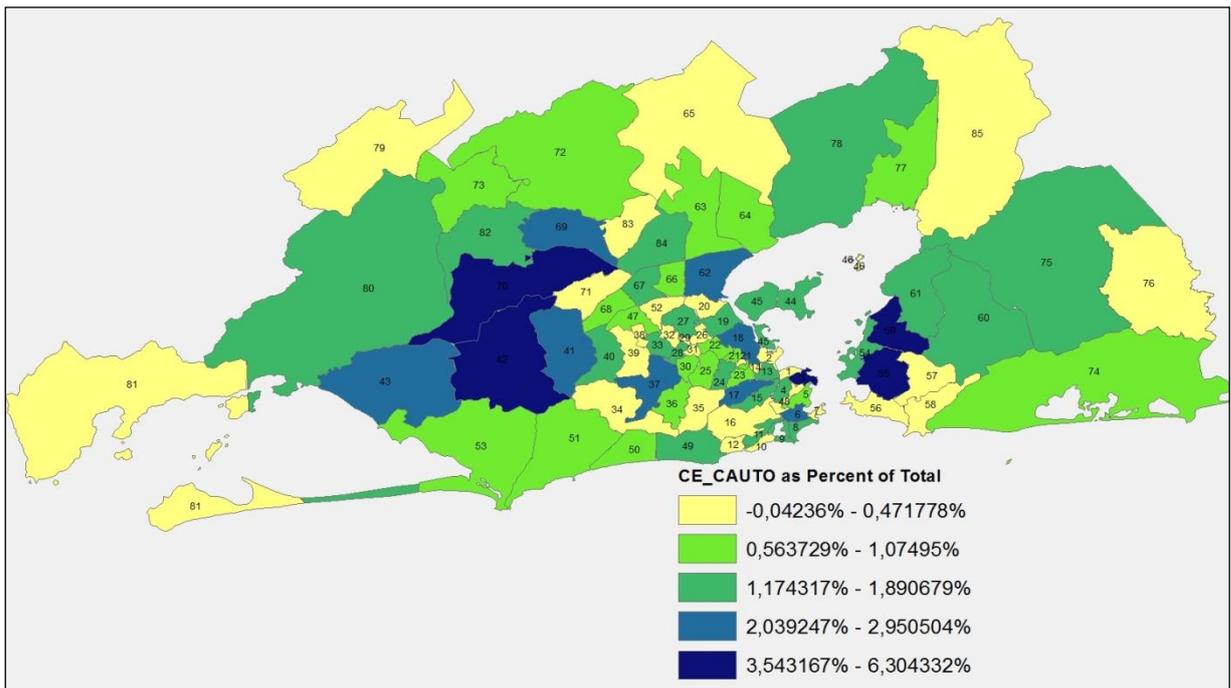


Figura 5-12: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – estudo, com acesso a automóvel

No caso da atração de viagens por motivo Casa – Estudo nota-se uma grande concentração de viagens para as regiões de Campo Grande, no município do Rio de Janeiro e na região de Niterói / São Gonçalo. Esse dado se explica devido a grande concentração populacional nestas regiões e a grande oferta de matrículas escolares, conforme visto na Figura 5-4 e Figura 5-5.

Também é possível notar uma maior distribuição das viagens atraídas sem automóvel, em comparação com as viagens com o uso deste modo, que pode ser atribuído a gratuidade oferecida aos estudantes no transporte para as instituições de ensino.

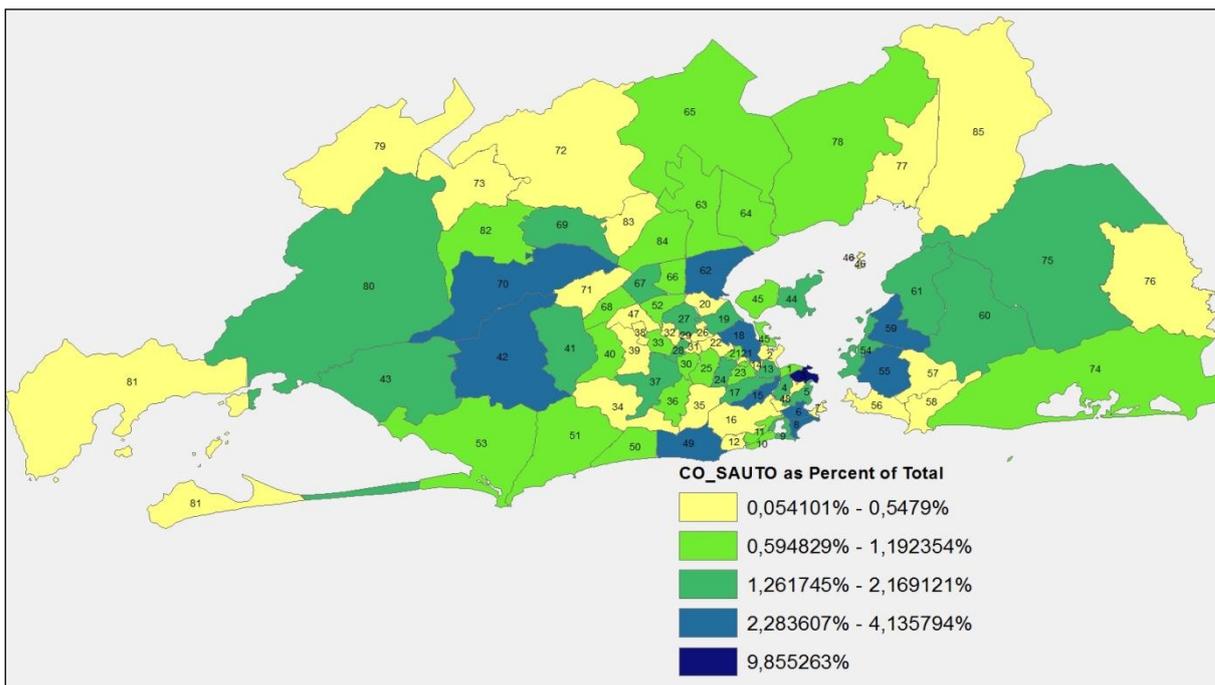


Figura 5-13: Mapa da Atração de viagens por motivo Casa – Outros Destinos, sem acesso a automóvel

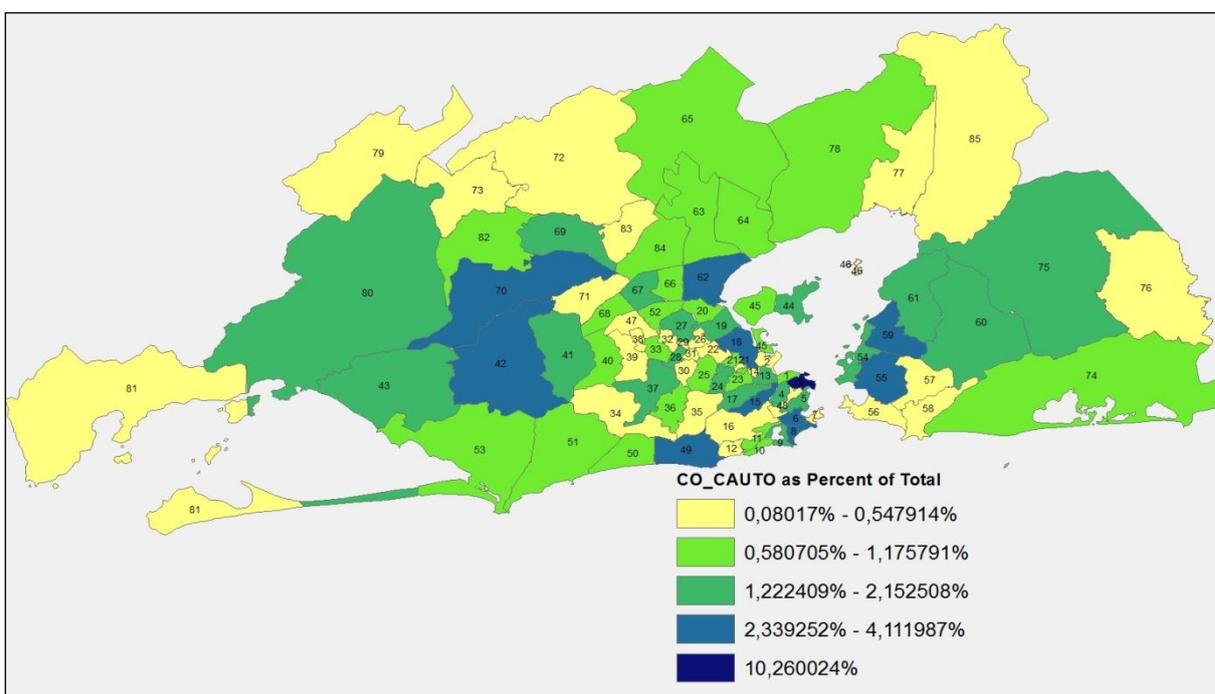


Figura 5-14: Mapa da Atração de viagens por motivo casa – outros destinos, com acesso a automóvel

Nota-se, para os motivos de viagem casa – outros destinos, que continua uma concentração na atratividade das viagens para as regiões de maior oferta de serviço, o que é natural devido, principalmente a característica destas regiões, como é o caso do Centro da Cidade do Rio de Janeiro, Niterói/ São Gonçalo, que dispõem de muitos tipos de serviço como escritórios e clinicas. É notável também a região de Duque de Caxias, por concentrar grande parte dos serviços de qualidade na Baixada Fluminense e na região da Barra da Tijuca e Zona Sul do Rio de Janeiro, pelas atividades de entretenimento e comercio varejista e por concentrar a população de mais alta renda.

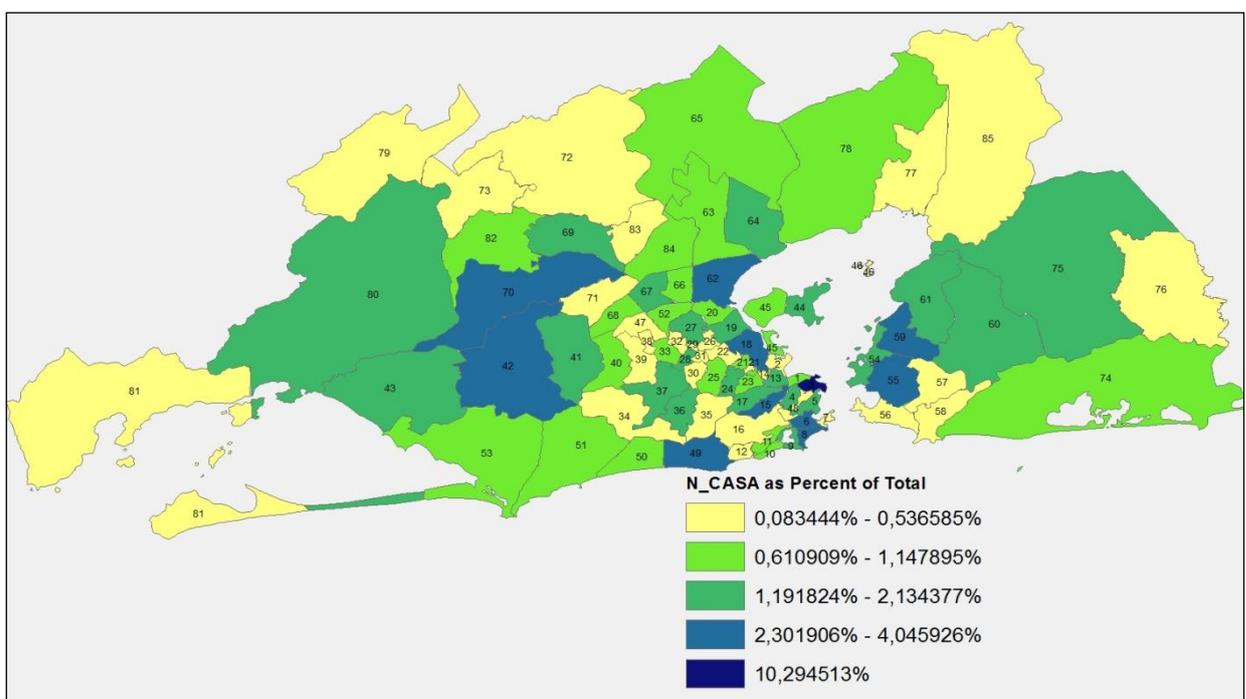


Figura 5-15: Mapa da Atração de viagens de base não domiciliar

O mapa de atração de viagens com base não-domiciliar apresenta uma característica espacial semelhante aos apontados nas bases Casa – Trabalho e Casa – Outros, devido, principalmente, a grande concentração de usos, seja de lazer, comercial ou institucional, nas regiões já descrita nos outros casos.

De modo geral, para os casos de atratividade analisados, os valores aumentam à partir do centro da cidade e se espalham radialmente, com alguns pontos altos nas regiões da Barra da Tijuca, Niterói/ São Gonçalo, centro de Duque de Caxias e Campo Grande. Mesmo na variável não-base-familiar, esse comportamento é notado. Tais regiões não são centrais, no entanto apresentam taxas de empregos no setor de comércio e indústria muito alta, isto pode justificar valores altos tanto de atração de viagens por modo de transporte motorizado ou motivo de trabalho no comércio, por exemplo.

