

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

ARION VENGUE FONTANA

AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS FUTURAS DE UM MODELO LUTI DINÂMICO:
ESTUDO DE CASO PARA O MODELO MARS PORTO ALEGRE 2003.

Joinville

2021

ARION VENGUE FONTANA

AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS FUTURAS DE UM MODELO LUTI DINÂMICO:
ESTUDO DE CASO PARA O MODELO MARS PORTO ALEGRE 2003

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Becker Lopes

Joinville

2021

ARION VENGUE FONTANA

AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS FUTURAS DE UM MODELO LUTI DINAMICO:
ESTUDO DE CASO PARA O MODELO MARS PORTO ALEGRE 2003

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 07 de maio de 2021.

Banca Examinadora:

Profª. Dra. Simone Becker Lopes
Orientadora/Presidente

Profª. Dra. Andrea Holz Pfutzenreuter
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Msc. Julia Lopes de Oliveira Freitas
Membro
Gerente de Desenvolvimento e Inovação
Empresa Pública de Transportes e Circulação de Porto Alegre

Dedico este trabalho ao meu avô Nestor (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Simone Becker Lopes pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa e mesmo a distância devido a pandemia esteve sempre presente, e acima de tudo compartilhando o vasto conhecimento que detém do assunto.

Aos meus pais Ari e Tamara por não medir esforços para me proporcionar uma educação de qualidade e todos os subsídios necessários para chegar até onde cheguei, estando sempre ao meu lado transmitindo muito afeto, carinho e confiança.

Aos meus irmãos Carla, Cris, Alice Sofia, Larissa e Igor por sempre estarem ao meu lado e me proporcionarem a gratificante experiência de ser tio do Davi e do Liam.

à minha avó que sempre transmitindo muita calma me confortou em diversos momentos no decorrer desta jornada. Aos meus tios e primos.

À Maithe Fachetti Ribon pela paciência em estar ao meu lado em momentos tão estressantes, como as semanas finais deste texto.

Aos meus companheiros Carlos, Matheus, Anibal, Gabriel, Bruno, Juan e Victor pelos momentos agradáveis que tivemos morando juntos. E aos amigos Felipe, Luiz Henrique, Jesse, Marco, Guilherme (Estopa), Cabral, entre outros que mesmo não residindo de forma conjunta sempre se fizeram presentes em nosso dia a dia. À minhas amigas do grupo Futuros Engenheiros que desde o início da graduação já almejava chegar onde muitos já chegaram e agora tenho prazer de chegar.

A todos os servidores do Campus Joinville pelo excelente trabalho desempenhado na formação de tantos alunos.

Agradecer às pessoas participantes das gestões da Atlético Camelão, onde sem dúvidas vivi grande parte dos momentos marcantes durante a graduação.

Ao time Bohemios por me receber quando ingressei na faculdade e que enche de orgulho todos que fazem parte dessa família.

A todos os profissionais de diversos órgãos da Prefeitura de Porto Alegre, em especial às pessoas que contribuíram de forma direta para este trabalho: Arq. Julia Lopes de Oliveira Freitas, Fagner Sutel Moura e Tielle Dias da Empresa Pública de Transportes e Circulação de Porto Alegre.

A equipe da Fundação Softville, pois a conclusão deste trabalho só foi possível devido a flexibilização e compreensão proporcionada pelo time.

RESUMO

O planejamento das cidades estão cada vez mais complexos e ferramentas de apoio à decisão são necessárias. O modelo MARS, que é um Modelos Dinâmico e Integrado de Uso do Solo e Transportes capaz de fazer previsões para 30 anos, cumpre este papel para análise de políticas de mobilidade urbana sustentáveis. Lopes (2010) ajustou o modelo MARS para a cidade de Porto Alegre, calibrando seus submodelos de transportes para o ano base de 2003, início das projeções, deixando como sugestões de trabalhos futuros a calibração dos submodelos de uso do solo e a validação dos submodelos de transportes para estimativas futuras. O objetivo deste trabalho foi avaliar as estimativas futuras do modelo MARS Porto Alegre, dando subsídios para posterior calibração de seus submodelos. Dados do censo do IBGE de 2010, viabilizaram a avaliação das estimativas dos submodelos de uso do solo do MARS Porto Alegre para o referido ano considerando a distribuição espacial das variáveis população, número de residências e pessoas empregadas. Como não foi realizada nova pesquisa origem destino para Porto Alegre após 2003, não foi possível avaliar as estimativas futuras dos submodelos de transporte. As estimativas dos submodelos de uso do solo para 2010 apresentaram bons resultados para as análises dos coeficientes de determinação R^2 para as três variáveis analisadas, demonstrando que os modelos estão, em geral, bem ajustados. A análise da distribuição espacial dos erros indicou que análises mais pontuais são necessárias para se proceder um ajuste fino na calibração. O cancelamento do censo de 2020 em função da Pandemia do COVID-19, inviabilizou as análises das estimativas para anos posteriores a 2010. Embora as análises realizadas deem subsídios para iniciar a calibração dos submodelos de uso do solo do MARS Porto Alegre, dados de censo mais recente tornariam a análise mais robusta produzindo resultados mais acurados. A análise integrada com dados de mobilidade mais recentes, também permitiria a validação e calibração dos submodelos de transportes para estimativas futuras. No entanto, as análises aqui apresentadas são de grande contribuição por permitir que se inicie a calibração dos submodelos de uso do solo e, principalmente, por apresentar um método desenvolvido em blocos que auxiliará na continuidade dos estudos. O método apresentado serve como um guia para a coleta de informações e para os procedimentos de análises comparativas das estimativas com dados observados para a cidade, contribuindo não só para a continuidade do ajuste do modelo para Porto Alegre, mas como diretrizes para estudos semelhantes para outras cidades.