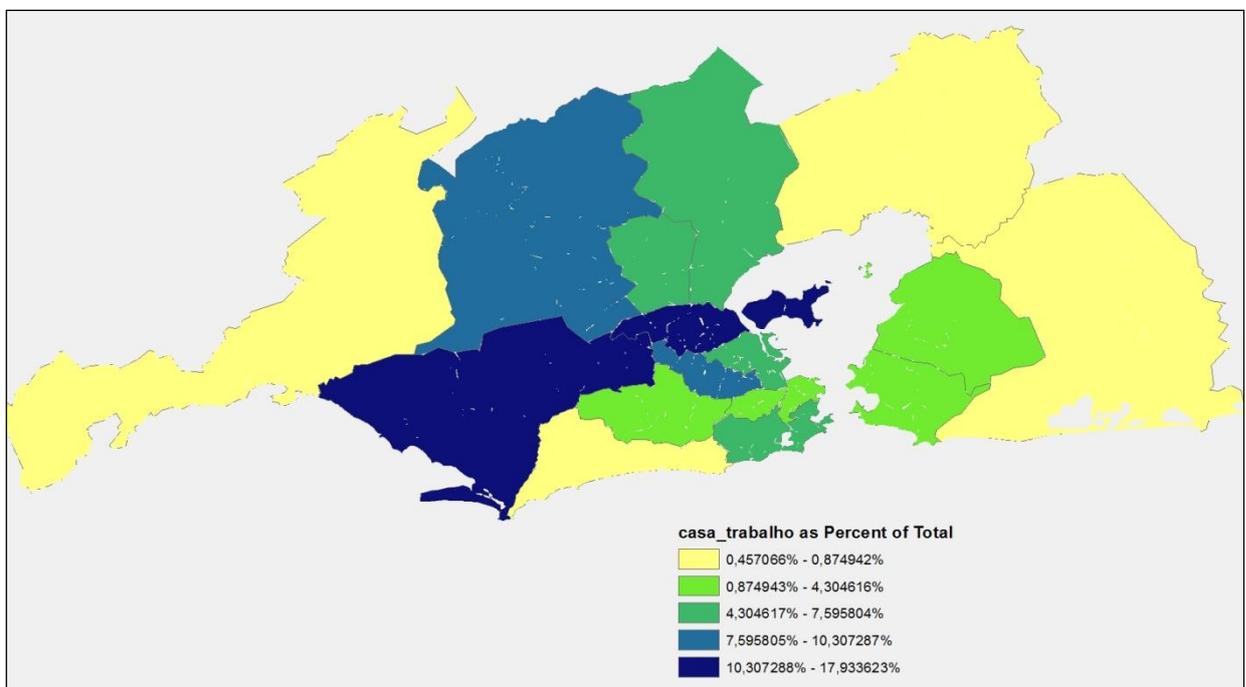


Figura 5-16: Mapa da Produção de viagens por motivo casa - trabalho

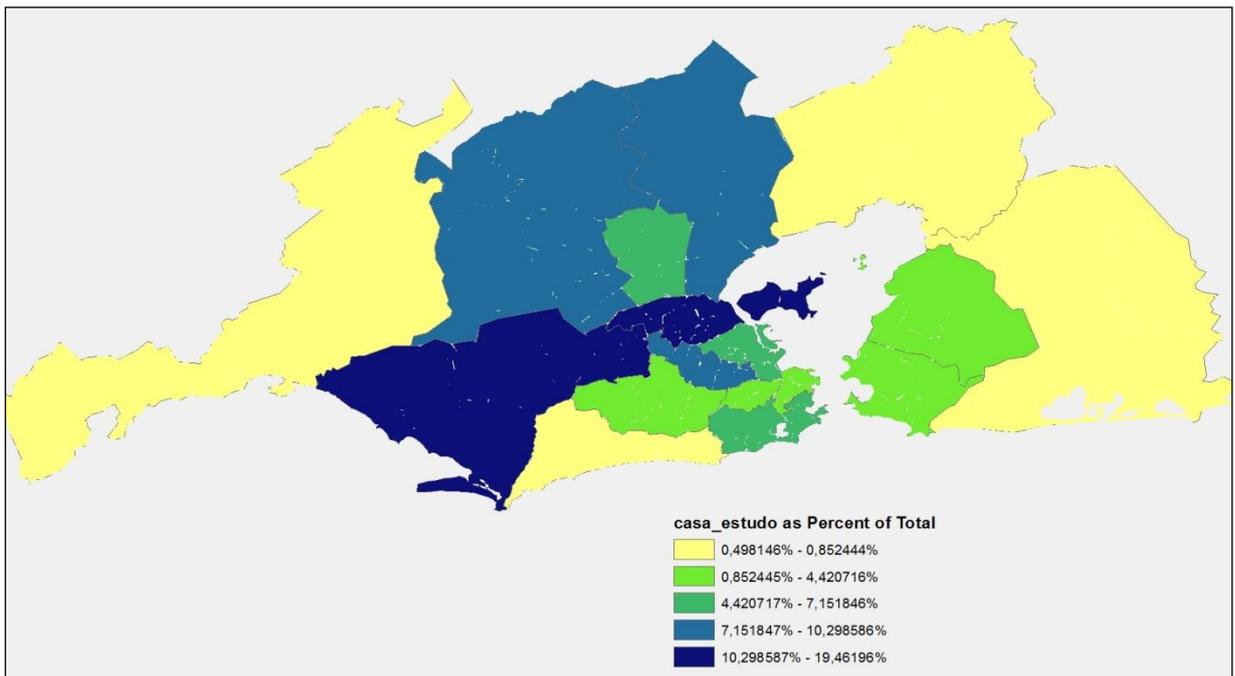


Figura 5-17: Mapa da Produção de viagens por motivo casa – estudo

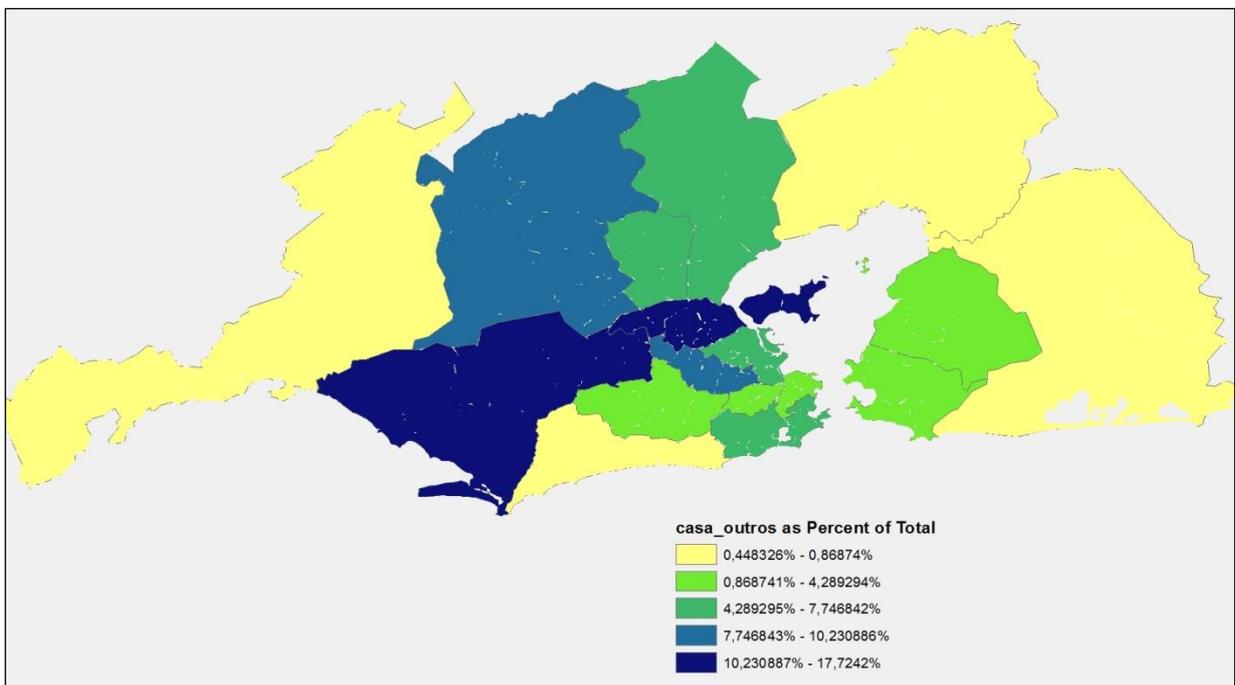


Figura 5-18: Mapa da Produção de viagens por motivo casa – outros destinos

De forma geral, os mapas de produção de viagens possuem um padrão espacial bastante similar entre os modos estudados, Casa – Trabalho, Casa – Estudo e Casa – Outros , sendo esperado para a RMRJ. Essa característica pode ser explicada pelo fato de que as variáveis que descrevem a produção de viagens demonstram que as regiões mais populosas estão entre as de maior produção e concentram-se no entorno da região do centro da cidade e zona sul do Rio de Janeiro e na região central de Niterói.

CÁLCULO DOS VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS

O variograma experimental permite caracterizar o comportamento espacial das variáveis regionalizadas, identificando direções preferenciais no espaço (anisotropia), ou não (isotropia). A nuvem de Semivariograma permite que sejam examinadas a autocorrelação espacial entre os pontos medidos.

A autocorrelação espacial é uma correlação estatística entre variáveis espaciais, onde a correlação depende da distância e/ou direção que separam as localizações. Considera-se que localizações próximas têm valores ou comportamentos similares, isso é uma autocorrelação espacial positiva.

Dessa forma, foram geradas variogramas para todas as variáveis estudadas, bem como para produção e atração total de viagens, conforme apresentado nas figuras a seguir. No eixo y é representada a semivariância enquanto que no eixo x as distâncias entre os pares localizados. Cada ponto no gráfico representa um par de posições, sendo cada valor no eixo y representa a diferença quadrada entre os valores das localizações.

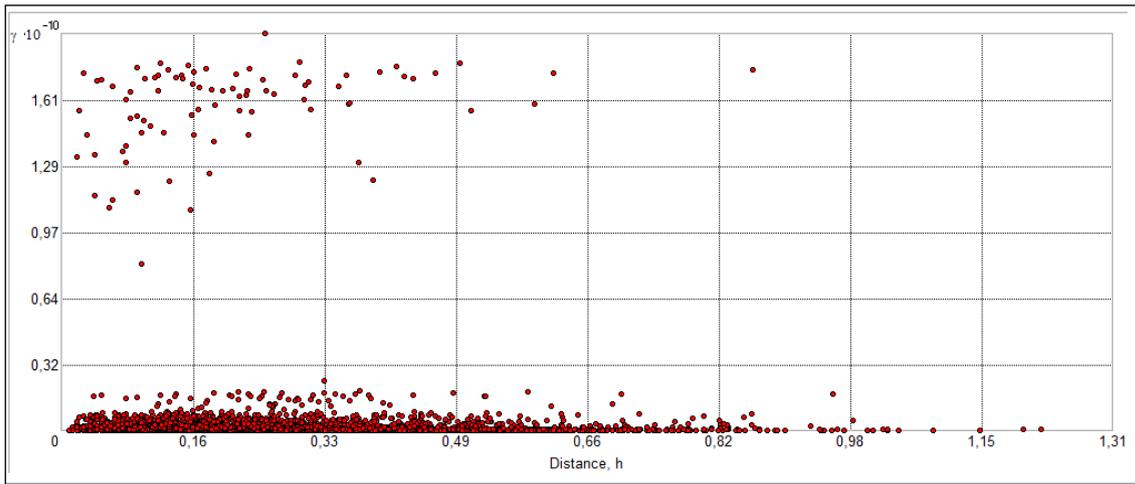


Figura 5-19: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda AB, com uso de automóvel

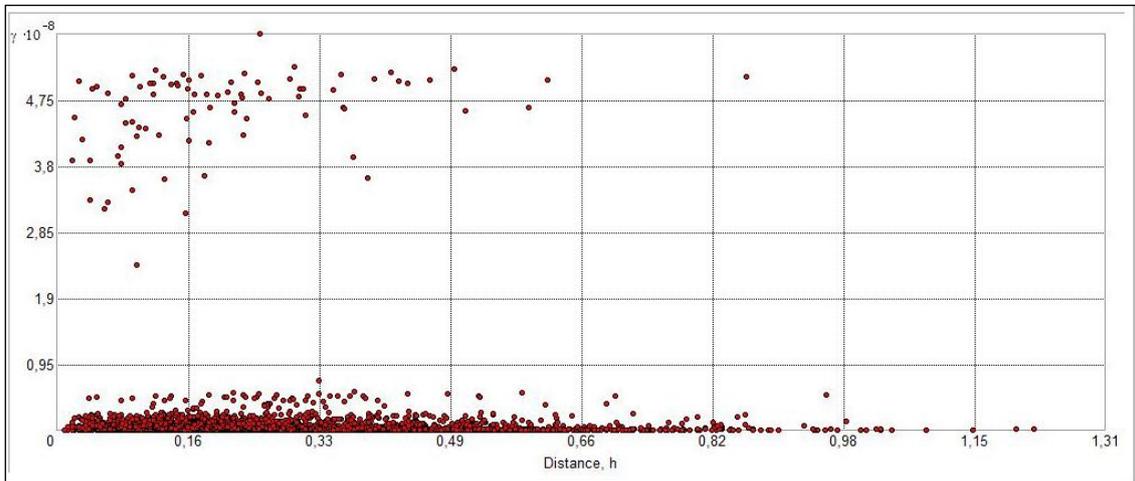


Figura 5-20: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda AB, sem automóvel

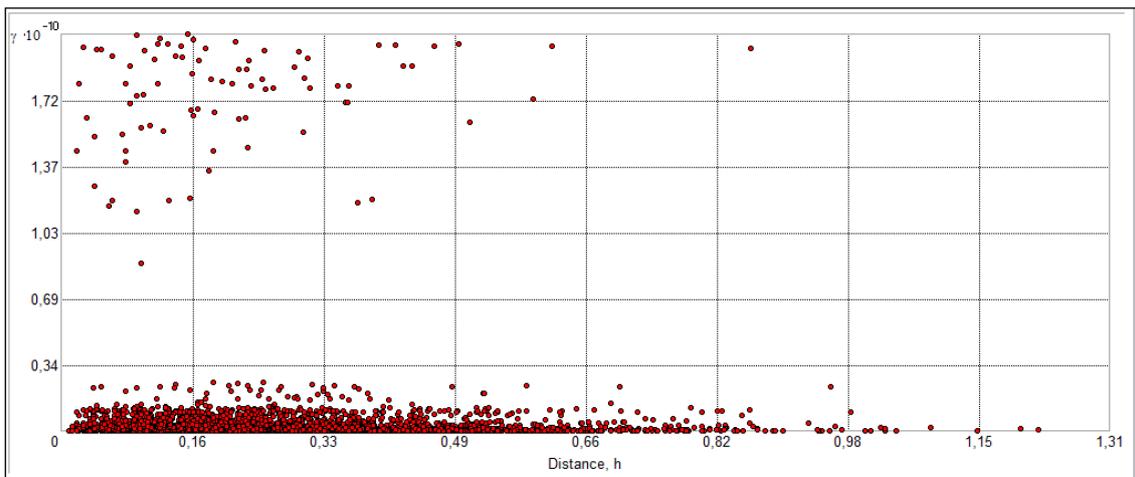


Figura 5-21: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda CDE, com automóvel