Palavras-chave: Validação. Calibração. Modelo Dinâmico. Modelo Integrado de Uso do Solo e Transportes.

ABSTRACT

Assistance in decision-making is essential for the sustainable development of a city, thus the use of a Dynamic and Integrated Model of Land Use and Transport serves as an important tool to support decisions for the analysis of urban mobility policies. To this end, the MARS model, through Lopes' doctoral thesis (2010), was adjusted for Porto Alegre with the base year 2003, being able to make projections for 30 years (until 2033). Although the MARS transport sub-models were duly calibrated with data from the source-destination survey carried out for the city in 2003, the land use sub-models require further data in order to be calibrated. Likewise, the validation of the transport sub-models for future projections requires that the estimates be compared with a new database raised for the study area in later periods. The objective of this work was to evaluate the future estimates of the MARS Porto Alegre model, providing subsidies for subsequent calibration of its submodels. IBGE census data for 2010, made it possible to assess the estimates of land use models for this year considering the spatial distribution of the variables population, number of households and employed persons. Since no new source-destination research was carried out for Porto Alegre after 2003, it was not possible to evaluate the estimates of the transport sub-models. In general, the estimates of the land use submodels for 2010 showed a good adjustment when compared to the data from the 2010 Census. The cancellation of the 2020 census due to the COVID-19 Pandemic, made the analysis of the estimates for this year unfeasible. Although the analyzes carried out already provide subsidies to start the calibration of the MARS Porto Alegre sub-models of land use, more recent census data would make the analysis more robust. In addition, the integrated analysis with more recent mobility data would also allow the validation and better calibration of the transport sub-models. However, the analyzes presented here were valid, because in addition to allowing the calibration of the land use submodels to start, the method developed in blocks will assist in the collection of information and in the next comparative analysis of the estimates with data observed for the city, enabling a future calibration and validation of the model for Porto Alegre, in addition to offering guidelines for similar studies for other cities.

Keywords: Validation. Calibration. Dynamic Model. Integrated Land Use and Transport Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estrutura básica do Modelo MARS.....	6
Figura 02 – Diagrama de desenvolvimento de unidades habitacionais	7
Figura 03 – Esquema do processo de ajuste do MARS81 para a cidade de Viena.....	10
Figura 04 – Esquema do processo de ajuste do MARS91 para a cidade de Viena.....	11
Figura 05: Esquema de blocos utilizados para desenvolvimento do método.....	13
Figura 06 - Arquivos disponibilizado pelo IBGE.....	18
Figura 07 - Tabela utilizada para a coleta de dados disponibilizados pelo IBGE.....	19
Figura 08 - Tela inicial do VENSIM ao executar o modelo MARS.....	22
Figura 09 - Demonstração dos processos realizados para obtenção dos dados gerados através do MARS.....	23
Figura 10 - Modelo que os dados gerados através da utilização do Excel.....	24
Figura 11 - Diferença do nível de agregação entre ZT e Setores Censitários para a cidade de Porto Alegre-RS.	25
Figura 12 - Defasagem na sobreposição das camadas vetoriais.....	27
Figura 13 - Setores censitários com seus respectivos centroides.....	28
Figura 14 - Setores censitários com seus respectivos centroides.....	28
Figura 15 - Setores censitários contidos nas zonas de tráfego.....	29
Figura 16 - Aplicação do método de proporção das áreas utilizando a ferramenta SIG.....	30
Figura 17 - Dados obtidos através do IBGE por zona de tráfego, possibilitando a comparação com os obtidos através das estimativas do MARS.....	31
Figura 18 - Dados organizados de forma que possibilita uma comparação através do método estatístico da regressão linear.....	32
Figura 19 - Método utilizado para realizar a regressão linear.....	34
Figura 20 - Apresentação dos resultados obtidos através da regressão linear.....	34
Figura 21 - Regressão linear para a variável população pelo método de proporção das áreas...	35
Figura 22 - Regressão linear para a variável população pelo método do centroide.....	35
Figura 23 - Análise do provável motivo de erro.....	36
Figura 24 - Regressão linear para a variável domicílios.	37
Figura 25 - Regressão linear para a variável pessoas empregadas.	38
Figura 26 - Utilização da ferramenta SIG para o desenvolvimento de mapas espaciais.....	39
Figura 27 - Número de habitantes em Porto Alegre.....	40

Figura 28 - Mapa graduado da distribuição da população estimada pelo MARS para cada ZT de Porto Alegre – RS.....	41
Figura 29 - Mapa graduado da distribuição da população observada pelo IBGE para cada ZT de Porto Alegre - RS.....	41
Figura 30 - Mapa distribuição espacial dos erros.....	42
Figura 31 - Mapa graduado da diferença entre os dados estimados e observados para os domicílios de Porto Alegre-RS.....	43
Figura 32 - Número de pessoas empregadas em Porto Alegre – RS.....	44
Figura 33 - Mapa graduado da distribuição de pessoas empregadas estimada pelo MARS para cada ZT de Porto Alegre-RS.....	45
Figura 34 - Mapa graduado da distribuição de pessoas empregadas observado pelo IBGE para cada ZT de Porto Alegre – RS.....	45
Figura 35 - Número da frota de veículos em Porto Alegre – RS.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Variáveis analisadas e suas respectivas descrições.....	19
Quadro 02 – Dados comparados entre IBGE e MARS.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tabela de atributos antes da união dos dados.....	26
Tabela 02 - Tabela de atributos após a união das informações.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EDOM - Pesquisa Origem e Destino de Porto Alegre

EPTC - Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LUTI – Land use Transportation Interaction

MARS – Metropolitan Activity Relocation Simulator

ZT – Zona de Tráfego

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Justificativa	2
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Modelo LUTI.	4
2.2. MARS.	5
2.2.1. Submodelo de transportes	7
2.2.2. Submodelo de uso do solo	8
2.2.3. Aplicação do MARS Viena	9
2.3. Calibração e validação do modelo MARS	11
3. MÉTODO	13
4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	16
4.1 Bloco 1 - Levantamento dos dados necessários.	16
4.2 Bloco 2 - Obtenção dos dados secundários.	17
4.2.1 Dados do IBGE	18
4.2.2 Dados Prefeitura de Porto Alegre	20
4.3 Bloco 3 - Geração dos dados do MARS	21
4.4 Bloco 4 - Compatibilização dos dados	25
4.5 Bloco 5 - Análises e Comparações	32
4.5.1Regressão Linear	32
4.5.2 Mapas Espaciais	38
4.6 Bloco 6 - Discussões	399
5. CONCLUSÃO	477

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana vem demonstrando sua importância no dia a dia das pessoas e no planejamento das cidades. Modelos para simulação de políticas de uso do solo e mobilidade e previsão de seus impactos no desenvolvimento urbano. Com esse intuito foi criado o MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) PFAFFENBICHLER, 2003).

Trata-se de um modelo LUTI (*Land Use and Transport Interaction Model*) dinâmico que utiliza dados históricos e do ano base para realizar projeções futuras para o crescimento de cidades, auxiliando no processo de tomada de decisão (SHEPERD;; EMBERGER,2008)

Lopes (2010) desenvolveu um estudo, implementando o modelo MARS para a cidade de Porto Alegre - RS, classificando a ferramenta como apropriada para se atingir os objetivos de um modelo estratégico, dinâmico e integrado de uso do solo e transportes. Contudo, a falta de dados históricos necessários para a calibração e validação do modelo para previsões futuras inviabilizou, na época, um ajuste completo do modelo.

O estudo de Lopes (2010) baseou-se em dados do censo do IBGE do ano de 2000 e na pesquisa Origem Destino 2003, além de diversas outras bases de dados de moradia, de uso do solo e de pesquisas de transporte para a mesma época. Embora o Modelo MARS Porto Alegre tenha sido validado através de meta-análise, não foi possível, na época, por falta de dados posteriores, a calibração dos submodelos de uso do solo e nem a validação dos submodelos de transportes para estimativas futuras (LOPES, 2010).

O presente estudo tem como objetivo dar subsídios para a completa calibração e validação do modelo MARS Porto Alegre para previsões futuras, tendo como principal fonte de dados o censo de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Pretende-se verificar a existência de outras informações úteis para estas análises, inclusive posteriores a 2010, como dados secundários disponíveis na Prefeitura Municipal de Porto Alegre ou em outras fontes de dados públicos, como o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Após a obtenção dos dados necessários, pretende-se verificar a qualidade de ajuste dos modelos para previsões futuras, que é o primeiro passo para a calibração e validação dos submodelos de transportes e de uso do solo do MARS.

1.1. OBJETIVOS

Frente o exposto, apresentam-se os objetivos geral e específicos que norteiam este trabalho. Na sequência, apresenta-se a justificativa para o estudo.

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a conformidade dos resultados de estimativas futuras do modelo LUTI Dinâmico MARS Porto Alegre 2003 (Lopes, 2010), com dados observados para a área de estudo em períodos posteriores, dando subsídios à calibração dos submodelos de uso do solo e validação dos submodelos de transportes.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Propor um método em blocos para dar subsídios às análises de calibração dos submodelos de uso do solo e de validação dos submodelos de transportes do MARS.
- Elencar dados necessários para validação e calibração dos modelos de uso do solo e de transportes de um modelo LUTI Dinâmico;
- Levantar dados disponíveis para a área de estudo através de fontes secundárias para períodos posteriores ao ano base do MARS Porto Alegre 2003;
- Gerar as variáveis de saída de estimativas futuras produzidas pelo MARS compatíveis com os anos dos dados obtidos;
- Formatar os dados levantados para compatibilizar com as variáveis de saída das estimativas do MARS;
- Analisar estatisticamente o nível de ajuste das estimativas aos dados observados;

1.2. JUSTIFICATIVA

Modelos que integram o sistema de transportes e uso do solo vem sendo desenvolvido para estimar os padrões de desenvolvimento do solo urbano e dos sistemas de transportes (WEGENER, 2003). Modelos LUTI Dinâmicos, como o MARS são ferramentas essenciais para a análise da mobilidade urbana produzindo o entendimento dos impactos das relações

dinâmicas entre características de uso do solo e sistemas de transportes nas cidades. Ao observar o desenvolvimento dos modelos integrados, é possível constatar os avanços no detalhamento das decisões que fazem parte do fenômeno urbano (SOUSA, 2016).

Segundo Iaconos et al. (2008) os avanços no desenvolvimento dos modelos permitiram, por um lado, incremento na complexidade das ferramentas e, por outro lado, tornaram-os ainda mais consumidores de dados, o que acarreta grandes esforços nas etapas iniciais de modelagem. Motivo pelo qual os modelos ainda não são amplamente difundidos e entendidos.

Analisar a conformidade de estimativas futuras com dados observados é o primeiro passo para a correta calibração dos modelos de uso do solo e validação dos modelos de transportes de um Modelo LUTI Dinâmico, conforme destacado por Pfaffenbichler (2003) e Lopes (2010). Na época do desenvolvimento do MARS Porto Alegre, cujo ano base era 2003 (início da simulação) não havia dados posteriores para que se pudesse realizar a calibração e validação do modelo.