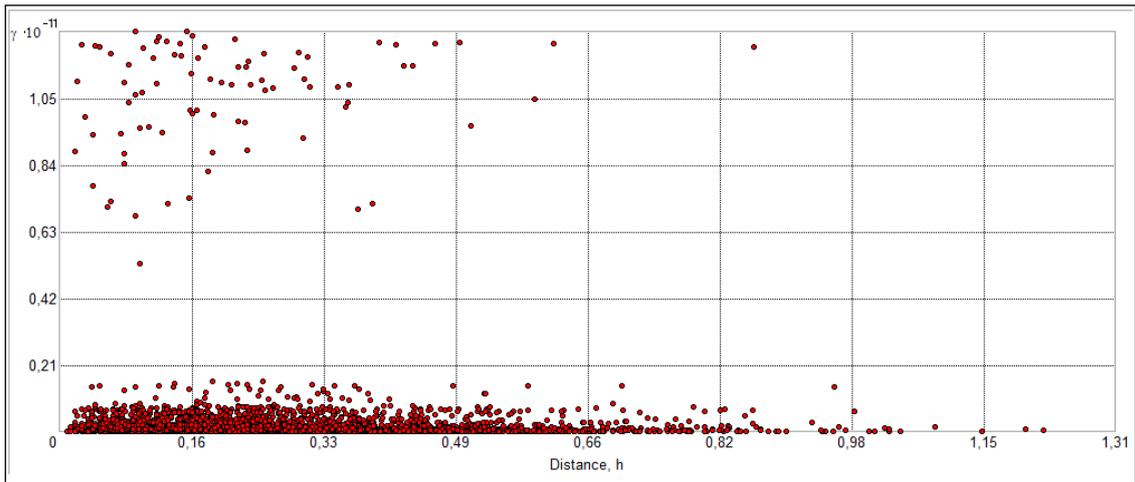


Figura 5-22: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-trabalho, renda CDE, sem automóvel

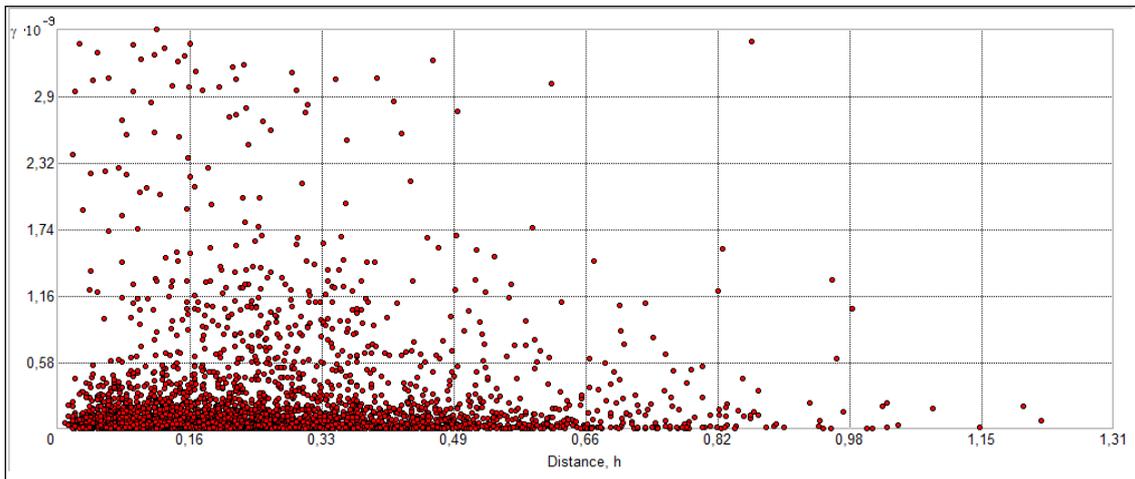


Figura 5-23: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-estudo, com automóvel

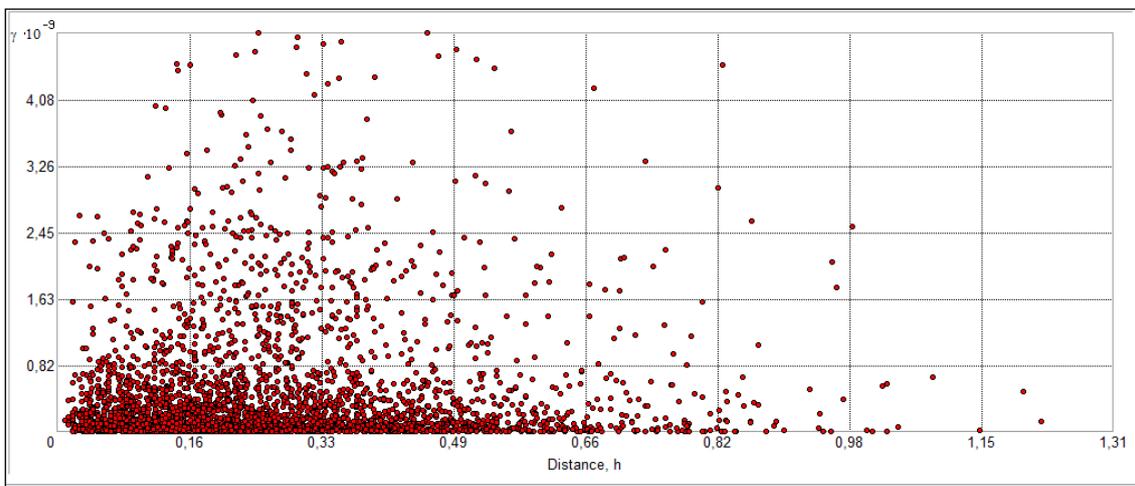


Figura 5-24: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-estudo, sem automóvel

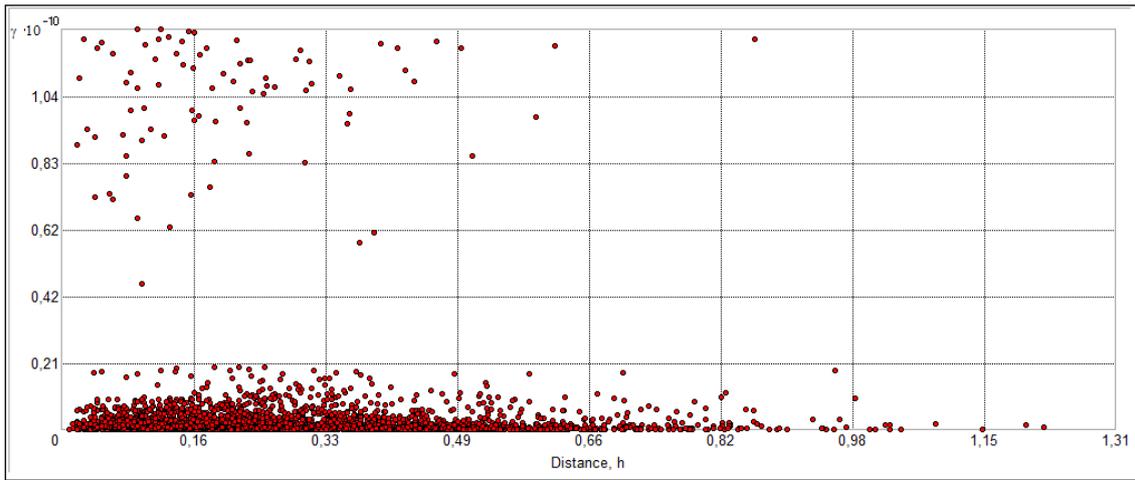


Figura 5-25: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-outras destinos, com automóvel

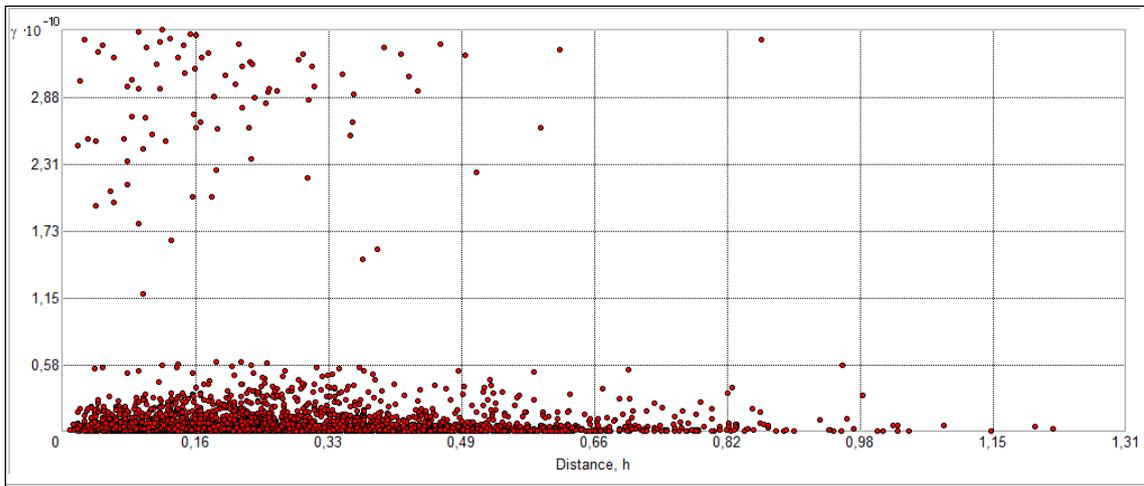


Figura 5-26: Semivariograma da variável Atração, motivo casa-outras destinos, sem automóvel

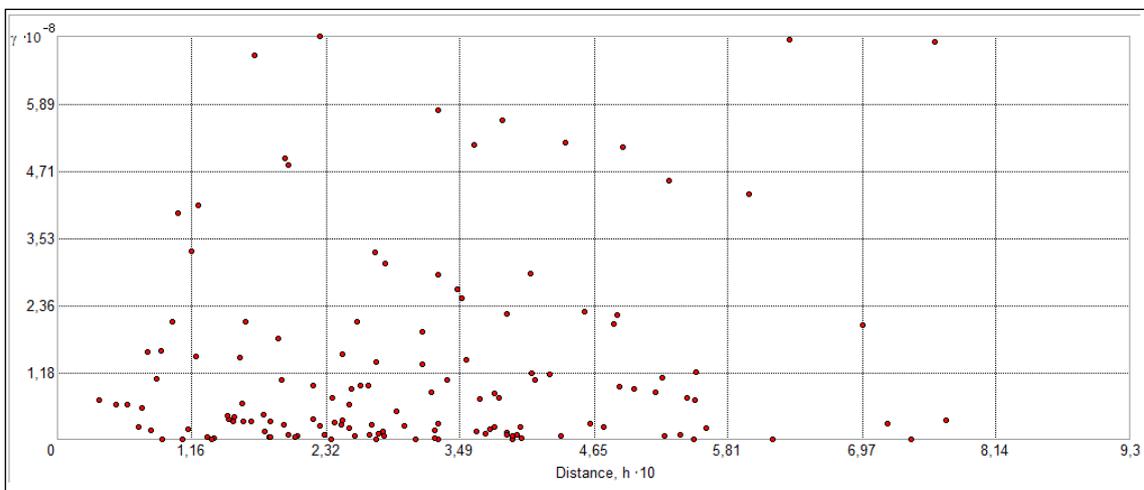


Figura 5-27: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-trabalho

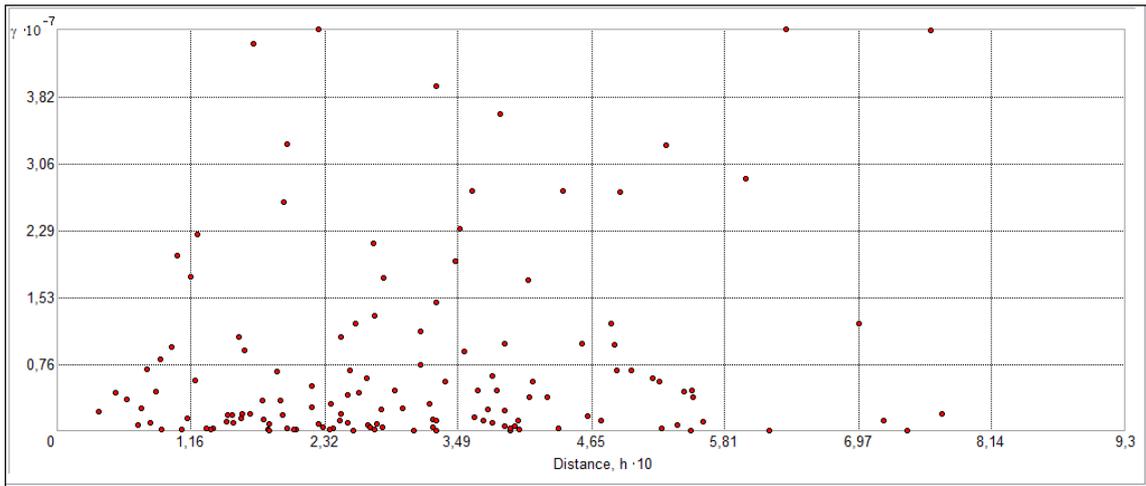


Figura 5-28: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-estudo

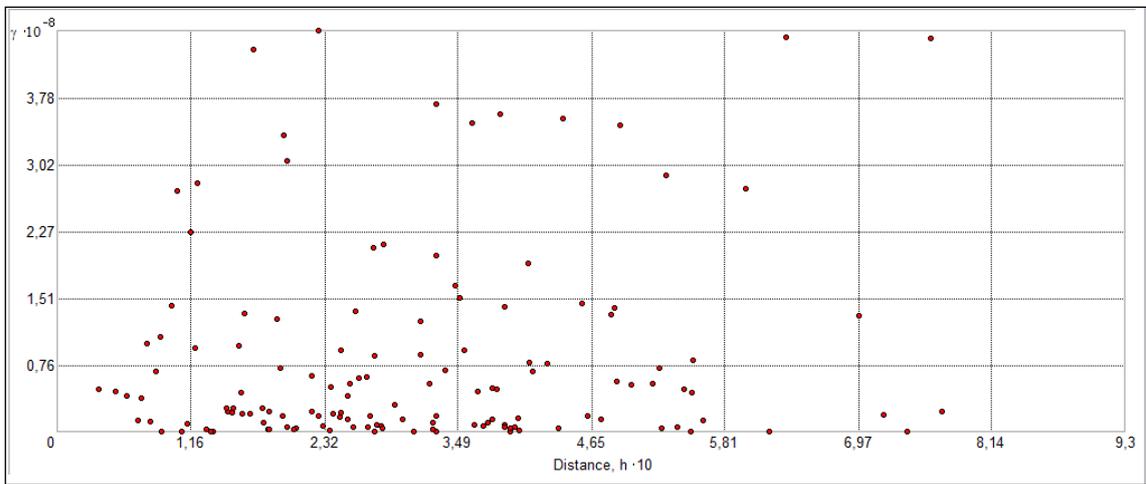


Figura 5-29: Semivariograma da variável Produção de Viagens, motivo casa-outros destinos