Sendo o MARS Porto Alegre o primeiro modelo LUTI dinâmico aplicado não só no Brasil, como na América do Sul (Lopes, 2010), se faz necessário dar continuidade aos estudos contribuindo para a coleta e análise de dados que permitirá não só a completude de seu ajuste, mas como referência para futuros modelos MARS a serem aplicados em outras cidades. Adicionalmente este trabalho é uma parte da contribuição para que o MARS Porto Alegre 2003 possa ser utilizado como ferramenta de apoio à decisão na análise de políticas de mobilidade para a cidade de Porto Alegre quando estiver completamente ajustado, além de contribuir para a pesquisa com foco em ajuste de modelos LUTI Dinâmico, que, principalmente no Brasil, ainda carece de estudos nesta área.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A necessidade de gerar previsões de demandas ocasionou o desenvolvimento de modelos que buscam representar o mundo real. É notável uma mudança de objetivos na modelagem de transporte. Inicialmente, a maior preocupação dos modelos era determinar a oferta de capacidade, devido ao aumento da quantidade de veículos na pista. Recentemente, há uma preocupação com as consequências ambientais do transporte, e com a redução do fluxo de automóveis individuais nas pistas (BATES, 2007). O foco deste estudo é em Modelo Integrado do Uso do Solo e Transportes (LUTI).

2.1. MODELO LUTI.

Para a seleção de um modelo é preciso levar em consideração fatores, como por exemplo, que esse modelo seja adequado aos propósitos do estudo, cuja ferramenta possua um fácil acesso e se encontre disponível para aplicação. Após Lopes (2010) realizar uma profunda análise desses fatores chegou à conclusão que para análise de políticas de mobilidade urbana sustentáveis a ferramenta mais indicada era Modelo LUTI dinâmico, pois incorpora nas análises a dinâmica do desenvolvimento urbano. Nesse sentido a escolha de Lopes (2010) para seu estudo para a cidade de Porto Alegre, RS, foi o modelo LUTI Dinâmico MARS (*Metropolitan Activity Relocator Simulator*), criado por Pfaffenbichler (2003).

Os modelos LUTI veem sendo utilizados como uma alternativa para a previsão de padrões de demanda de transporte associada ao planejamento de uso do solo urbano (WEGENER, 2003). O que diferencia os modelos LUTI dos demais é o fato de gerar suas próprias previsões de usos do solo, através das mudanças de acessibilidade provocadas pelas condições do sistema de transporte (DE LA BARRA, 1989; MARTINEZ e ARAYA, 1998).

Modelos LUTI proporcionam um avanço em relação aos tradicionais, pois em sua análise matemática, leva em conta a dinâmica imobiliária da cidade. Assim, modelos LUTI utilizam não só dados de transportes, mas, também, de uso do solo para melhor compreender a situação atual, prever o desenrolar de situações futuras e auxiliar na tomada de decisões para a solução dos problemas existentes (WERNECK, 2015).

Diferente de outros modelos LUTI, o MARS é dinâmico, pois ele considera a modelagem de uso do solo e de transportes de forma retroalimentada para cada período de análise num horizonte de 30 anos. Neste contexto, o MARS é capaz de produzir estimativas

futuras o mais próximo da realidade possível. Desta forma, Lopes (2010) considerou o modelo ideal para aplicação no seu estudo de caso para a cidade de Porto Alegre.

2.2. MARS.

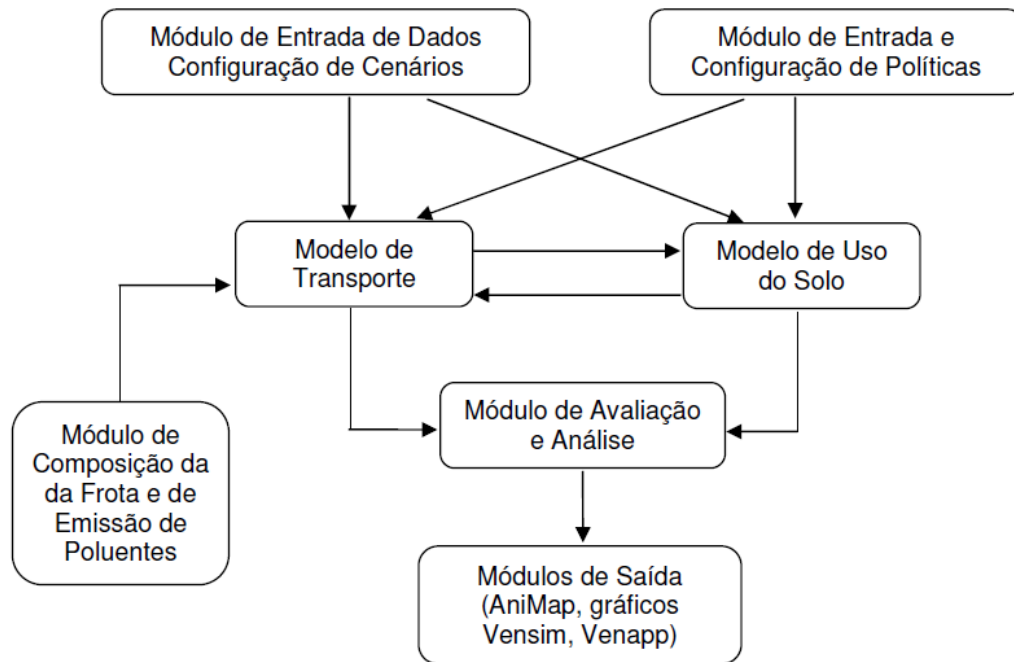
Desenvolvido por Pfaffenbichler (2003), o modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) é um modelo estratégico, dinâmico e que integrado o uso de solos e transportes. Seu desenvolvimento teve início em 2000 na cidade de Viena - AT, e a presente versão é implementada no VENSIM®, um software de simulação dinâmica, com alguns eventos discretos e recursos de modelagem. Com a utilização do MARS, é possível analisar combinações de políticas municipais e regionais a avaliar os impactos causados em um intervalo de 30 anos.

O modelo MARS vem sendo constantemente aperfeiçoado, direcionado à estudos de desenvolvimento urbano sustentável. Em seu estudo Lopes (2010) apresenta aplicações do MARS ocorridas em 16 cidades da Europa, Ásia e América, com os mais diferentes contextos desde Viena onde foi desenvolvido, passando por Whashington DC - US, Porto Alegre - BR, Madri - ES, chegando até cidades com realidades distintas como é o caso de Hanói – VN, estando atualmente operando em 25 cidades entre Europa, Asia e Américas, conforme pode ser verificado na página virtual do projeto MARS (INSTITUTE FOR TRANSPORT PLANNING AND TRAFFIC ENGINEERING – VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY)

Dentre as cidades analisadas por Lopes (2010) em que o MARS foi aplicado a autora constatou uma grande diferença nos cenários. As cidades asiáticas por possuírem contextos distintos dos europeus gerando maiores dificuldades para aplicação. Uma dificuldade encontrada para a aplicação é em relação a obtenção de dados, outros problemas são as formas diferenciadas dos modos de trabalhos e as grandes diferenças de moradias.

O MARS pode ser dividido em cinco módulos: entrada de dados (configuração de cenários); entrada e configurações de políticas; composição da frota e de emissão de poluentes; avaliação e análise, e módulo de saída (AniMap, gráficos, Vensim, Venapp). E possui internamente outros dois submodelos de transporte e de uso do solo, conforme apresentado na Figura 1. O último módulo utilizado no MARS é o de avaliação e análise. Indicadores são calculados e apresentados de diversas formas, como por exemplo: valores globais ao longo do tempo; valores desagregados por meio de transporte e tipo de viagem; e pelo período do dia em gráficos ou tabelas.

Figura 1 – Estrutura básica do Modelo MARS



Fonte: Lopes (2010, p. 26)

Dentre os três módulos de entrada no MARS, o primeiro é em relação aos dados de configuração de cenários que são definidos pelo usuário, o usuário introduz, dados como o crescimento populacional ou as previsões de desenvolvimento econômico. E esses valores variam de acordo com o local da sua aplicação, justificando a inserção por parte do usuário.

O segundo módulo de entrada, diz respeito às configurações de políticas. As inserções dos dados ocorrem através do usuário, porém, permite selecionar um ponto inicial e final, em conjunto com um nível inicial e final para cada intervenção. Segundo Lopes (2010) é possível testar o impacto de níveis crescentes de tarifas do transporte público, começando no ano 3 com um valor inicial de +20% e aumentando linearmente até atingir 50% no ano 12, a partir do qual o valor da tarifa fica constante até o final da simulação, sendo possível analisar mais de 15 diferentes instrumentos com resultados em menos de um minuto.

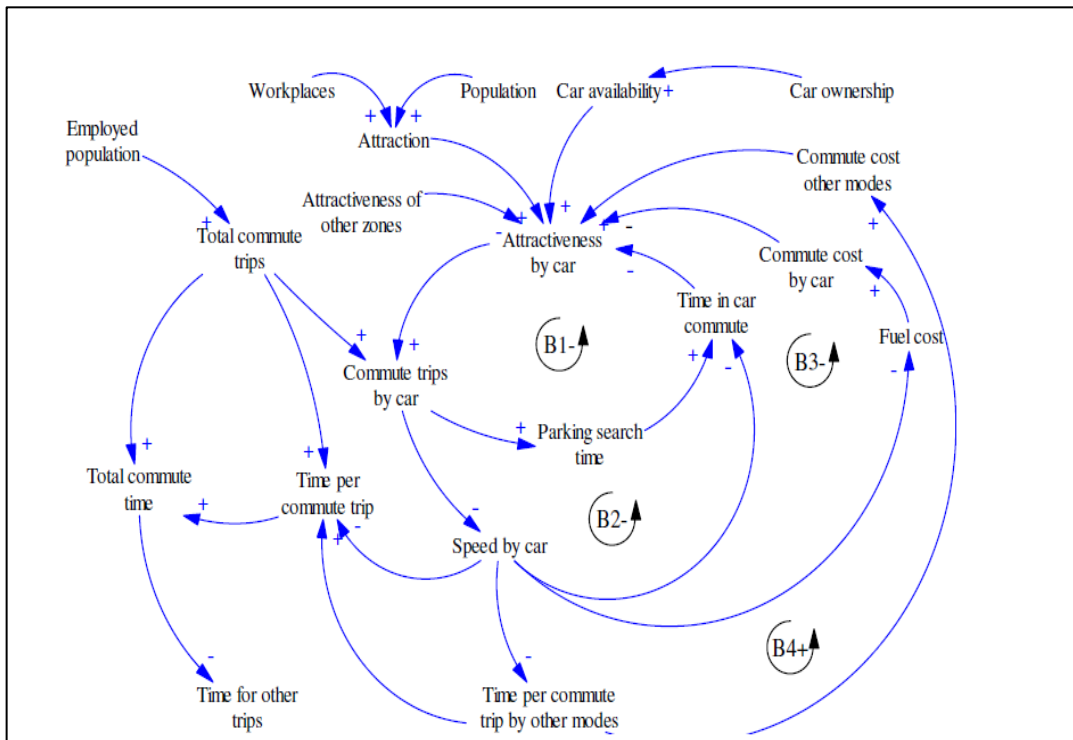
O terceiro e último módulo, apresenta a composição da frota e emissão de poluentes, neste módulo calcula-se a emissão de poluentes, leva em consideração a composição da frota e a possível evolução e, com os avanços tecnológicos a emissão de gases da frota futura.