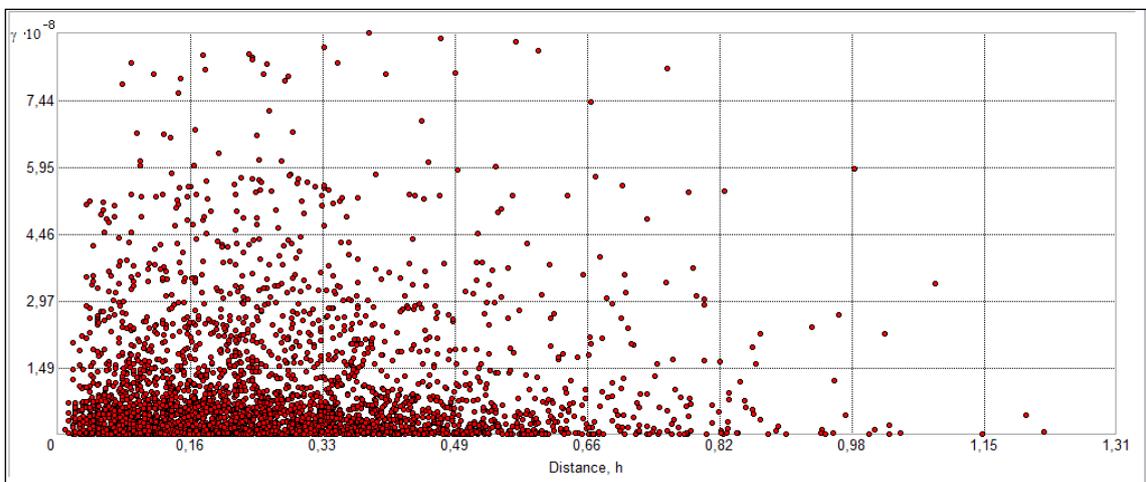


Figura 5-30: Semivariograma da variável Produção total de Viagens

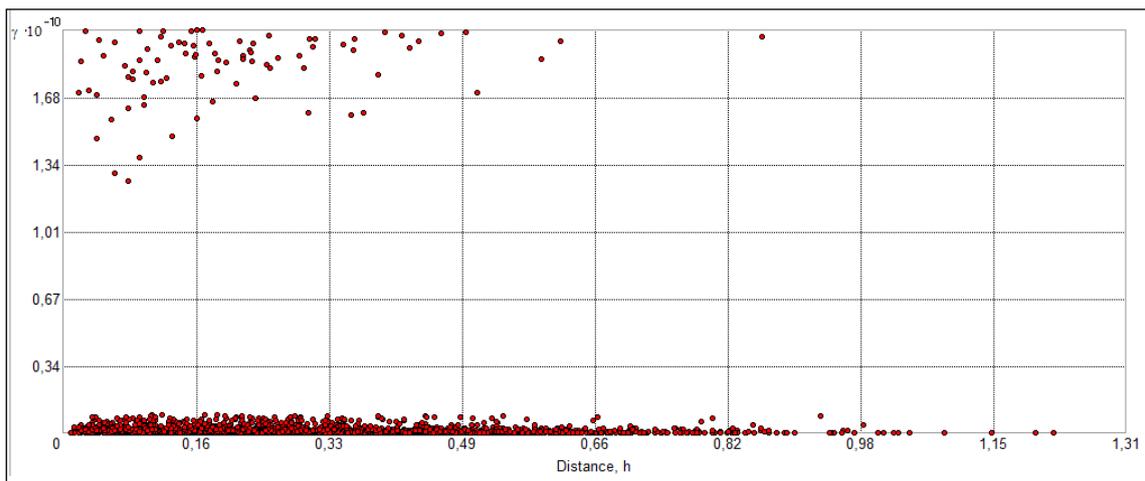


Figura 5-31: Semivariograma da variável Atração total de Viagens

O princípio da autocorrelação espacial nos mostra que os pares de pontos que estão próximos em distância deveriam ter valores próximos. Nos gráficos, isto significa que os pontos em vermelho que estão próximos a zero no eixo x devem estar próximos a zero também no eixo y. Quanto mais próximos os pontos, menor é a diferença de valores entre eles. Quando a diferença entre os pontos aumenta, os valores do semivariograma no eixo y tem uma tendência de crescimento.

Para o caso das variáveis analisadas neste estudo, foi observado que existe aparentemente um comportamento espacial similar para todas as direções, o que se caracterizou como isotrópicos, ou seja, a partir de qualquer direção analisada as variáveis relativas à produção e atração de viagens aumentam de valor da periferia para o centro.

Nas variáveis de atração de viagens, principalmente nos motivos casa-trabalho, observa-se uma dispersão de uma parcela dos pares de pontos em relação ao eixo y, que referem-se a correlação do centro da cidade do Rio de Janeiro com as demais zonas, o que é pertinente dada a forte atratividade que esta região possui com as demais regiões da metrópole e esse efeito pode ser notado em todas as direções.

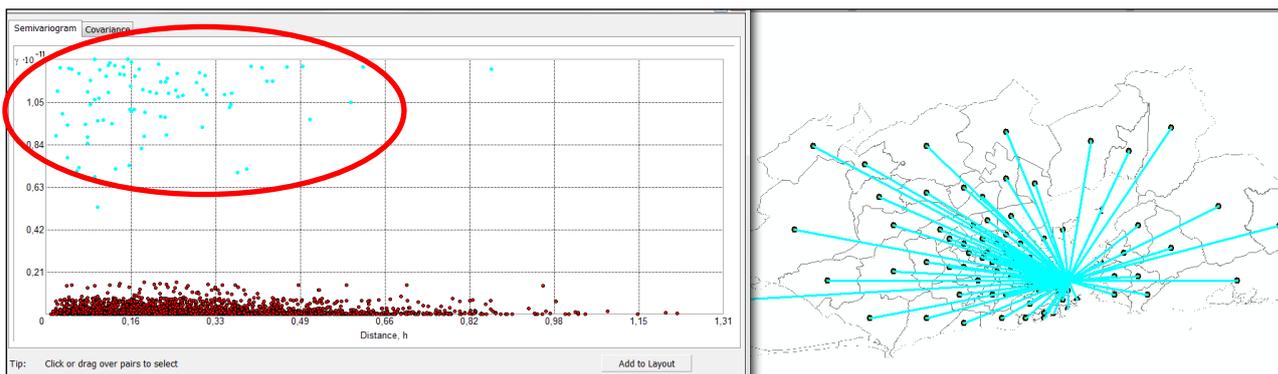


Figura 5-32: Representação espacial da região do semivariograma para os pontos medidos a partir do Centro da Cidade do Rio de Janeiro.

Em todos os casos observa-se uma forma aproximada de parábola, ou seja, a dependência espacial cresce até certo ponto atingindo o máximo (periferia para o centro) e depois de certa distância diminui até que seja nula. Essa característica é importante para a determinação dos modelos que melhor se ajustam para o uso da krigagem.

MODELAGEM DOS VARIOGRAMAS TEÓRICOS

Depois de escolhidos os parâmetros das direções a estudar, é necessário transpor toda essa informação para uma função geral representativa. Sendo assim, é necessário o ajuste dos variogramas experimentais a uma função geral, sendo esta etapa importante no processo de estimação, pois para a krigagem, são considerados os parâmetros das curvas ajustadas dos variogramas.

Conforme já visto nos capítulos anteriores referente a conceituação da geoestatística, existem funções interpoladoras que têm um número reduzido de parâmetros (sendo a sua escolha limitada às que fornecem soluções estáveis). As figuras a seguir procederam-se ao ajuste do variograma teórico (do tipo exponencial), definindo-se a sua

estrutura: efeito de pepita ou *nugget* (C0), patamar ou *Sill* (C1) e amplitude ou *range* (a).

Concluído o ajustamento do variograma teórico para todas as variáveis e direções, é possível selecionar qual a direção principal (a que corresponde uma maior continuidade espacial e a que foi ajustada com maior amplitude) e secundária (a que corresponde a menor amplitude). Para o caso das variáveis analisadas no trabalho, é possível afirmar que as mesmas têm comportamento isotrópico.

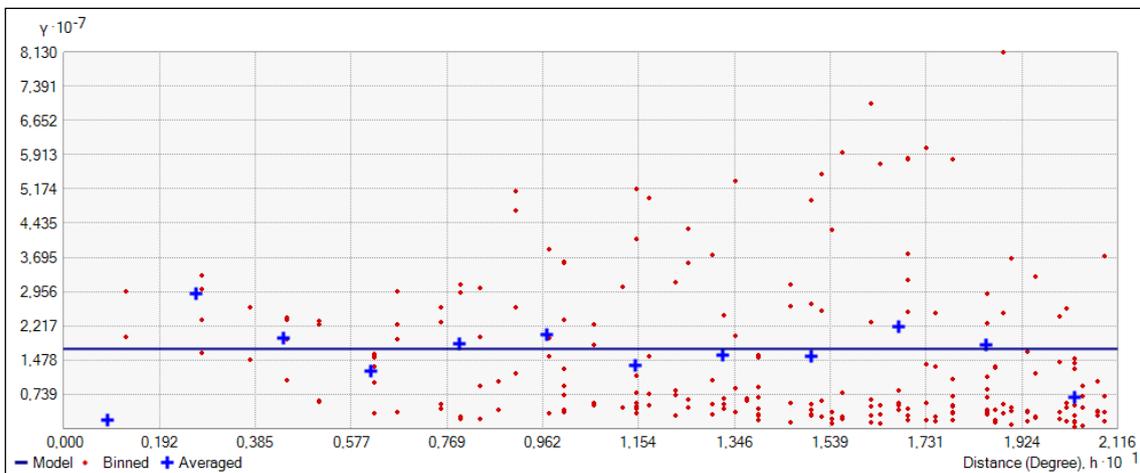


Figura 5-33: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – trabalho, renda AB, sem acesso a automóvel

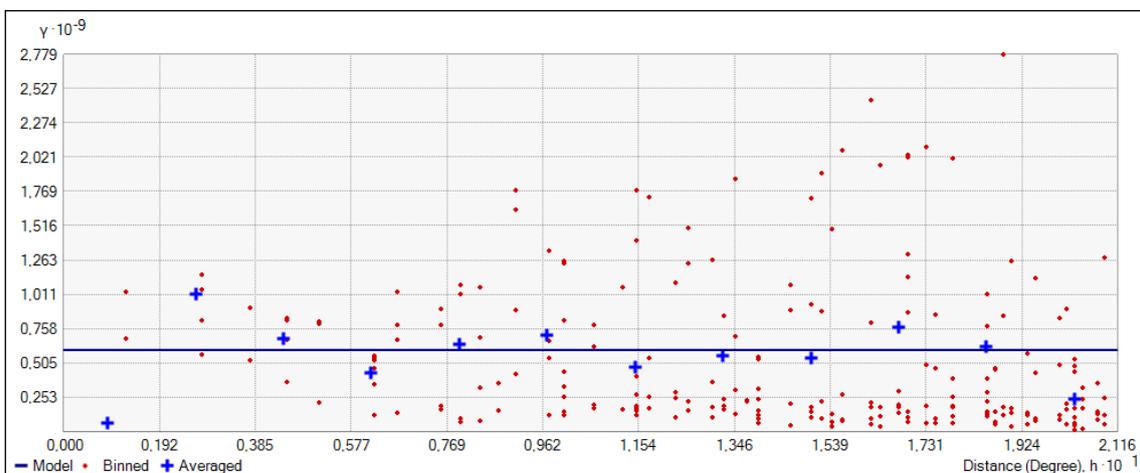


Figura 5-34: Variograma Modelado para a Variável Atração de Viagem motivo casa – trabalho, renda AB, com acesso a automóvel

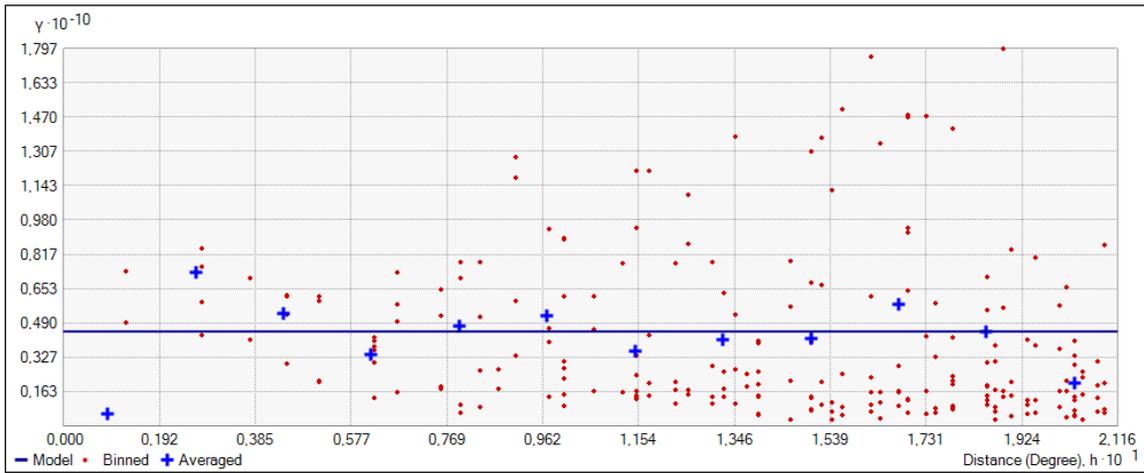


Figura 5-35: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa trabalho, renda CDE, sem uso de automóvel

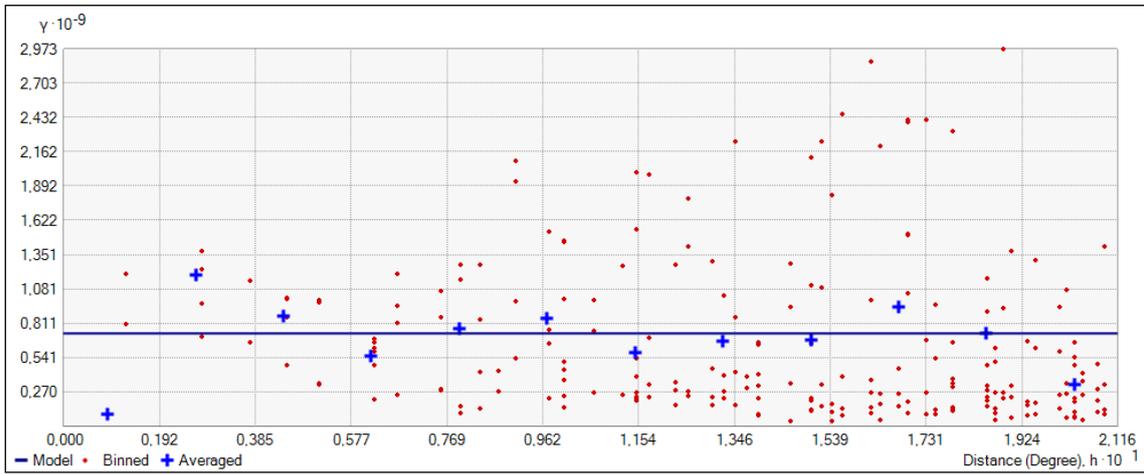


Figura 5-36: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – trabalho, renda CDE, com uso de automóvel