2.2.1 Submodelo de transportes

Existem dois submodelos utilizados no MARS, o primeiro deles é o submodelo de transportes, contemplando três das quatro etapas do modelo clássico de transportes (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001) são elas: geração de viagem, distribuição de viagens e a escolha modal. Em relação à escolha modal o MARS considera da seguinte forma: lento (não motorizado: a pé ou bicicleta), carro, transporte público (ônibus), transporte público (trem) e em alguns casos as motocicletas são consideradas separadamente. Após a simulação desses submodelos os resultados apresentados são dados como velocidade média de um percurso, distribuição dos comprimentos de viagens, custos médios e número de viagens por meio de transporte, por par O-D, dividido em motivos (trabalho e outros), nos períodos pico e fora pico.

A Figura 2 apresentada por Lopes (2010) destaca alguns dos fatores que afetam o número de viagens diárias de carro entre uma zona e a forma que são feitas as configurações para a simulação, explicando ainda o que os ciclos causais representam.

Figura 2 – Diagrama de ciclos causais dos submodelos de Transporte do MARS



Fonte: Lopes (2010, p. 31)

Analisando-se a Figura 2 o ciclo causal B1 representa uma retroalimentação de equilíbrio, onde o aumento da atratividade pelo modo carro produz um aumento de viagens

pendulares de carro e consequente aumento de tempo de procura por uma vaga de estacionamento, o que provoca aumento de tempo da viagem como um todo. Este aumento no tempo de viagem acaba por reduzir a atratividade pelo modo carro, o que explica o equilíbrio do ciclo. Já no ciclo B2, que também é de equilíbrio, é demonstrado o efeito de congestionamentos, reduzindo as velocidades. No ciclo B3, também de equilíbrio, é demonstrado o consequente impacto nos custos de combustível. Os diagramas de ciclos causais (DCC) são modelos qualitativos que tem o intuito de facilitar a compreensão sobre os submodelos dinâmicos e quantitativos que compõem o modelo MARS.

2.2.2 Submodelo de uso do solo

O segundo submodelo é o de uso do solo, que combina o desenvolvimento urbano causado por localização de empreendimentos imobiliários (oferta) com a necessidade da escolha da localização de residência da população (demanda), onde segundo Lopes (2010) o resultado de uma etapa de simulação do modelo de uso do solo é a previsão da população e a distribuição dos postos de trabalho. Este submodelo contém outros dois submodelos.

O primeiro é o submodelo de criação e localização de unidades habitacionais onde os principais elementos que influenciam a escolha estão relacionados com despesas relacionadas a moradia, a acessibilidade e a qualidade da área. Com a utilização de diagramas de ciclos causais é possível apresentar a atratividade de uma zona para o empreendedor, que está relacionado com a previsão no número de habitantes para uma zona.

O submodelo apresenta círculos que representam vários fatores que são considerados e suas consequências, primeiro apresenta como o aumento de congestionamento reduz a atratividade, consequentemente a atratividade da região. A presença de círculos de alimentação positivos que é o caso que mostra como o aumento do número de residentes em uma zona pode estimular a saída de habitantes da mesma zona.

Contidos no submodelo de uso do solo existem outro submodelo, submodelo de localização de postos de trabalhos, que possui duas modelagens distintas para a localização de postos de trabalhos. Existem duas maneiras diferentes de modelar a localização dos postos de trabalho. Os novos imóveis são controlados pela taxa de crescimento econômico exógenas, enquanto a disponibilidade de terras utilizáveis, preços de terras e a acessibilidade por um modelo de transporte gravitacional (modelo Logit) usa a acessibilidade para distribuir os postos de trabalho entre as regiões. Já a segunda, o MARS permite a previsão de contração em determinadas áreas até a “morte” de setores industriais, ou seja, leva em consideração os

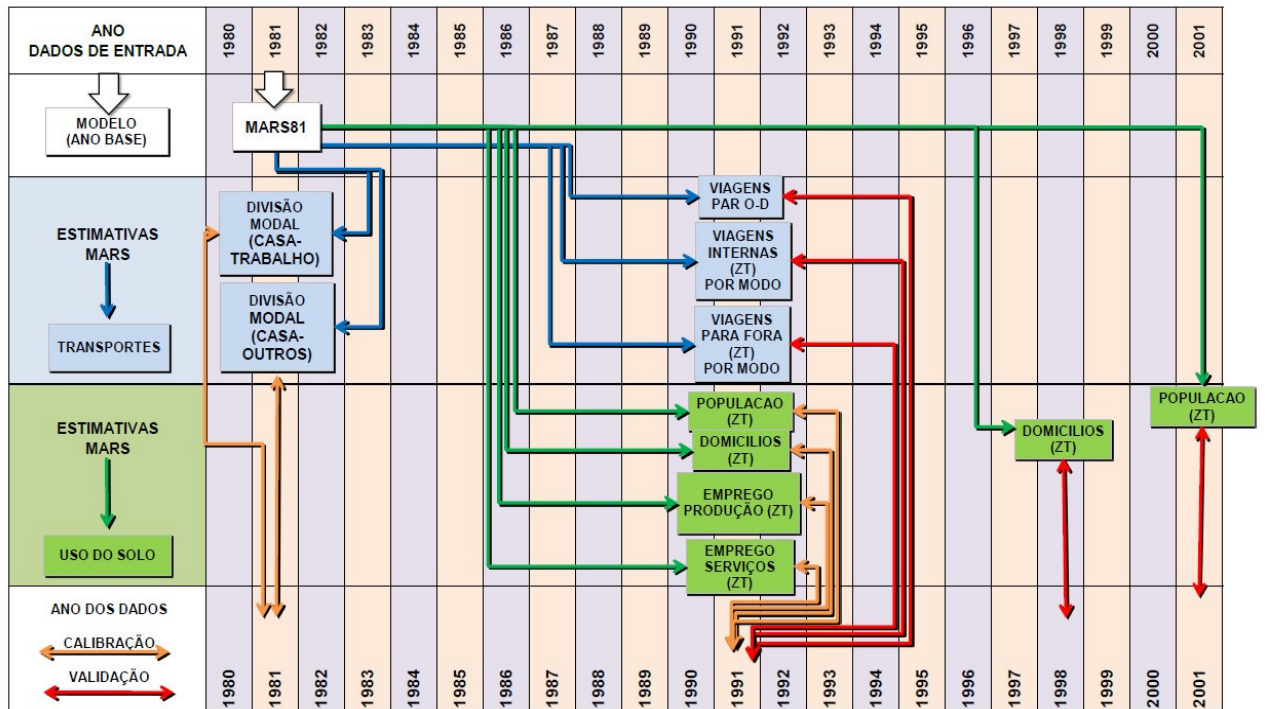
parâmetros estimados por meio de análises empíricas, esses parâmetros permitem que o modelo simule mudanças de grandes áreas industriais para áreas residenciais.