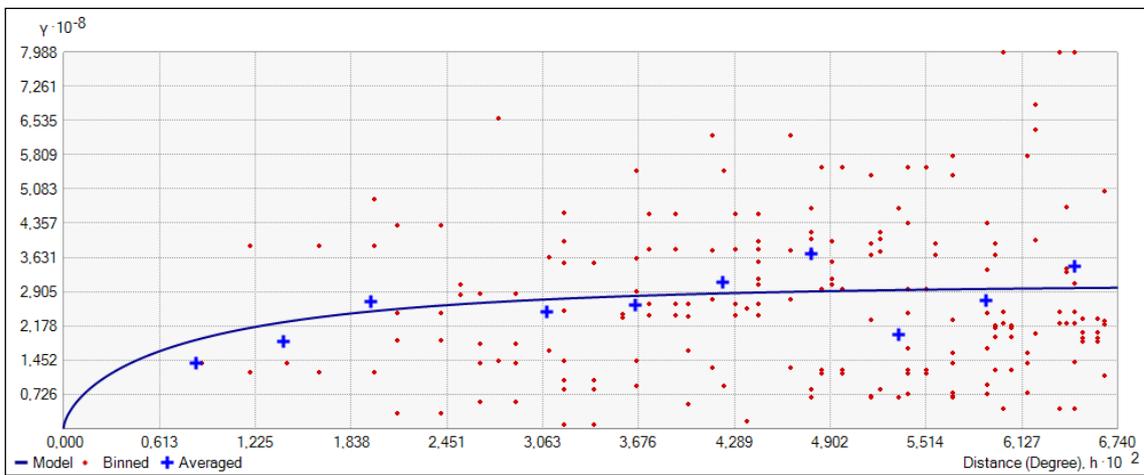


Figura 5-37: Variograma Modelado para a Variável Atração de Viagem motivo casa – escola, sem uso de automóvel

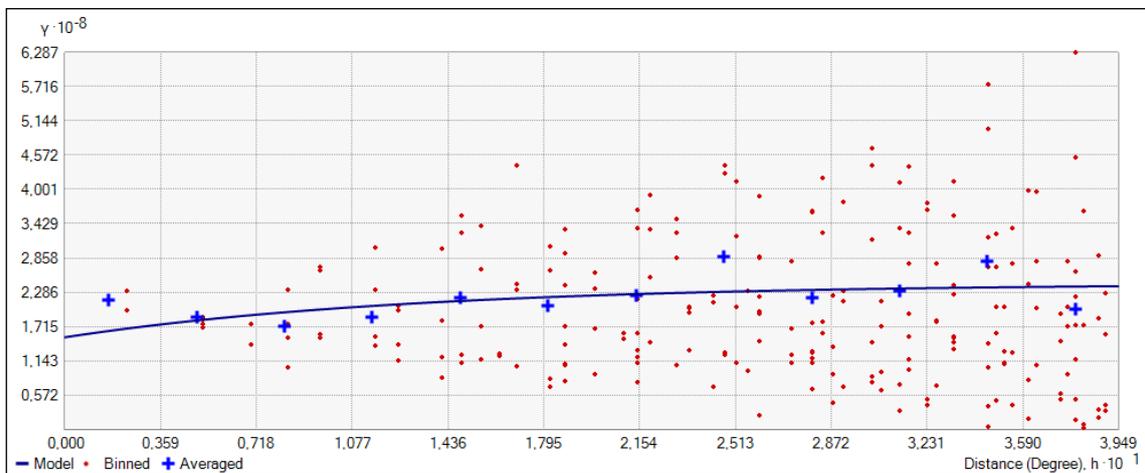


Figura 5-38: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – escola, com uso de automóvel

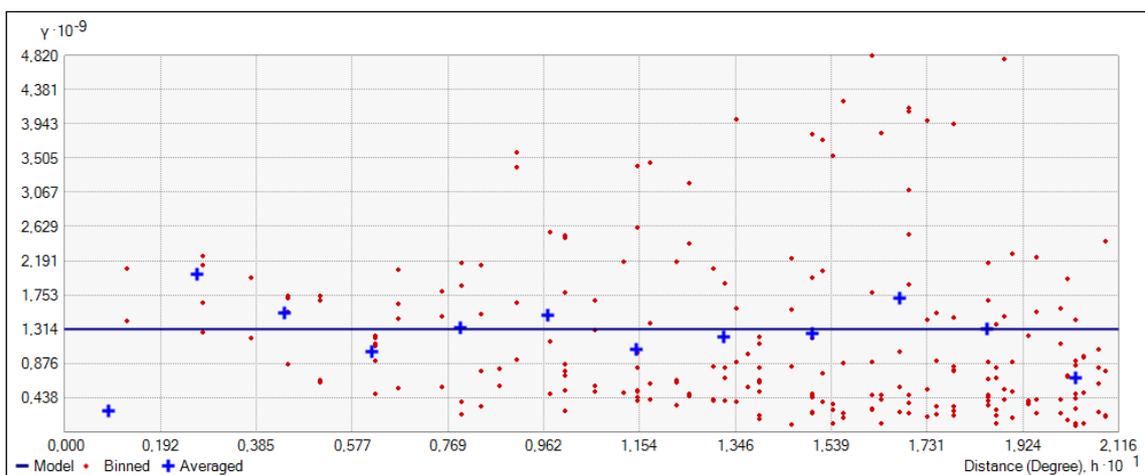


Figura 5-39: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem motivo casa – outro, sem uso de automóvel

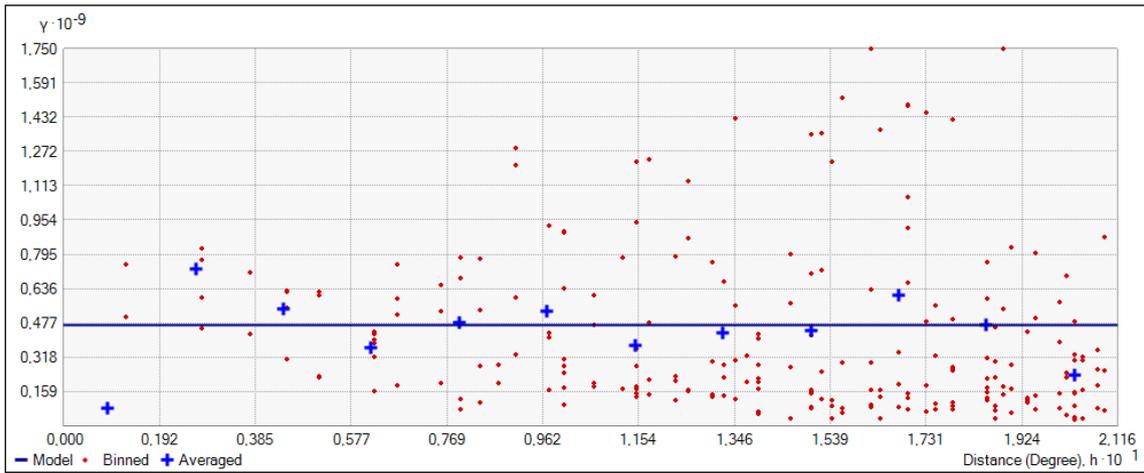


Figura 5-40: Variograma Modelado para a Variável Alteração de viagem motivo casa – outro, com uso de automóvel

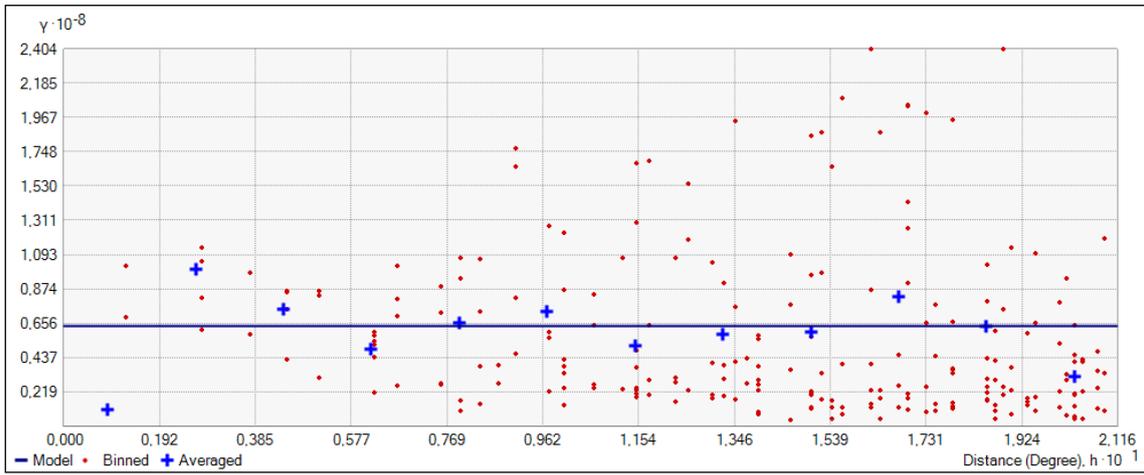


Figura 5-41: Variograma Modelado para a Variável Atração de viagem base não-casa

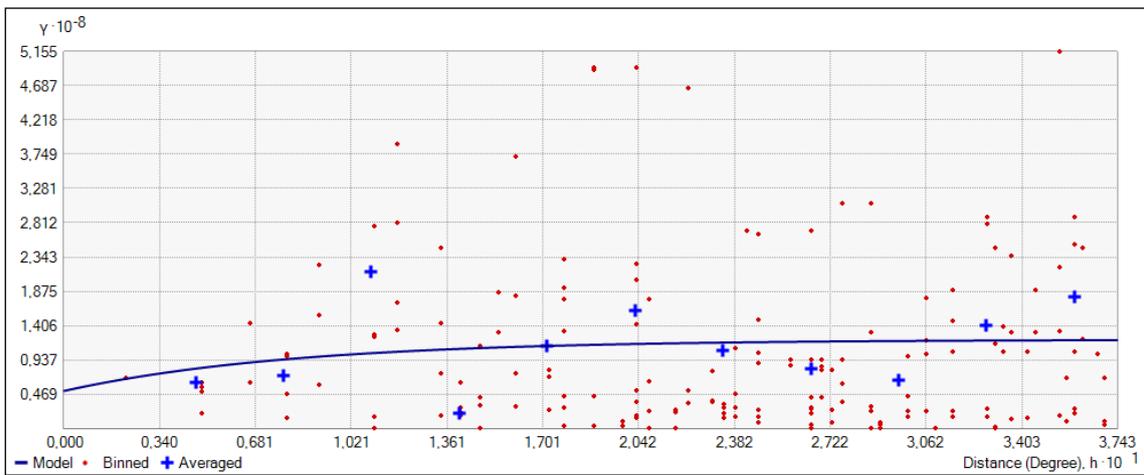


Figura 5-42: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – trabalho

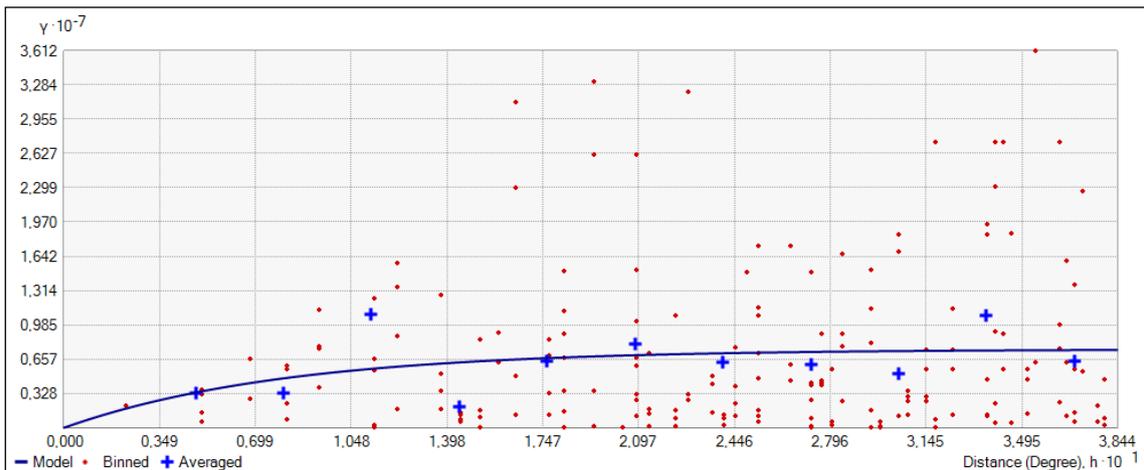


Figura 5-43: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – escola

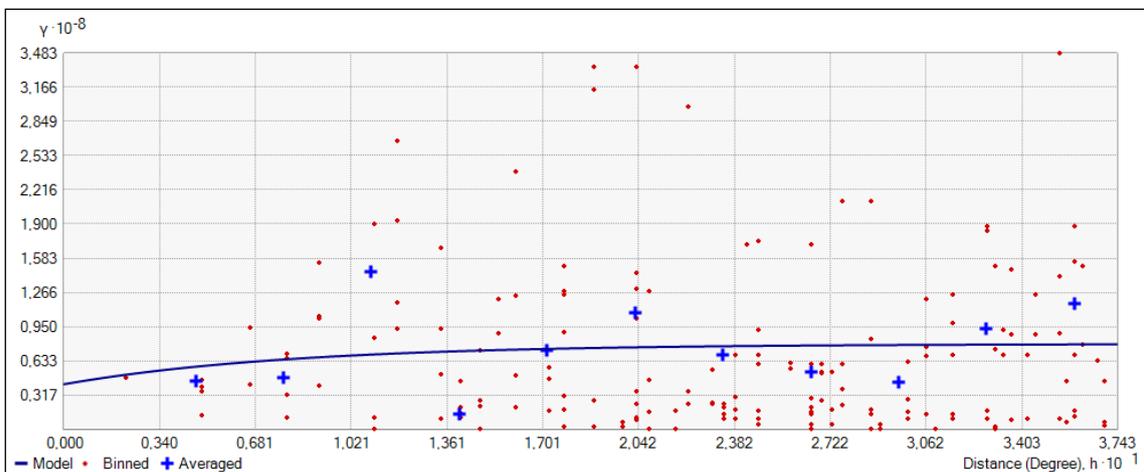


Figura 5-44: Variograma Modelado para a Variável Produção de viagem motivo casa – demais destinos

Para as variáveis Atração casa-trabalho, renda AB, CDE, com e sem auto, casa-outros destinos, com e sem auto e base não-casa, o modelo apropriado para descrever o comportamento espacial destas variáveis foi o modelo de efeito pepita puro, que resulta em atribuir os mesmos pesos a todos os pontos, ou seja, pontos mais próximos não tem maior influência no valor estimado.

Portanto, a distribuição espacial é aleatória e as amostras são independentes, desconsiderando sua correlação espacial. O efeito pepita puro indica a ausência total de

estruturação do fenômeno estudado. Nessa situação, os resultados obtidos pela geoestatística serão os mesmos indicados pela estatística clássica.