Através do módulo de avaliação e análise, são calculados indicadores que podem ser apresentados de diversas formas como valores globais, valores desagregados, por meio de transporte, tipo de viagem e pelo período (pico e fora de pico), ou também visualizados em gráficos e tabelas. Lopes (2010) destaca a relevância em apresentar os resultados utilizando mapas temáticos, pois desta forma alguns resultados podem também ser exibidos em função do tempo e espaço utilizando uma ferramenta dinâmica de SIG.

2.2.3 Aplicação do MARS Viena

O primeiro modelo ajustado do MARS foi o de Viena, para o ajuste inicial contavam-se com dados dos Censos de 1981, 1991 e 2001. Estas bases disponibilizavam dados demográficos, socioeconômicos e de viagens a trabalho que permitiam o ajuste do modelo. A cidade de Viena foi dividida em 23 distritos administrativos como zonas de análise para o ajuste do MARS81, com ano base em 1981, que realizava previsões até 2001 (PFAFFENBICHLER, 2003; PFAFFENBICHLER, 2008). A Figura 3 apresenta de forma esquemática o processo de ajuste do MARS81, apresentando os dados utilizados para calibração e validação dos modelos de transportes e de uso do solo (Lopes, 2010)

Figura 3 – Esquema do processo de ajuste do MARS81 para a cidade de Viena.

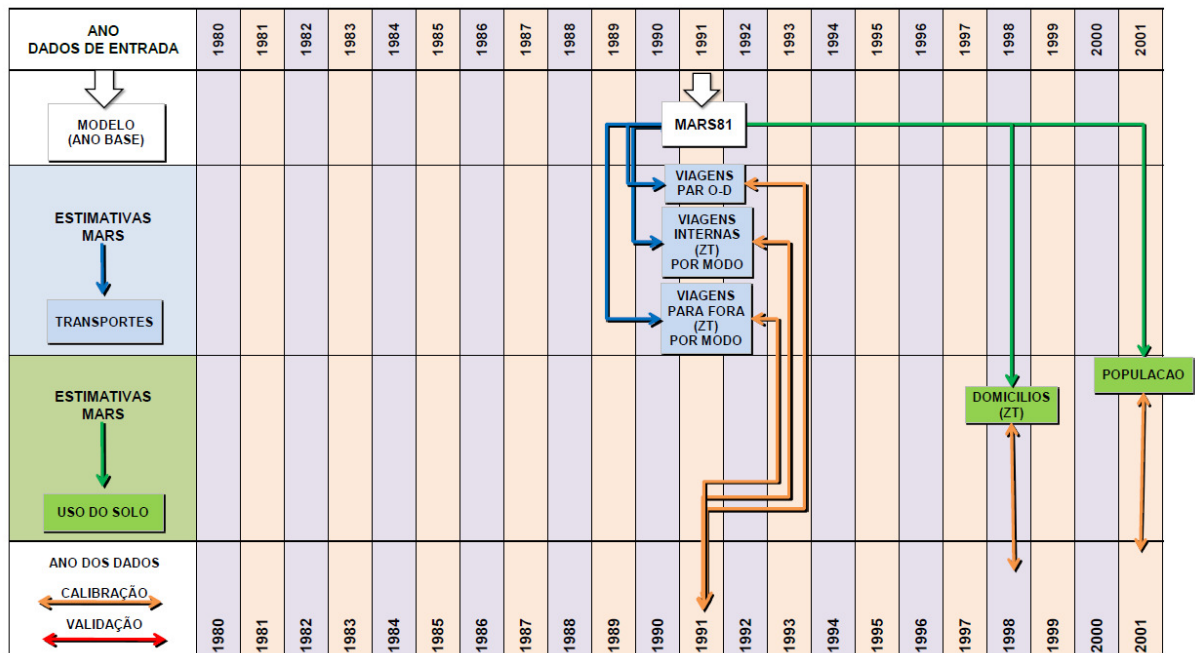


Fonte: Lopes (2010, p. 35)

O ajuste do MARS81 foi realizado em diferentes etapas. A primeira etapa foi a calibração transversal (“cross section”) dos submodelos de transporte para a divisão modal do ano de 1981. A segunda etapa compreendeu a calibração dos submodelos de uso do solo para o período entre 1981 e 1991 observando as mudanças na distribuição espacial da população. A terceira etapa foi a de validação da capacidade de o modelo estimar mudanças futuras onde ocorreram três análises: as mudanças nos sistemas de transportes entre 1981 e 1991, no número de unidades habitacionais distribuídas nas zonas de 1991 a 1998 e na distribuição espacial da população de 1991 a 2001.