Variáveis		Comportamento	Tipo de Curva	Efeito Pepita (Co)	Patamar - Sill (C1)	Amplitude - Range (a)
Atração	Casa - Trabalho, Renda AB, sem auto	Isotrópo	Exponencial	17228599	0	0,21159
Atração	Casa - Trabalho, Renda AB, com auto			600436586	0	0,14106
Atração	Casa - Trabalho, Renda CDE, sem auto			4499091008	0	0,14106
Atração	Casa - Trabalho, Renda CDE, com auto			730575356	0	0,14106
Atração	Casa - Estudo, sem auto			0	305247759	0,04647
Atração	Casa - Estudo, com auto			153660720	89591034	0,39491
Atração	Casa - Outros Destinos, com auto			466554484	0	0,21159
Atração	Casa - Outros Destinos, sem auto			1317317836	0	0,14106
Atração	Base não-Casa			63761252	0	0,21159
Produção	Casa - Trabalho			51470507	70200431	0,24569
Produção	Casa - Estudo			0	7527197	0,24162
Produção	Casa - Outros Destinos			41801491	37325245	0,24569
Produção	Total			0	91455616	0,09131
Atração	Total			634684063	0	0,09832

Tabela 5-3: Principais parâmetros dos modelos adotados para as variáveis estudadas nos semivariogramas

As variáveis “Atração/Casa-Estudo, sem auto”, “Atração/Casa-Estudo, com auto”, “Produção/Casa-Trabalho”, “Produção/Casa-Estudo”, “Produção/Casa-Outros Destinos” e “Produção Total”, apresentaram dependência espacial, que foi representada pelo modelo matemático exponencial com alcances definidos, como pode ser observado na Tabela 5-3. Ou seja, os dados das distâncias inferiores as do alcance estão correlacionadas entre si.

Para estas 6 variáveis que possuem autocorrelação espacial, foram aplicadas as análises com estimação geoestatística, interpolação por krigagem, que será apresentado na próxima seção.

ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA – INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA

Conforme já comentado, krigagem é um interpolador baseado na taxa de alteração da variância dos pontos observados ao longo do espaço. São estimados os valores de um atributo (no caso do trabalho em questão das variáveis resultantes das análises de semivariância) em locais não amostrados a partir de dados amostrados na mesma área.

As figuras 5-45 a 5-50 mostram a representação especializada da superfície interpolada pelo método de krigagem ordinária da RMRJ para as variáveis “Atração de Viagens por motivo casa – estudo” com e sem auto, “Produção de Viagem motivo casa-trabalho”, casa-estudo e casa-outros destinos e “Produção Total”, representadas em 10 classes com intervalos geométricos.

Estes mapas, em um ambiente SIG, permite a leitura das variáveis representadas em qualquer ponto da superfície geográfica.

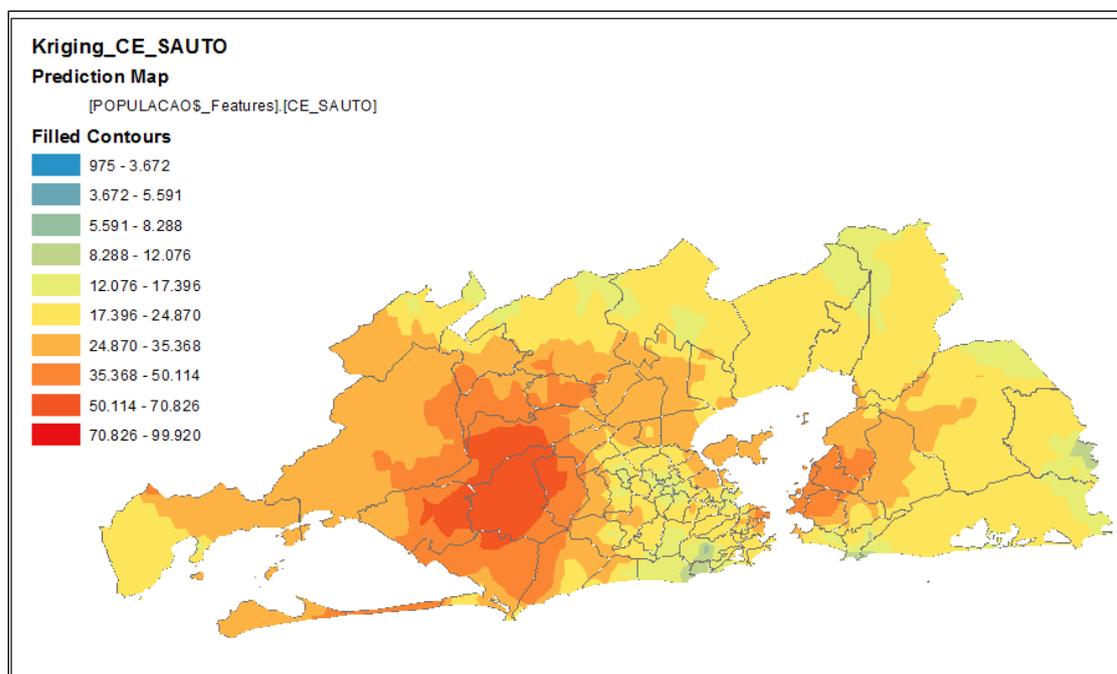


Figura 5-45: Mapa de superfície de Atração de Viagem por motivo casa-estudo, sem automóvel, por krigagem.

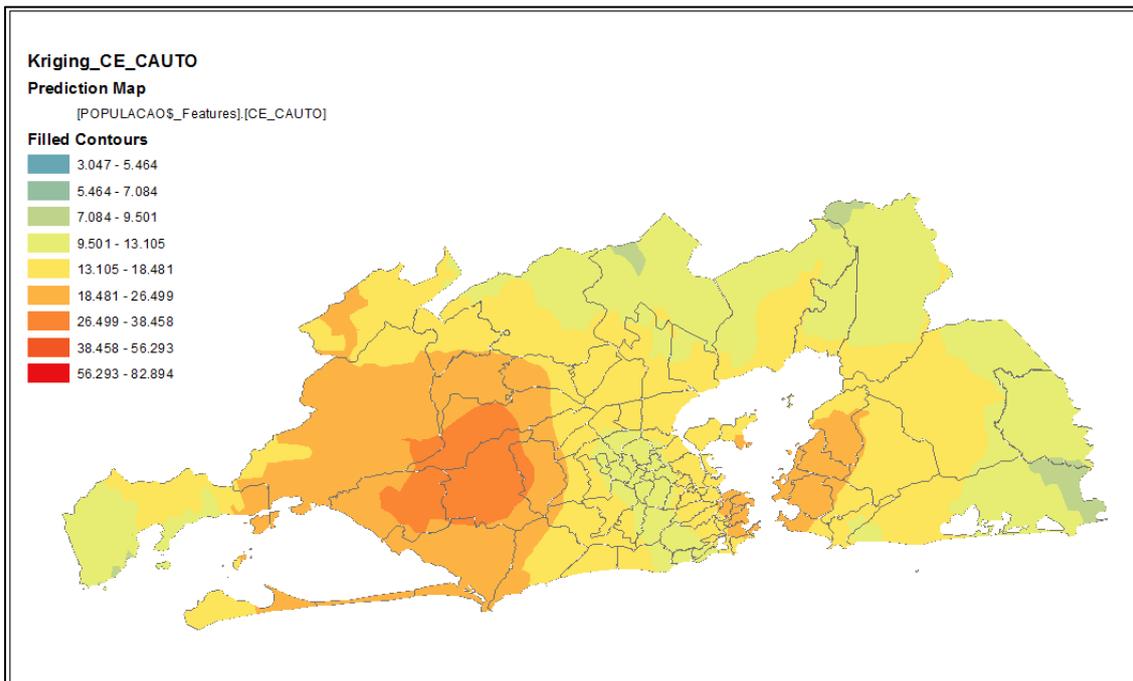


Figura 5-46: Mapa de superfície de Atração de Viagem por motivo casa-estudo, com automóvel, por krigagem.

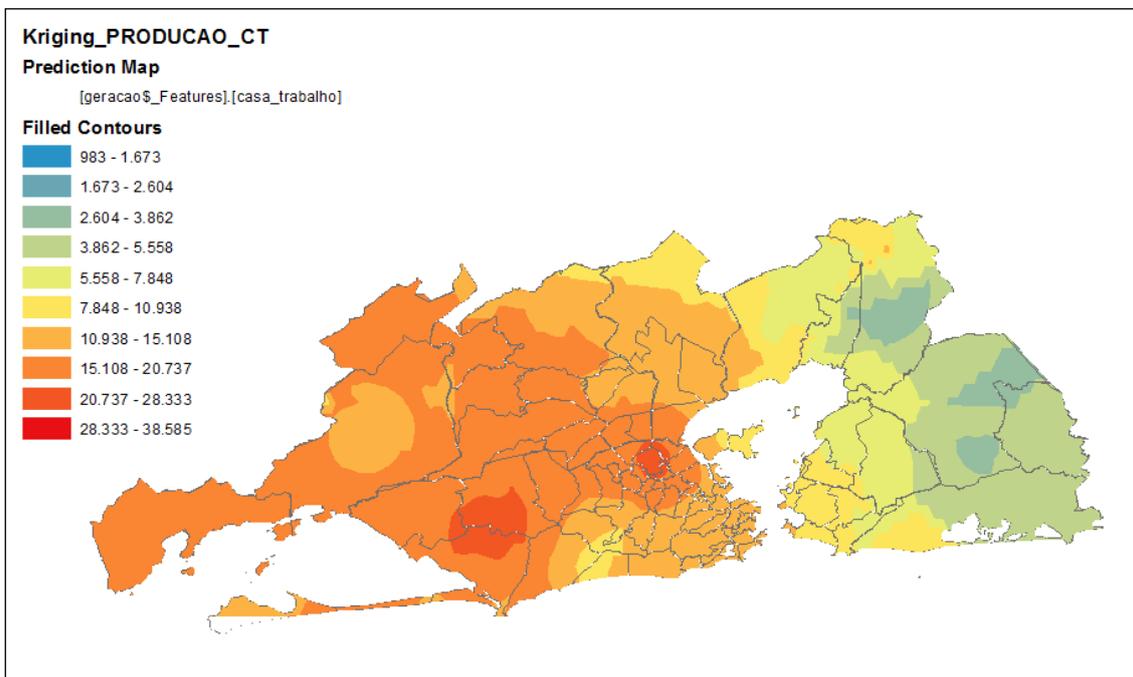


Figura 5-47: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- trabalho, por krigagem.

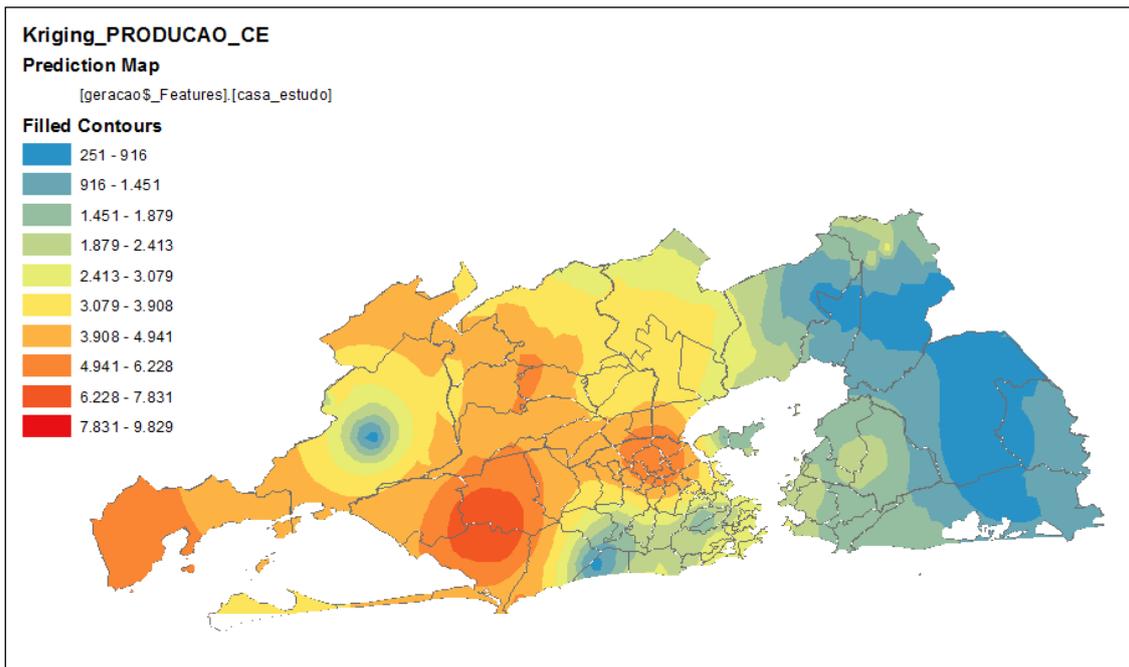


Figura 5-48: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- estudo, por krigagem.

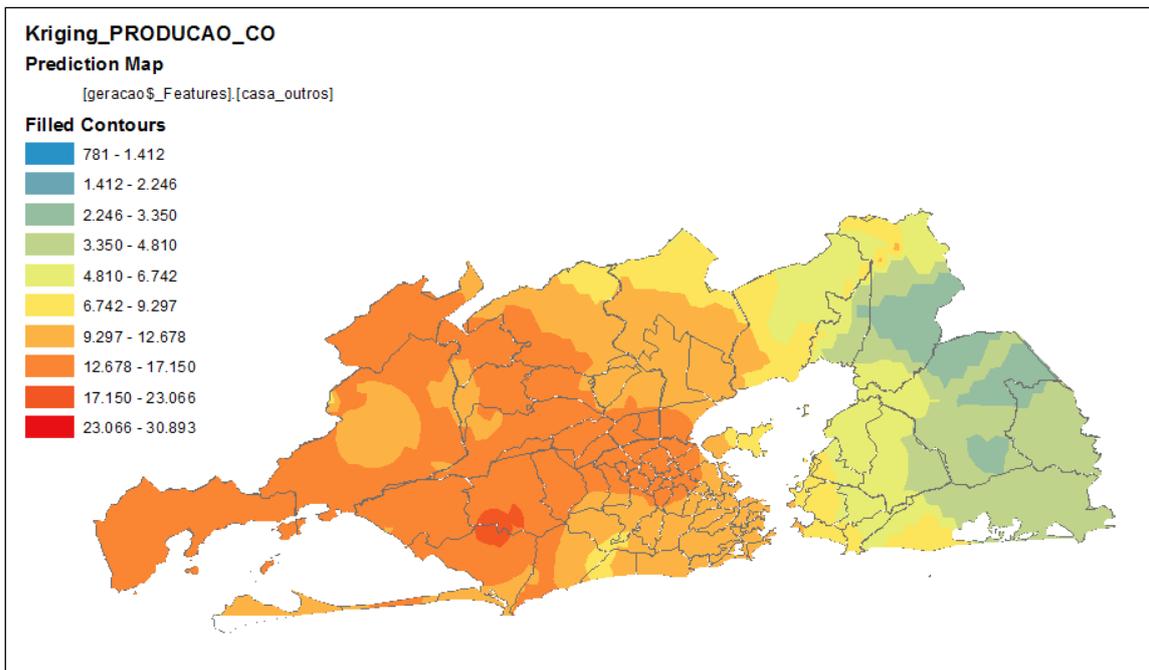


Figura 5-49: Mapa de superfície de Produção de Viagem base casa- outros destinos, por krigagem.

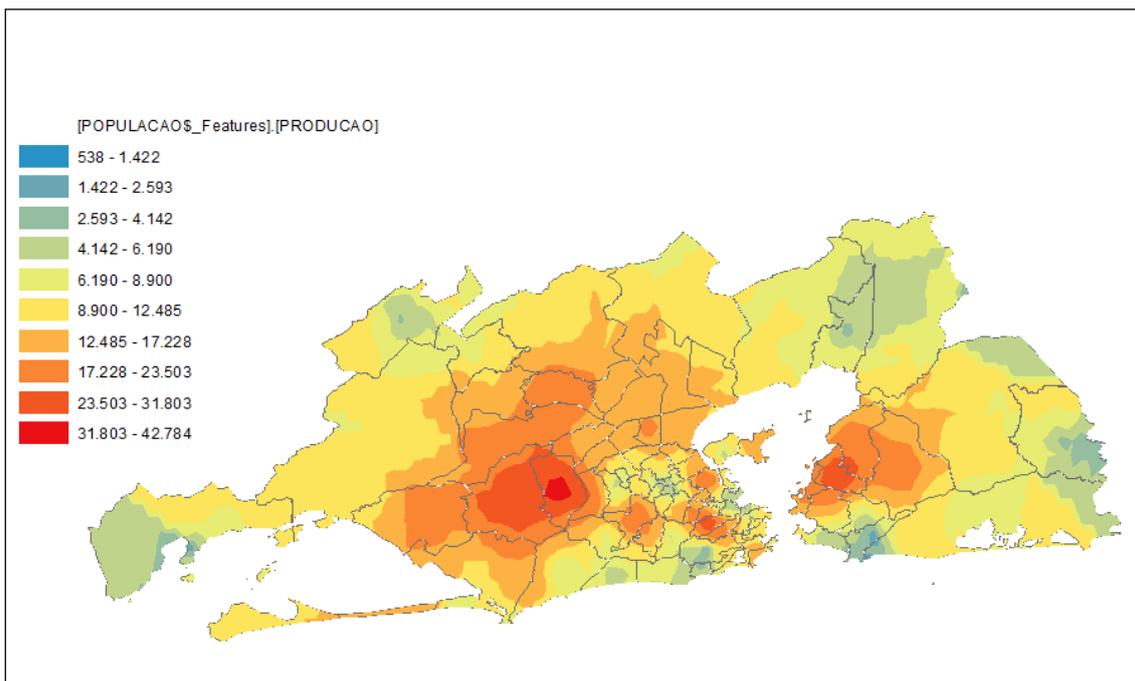


Figura 5-50: Mapa de superfície de Produção de Viagem Total

VALIDAÇÃO CRUZADA

Para que seja possível a adoção da superfície produzida pelo processo de krigagem conforme descrito anteriormente, procedeu-se com o teste de coerências dos pontos observados a fim de realizar um diagnóstico no modelo para sua validação.

O gráfico mostra valores uniformes dos pontos no eixo x e os valores que o modelo estima para os mesmos locais no eixo y. Quanto mais próximo os pontos da linha que representa os valores idênticos para estimar seus valores reais, melhor.

Dessa forma, foram criados os gráficos do teste de validação cruzada para as 6 variáveis analisadas, que podem ser vistos a seguir nas figuras 5-51 a 5-56.

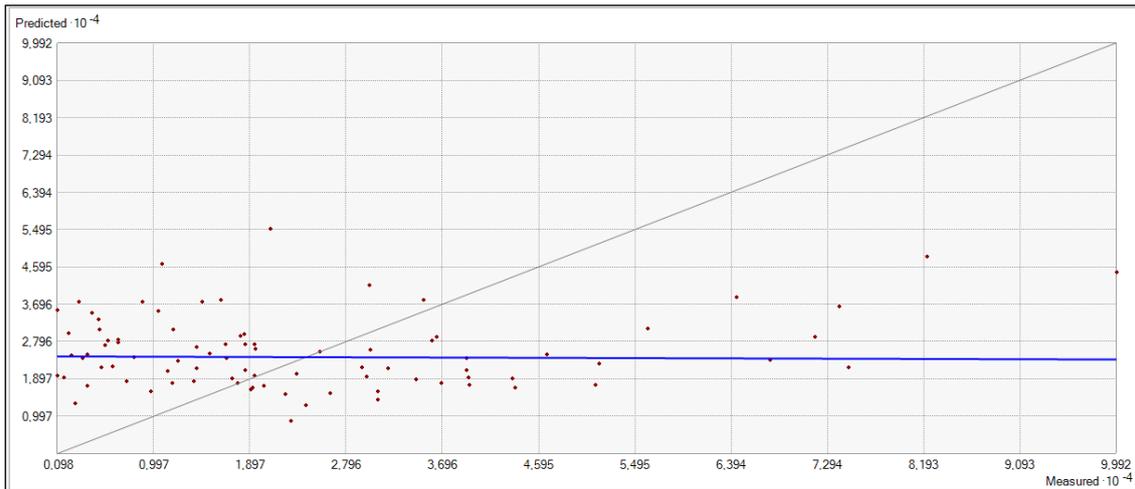


Figura 5-51: Gráfico de Validação Cruzada para a variável Atração Motivo Casa – Estudo, sem auto

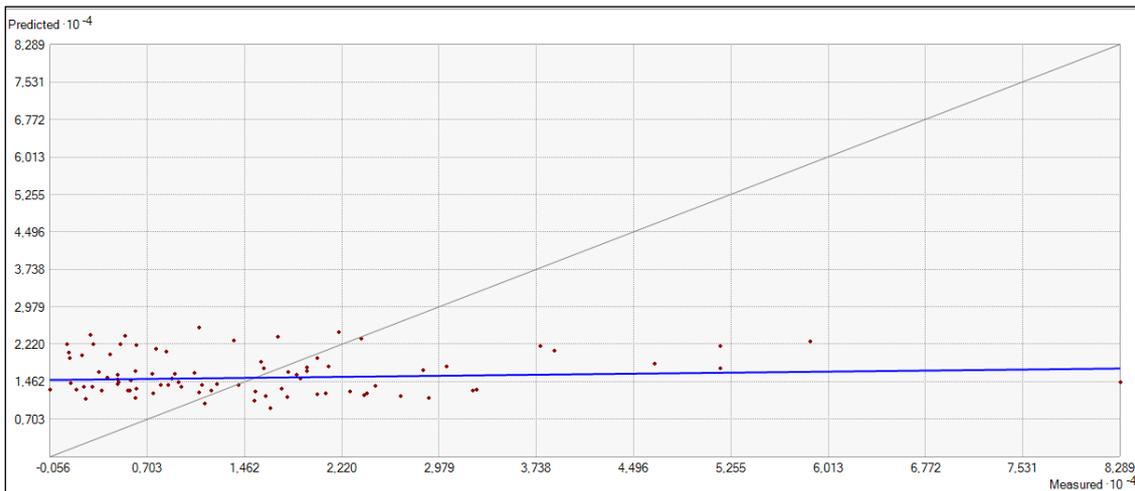


Figura 5-52: Gráfico de Validação Cruzada para a variável Atração Motivo Casa – Estudo, com auto

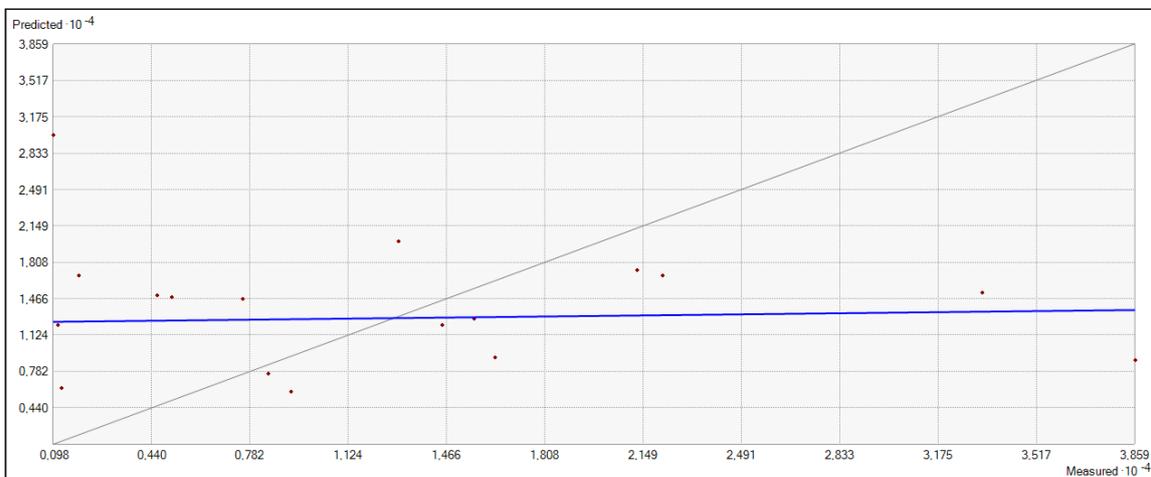


Figura 5-53: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Trabalho

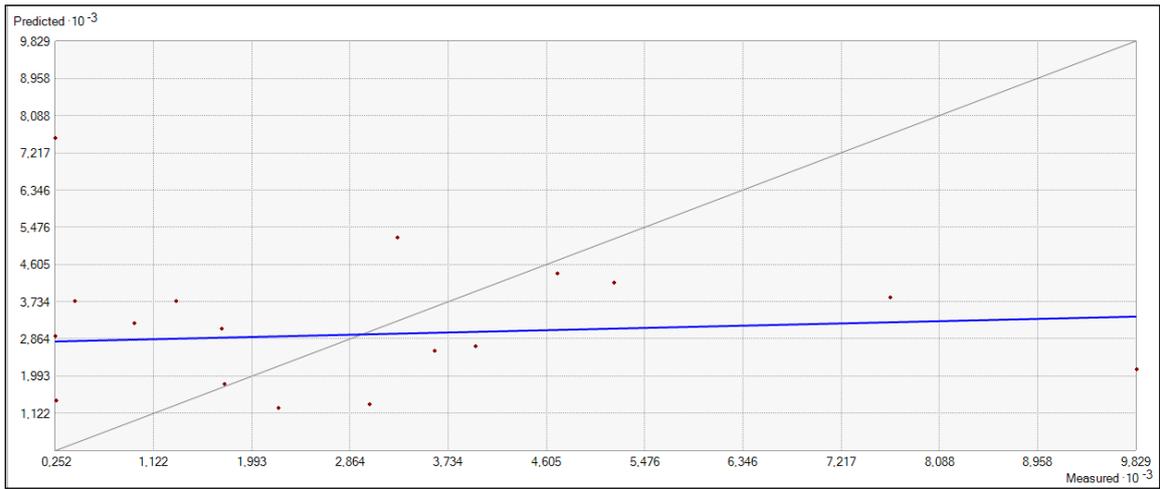


Figura 5-54: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Estudo

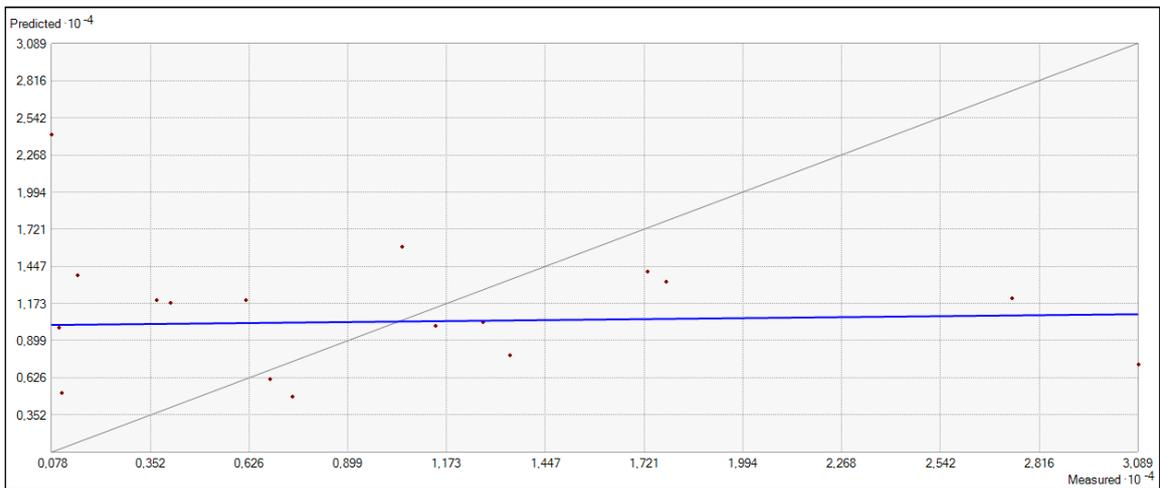


Figura 5-55: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Motivo Casa – Outros

Destinos

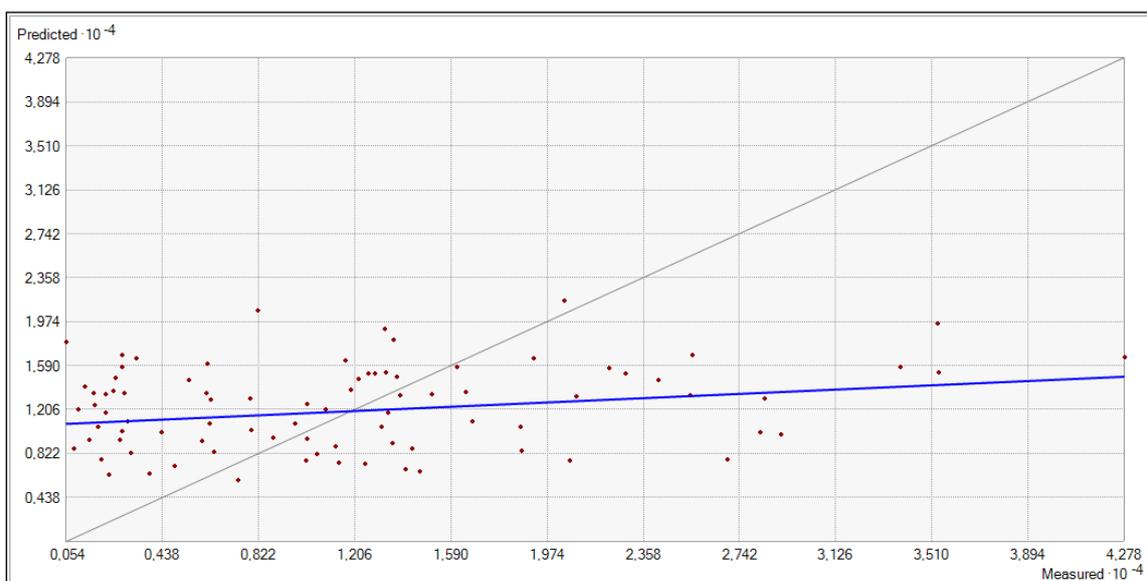


Figura 5-56: Gráfico de Validação Cruzada para a Variável Produção Total

Uma forma de verificar o melhor entre os modelos estudados é conferir o erro médio quadrático de cada um dos resultados. Um resumo das medidas das diferenças entre os valores medidos e os valores previstos é demonstrado na Tabela 5-4 abaixo.

Variáveis		Medidas	Média dos Erros	Raiz Quadrada Média dos Erros	Média Padronizada	Raiz Quadrada Média Padronizada	Erro Padrão da Média	R ²
Atração	Casa - Estudo, sem auto	85	1.086,549	21.167,310	0,0554	1,1662	17.997,110	0,329
Atração	Casa - Estudo, com auto	85	705,141	14.725,570	0,0421	1,0340	14.268,440	0,378
Produção	Casa - Trabalho	17	1.209,059	12.932,330	0,0819	1,1044	11.232,760	0,203
Produção	Casa - Estudo	17	280,304	3.170,601	0,0766	1,1393	2.620,212	0,097
Produção	Casa - Outros Detinos	17	978,056	10.446,610	0,0825	1,0967	9.176,350	0,217
Produção	Total	85	353,980	9.191,493	0,0326	1,0493	8.757,151	0,578

Tabela 5-4: Resultados da Validação Cruzada

Os resultados mostram que o modelo que representa a variável Produção Casa – Estudo apresenta o menor Erro Padrão, o que corrobora o fato da localização espacial das matrículas escolares terem forte dependência espacial. Mesmo assim, considerando os parâmetros adotados para mensurar a qualidade dos modelos, todos os modelos estimados foram considerados razoáveis.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O foco desta pesquisa consistiu em avaliar a eficiência de métodos alternativos para definir as relações espaciais das observações em modelos de geração de viagens. O trabalho concentrou-se na análise dos efeitos do fenômeno da dependência espacial e a hipótese básica era de que a introdução de indicadores de dependência espacial na modelagem da demanda por transportes poderia produzir resultados mais confiáveis dos que os obtidos com modelos tradicionais.

Tal procedimento de análise espacial seguiu uma sequência de etapas de análise dos dados, sua modelagem com variogramas e estimação geoestatística, possibilitando criar uma superfície onde se podia extrair valores de produção e atração de viagens em pontos diversos, levando-se em conta apenas a autocorrelação espacial das variáveis usualmente tratadas para a obtenção dos modelos de geração de viagens. Vale ressaltar que o verdadeiro intuito do presente trabalho é mostrar a viabilidade do uso de estimação geoestatística para análise de geração de viagens. No entanto, problemas de transportes consideram uma infinidade de fatores além da correlação espacial.

Intuitivamente, variáveis da atração de viagem são autocorrelacionadas espacialmente enquanto que variáveis da produção de viagem não são espacialmente autocorrelacionadas, uma vez que para a produção de viagem, não há ligação direta entre fazer uma viagem de uma zona e outra pessoa fazer uma viagem a partir de uma zona adjacente.

No entanto, o estudo mostrou que para a RMRJ, os dados de atração de viagem não possuem dependência espacial, fato que pode ser explicado devido a base econômica da região, uma vez que a região do Centro da Cidade do Rio de Janeiro atrai boa parte da

demanda existente na região metropolitana. Contudo, dados de atração de viagens por motivo estudo caracterizaram-se por forte dependência espacial, fato perfeitamente compreensível pois, pelo fato da base de dados ser composta pelas matrículas escolares, o que atrai alguém (de algum lugar) a uma zona específica está relacionada com o que atrai alguém (de algum outro lugar) a um zona adjacente. Se este caso é verdadeiro, as viagens atraídas por estas duas zonas adjacentes seriam espacialmente correlacionados.

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram observadas algumas limitações que vem a acrescentar certo grau de dificuldade aos cálculos e análises. Torna-se de suma importância discuti-las de modo a apresentar uma visão clara das limitações verificadas, visto que a necessidade de aprimoramento de futuros estudos desta linha e na busca de benefícios aos estudos de planejamento de transporte.

O tamanho das amostras em estudo, principalmente na parte de produção de viagens, constituiu como um limitador, principalmente porque o banco de dados utilizado não dispunha de informações em quantidade satisfatória de algumas variáveis como renda familiar e matrículas escolares.

Os modelos utilizados neste trabalho foram baseados nos padrões adotados para o PDTU, extraídos de fontes como IBGE e trazem agregação de zonas homogêneas e, embora tratados, nem sempre refletem características próprias para estudos de transporte. Variações do efeito espacial podem ocorrer quando os dados de uma escala de unidades de área são agregados em maiores ou menores unidades de área. Além disso, a variabilidade dos resultados analíticos ou estatísticos derivados de dados para a mesma região, mas agregadas ou divididos em diferentes maneiras, com o número de

unidades de área em diferentes esquemas de particionamento podem refletir nos resultados quanto tratados espacialmente.

Através do presente trabalho pode-se concluir que a geoestatística é uma ferramenta adequada a ser aplicada a estudos relativos ao Planejamento de Transportes, havendo ainda diversas possibilidades de utilização a depender dos objetivos a serem atingidos. Ainda são pouco usados os estimadores espaciais na elaboração de planos diretores de transporte. Espera-se que a metodologia adotada neste trabalho possa contribuir para o aprimoramento no planejamento e ordenamento urbano das cidades, em especial da região metropolitana do Rio de Janeiro, e que os possíveis resultados favoráveis a sua implantação na região de estudo possa ser utilizado de modo a oferecer mais qualidade e eficiência ao sistema de transporte e seus usuários.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram verificadas algumas ideias que poderiam aprimorar e dar continuidade a esta linha de pesquisa. Desta forma, algumas ideias são propostas a seguir.

O aprofundamento do potencial de análise do SIG, principalmente no que tange a classificação de uso do solo, de modo a possibilitar novas formas de agregação das informações de modo a obtenção de padrões mais homogêneos condizentes com a utilização de análises espaciais.

Aplicação de técnicas de krigagem cruzada (*cokriging*), que possibilita o cruzamento de mais de uma variável na espacialização de dados. Outras ferramentas de análise com dependência espacial podem ser estudadas e outros métodos como lógica *fuzzy* e análise hierárquica, por exemplo, podem ser experimentadas.

A partir dos resultados obtidos com a geoestatística uni variada pode-se propor futuramente alguns trabalhos considerando uso de geoestatística multivariada principalmente no intuito de analisar simultaneamente modelos tradicionais de geração de viagens e modelos geoestatísticos. Pode-se propor futuramente, por exemplo, uma krigagem com deriva externa - KDE (método alternativo onde uma variável secundária é linearmente correlacionada com a variável de interesse).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKISHINO, P., 2002, **Um processo Sintetizado para Planejamento de Transportes Urbanos**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP.

ALMEIDA, C.M., 2003, **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Publicação 528.711.7, INPE – São José dos Campos, SP.

ANDRADE, K.R., **Estudo Comparativo entre Unidades de Análise Utilizadas para a Quantificação da Demanda de Viagens**. Dissertação de Mestrado, Publicação TU.DM – 015ª/2001. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 148p.

BRASIL. Constituição, 1998, **Constituição da República Federativa do Brasil**. promulgada em 5 de outubro de 1998. Organização do Texto: Juarez de Oliveira. 4.ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 168p. (Série Legislação Brasileira).

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Senado Federal. Disponível em:

<http://www.senado.gov.br/web/codigos/transito/cnt00001.htm#E13E1>. Acessado em: 14 de novembro de 2008.

CAMPOS, V.B.G., **Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos de Análise**. Notas de Aula. 2006. Disponível em

CALIPER Co., 2002, **TRANSCAD – Transportation GIS Software 4.5 version**. Manual Digital.

CÂMARA,G., MONTEIRO,A.M., DAVIS,C.,2004, **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livro. Acessado em: 20 de setembro de 2008.

CLIFF,A.D., ORD, J. K.,1981, *Spatial processes: Models and applications*, Pion Limited, London.

CENTRAL, 2003, **Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: http://www.central.rj.gov.br/pdtu/PDTU-RMRJ-2005_arquivos/frame.htm. Acessado em: 05 de outubro de 2008.

CORREIA,D.M.,CAMPOS,V.B.,2007, **Análise da Mobilidade Urbana Sustentável Utilizando Estatística Espacial**. Anais do XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO. pp. 1014-1025. Fortaleza, CE.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2008, *Congestion Management Systems*. Disponível em: http://www.fhwa.dot.gov/resourcecenter/teams/planning/plan_3CMS.pdf. Acessado em: 19 de outubro de 2008.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2008, *Travel Time Data Collection Handbook: ITS Probe Vehicle Techniques*. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/handbook/chap5.pdf>. Acessado em: 20 de outubro de 2008.

FENG,X., ZHANG, J., FUJIWARA,A., 2009, **Adding a New Step With Spatial Autocorrelation to Improve The Four-Step Travel Demand Model With Feedback for a Developing City**. International Association of Traffic and Safety Sciences - IATSS Research, Vol.33, No1.

FUNDAÇÃO COPPETEC, 1999, **RIOBUS: Reorganização do Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus na Cidade do Rio de Janeiro**. Projeto de Implementação, Resumo Executivo – Rio de Janeiro – RJ.

GEARY,R.C., 1954, *The contiguity ratio and statistical mapping*. *The Incorporated Statistician*, Vol. 5, Blackwell, Oxford, U.K., 115–145.

HAINING,R., 2003, *Spatial data analysis: theory and practice*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

HENRIQUE, C.S, 2004, **Diagnóstico Espacial da mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade Federal do Ceará – Fortaleza - CE.

JAKOB,A.A.E., 2002, **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto – MG.

JOHNSTON, R.A., De La BARRA,T., 1998, *Comprehensive Regional Modeling for Long-Range Planning: Linking Integrated Urban Models And Geographic Information Systems*. *Transportation Research*. Part A: Policy and Practice, Volume: 34.

KNEIB,E.C., 2004, **Caracterização de Empreendimentos Geradores de Viagens: Contribuição Conceitual à Análise de seus Impactos no Uso, Ocupação e Valorização do Solo Urbano**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T. DM – 014A/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168p.

KREMPI,A.P., 2004, **Explorando recursos de estatística espacial para análise da acessibilidade na cidade de Bauru**. Dissertação de Mestrado em Transportes,

Publicação K92e, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, SP.

KWIGIZILE,V., TENG,H., 2009, *Comparison of Methods for Defining Geographical Connectivity for Variables of Trip Generation Models*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 135, No. 7.

LOPES,S.B., 2005, **Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transportes**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação L864e, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, SP.

LOPES FILHO,J.I.O., 2003, **Pós-Avaliação da Previsão de Demanda por Transportes no Município de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação CDD388, Universidade Federal do Ceará – Fortaleza, CE.

MARSHMENT, R., 2000, *Transportation Planning Challenges and Opportunities. Committee on Transportation Planning Applications*. University of Oklahoma. Disponível em: <http://gulliver.trb.org/publications/millennium/00129.pdf>. Acessado em: 05 de outubro de 2008.

MENDONÇA, A.C., 2008, **Desenvolvimento de um Modelo de Previsão da Demanda de Passageiros do Transporte Rodoviário Interestadual Utilizando Regressão com Efeitos Espaciais Locais**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.MD-014^a/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 2008.

MODARRES, A., 2003, **Polycentricity and Transit Service. Transportation Research**. Part A: Policy and Practice Volume: 37, Issue: 10, December, 2003, pp 841-864.

MORAN, P. A. P., 1948, *The interpretation of statistical maps. J. R. Stat.Soc. Ser. B (Methodol.)*, 10_2_, 243–251.

- MOTTA, M.A.P. et al, 2001, **Indicadores de Desempenho do Sistema Viário no Município do Rio de Janeiro**. Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro - CET-RIO – Diretoria Técnica. Artigo Técnico.
- NASSI, C.D. et al, 2001, **Bases georreferenciadas para Aplicações de SISTEMAS de Informação Geográfica no Transporte Urbano**. in **Transportes: experiências em rede**. Rio de Janeiro. FINEP, pp 123-141.
- PITOMBO, C; SOUSA, A.J.;BIRKIN,M. *Comparing diferente Spatial Data Analysis to Forecast Trip Generation*. 12th. WCTR, July 11-15, 2010. Lisboa, Portugal.
- POOLER, J. A. _1995, *The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility*. *Transp. Res., Part A: Policy Pract.*,29A_6_, 421–427.
- RIBEIRO, V.C., 2012, **Análise de Demanda por Transporte de Passageiros via Modelos de Regressão Georeferenciados: um caso de Vitória – ES**. Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, ES
- ROCHA, C.H.B., 2000, **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p. Il.
- ROSE, A. 2001, **Uma Avaliação Comparativa de Alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação R795.a, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, SP.
- SILVA JÚNIOR, A.N., 2006, **Uso da Krigagem para caracterização da variabilidade espacial da condutividade hidráulica no semi-árido nordestino com enfoque Bayesiano**. Dissertação de Mestrado em Biometria, Publicação S586u, Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE.
- SILVEIRA, L.S.C.; YAMASHITA, Y.; DANTAS, A.S., 2000, **Estudo de Demanda de Transporte Público Urbano por Ônibus sob o Enfoque do Sistema de Informação**

Geográfica e do Sensoriamento Remoto. Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. pp. 47-58. Gramado, RS.

STAR, J. L.; Estes, J. E., McGwire, K. C., 1997, *Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing*. United Kingdom, Cambridge University Press.

STEWART, J. Q.; WARNTZ, W., _1958, *Physics of population distribution*. *Regional Sci.*, 1, 99–123.

TOMLINSON, ROGER F., 2003, *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*, 1 ed. Califórnia, ESRI Press.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2003, *Transit Cooperative Research Program – Report 90 – Bus Rapid Transit*. Disponível em: http://www.gulliver.trb.org/publications/tcrp/tcrp_rpt_90v1.pdf. Acessado em: 12 de outubro de 2008