O MARS91, foi alimentado com dados de 1991 e seus modelos de transportes foram levemente recalibrados com base nas informações da divisão modal de 1991. Os modelos de uso do solo do MARS91 foram ajustados com base no desenvolvimento das unidades habitacionais entre 1991 e 1998 e no desenvolvimento da população entre 1991 e 2001 conforme Figura 4.

Figura 4 – Esquema do processo de ajuste do MARS91 para a cidade de Viena.



Fonte: Lopes (2010, p. 35)

Segundo Pfaffenbichler (2003, 2008) os Planos de Desenvolvimento Urbano e de Tráfego, desenvolvidos para a cidade em 1994, definiram políticas e medidas de planejamento urbano e de transportes com objetivo de redução dos impactos do tráfego sobre o ambiente e a saúde, aumento de segurança no trânsito e de redistribuição do espaço urbano para pedestres e ciclistas. Havendo uma comparação entre os dados estimados pelo modelo do MARS com os objetivos estimados pela cidade de Viena, avaliando-se assim quais medidas poderiam contribuir ou não para que a cidade atingisse suas expectativas (PFAFFENBICHLER, 2003; PFAFFENBICHLER, 2008).

2.3. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MARS

A calibração é realizada com o intuito de dar confiabilidade à simulação. Define-se calibração, como a estimativa de parâmetros do modelo de forma a ajustar os resultados das estimativas a um conjunto de dados observados, enquanto, a validação é o processo para avaliar a conformidade entre os resultados da simulação, utilizando-se o modelo calibrado e os dados observados (LOPES, 2010).

Em sua tese Lopes (2010) enfrentou dificuldades durante esses processos pela inexistência de dados históricos anteriores à 2003, que permitissem ajustar um modelo MARS

Porto Alegre, conforme o método aplicado por Pafffenbichler (2003) para o MARS Viena. Com a existência de dados de pesquisas OD para Porto Alegre nos anos de 1974, 1986 e 2003 e de dados dos Censos do IBGE para 1970, 1980, 1991 e 2000, Lopes (2010) descreve a sua tentativa frustrada de ajustar um modelo MARS Porto Alegre 1974. Os dados existentes tiveram que ser colocados em formato digital, porém não estavam num nível de detalhe exigido para alimentar totalmente o modelo MARS POA 1974. Somente 56% dos dados necessários para executar o modelo foram alimentados. Partindo assim a autora para o ajuste de um modelo MARS com ano base 2003, que foi possível pelo nível de detalhe da base de dados da pesquisa OD de 2003 e demais bases de dados existentes para a área de estudo na época.

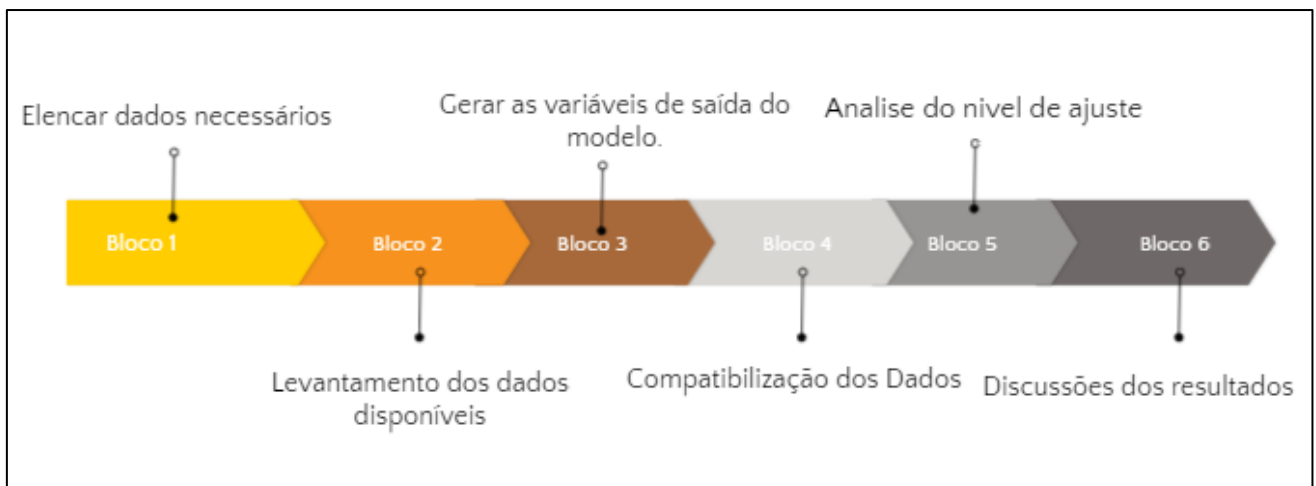
Os submodelos de transportes do MARS POA 2003 foram calibrados para os dados do ano base, porém não foi possível a calibração dos submodelos de uso do solo. Isto ocorreu porque estes submodelos devem ser calibrados para as mudanças ocorridas num período de aproximadamente 10 anos na população, no número de unidades habitacionais e nos postos de trabalho da área de estudo (LOPES, 2010). A autora sugeriu para trabalhos futuros, a possibilidade da calibração dos submodelos de uso do solo com os dados do Censo 2010, cuja viabilidade será avaliada no presente trabalho.

Portanto pretende-se levantar a existência de dados socioeconômicos, de uso do solo e de transportes para a área de estudo dentro deste período de tempo, considerando o ponto de partida 2003, para depois comparar com as estimativas do MARS. Adicionalmente, pretende-se avaliar a viabilidade de se validar os submodelos de transporte para estimativas futuras (posteriores a 2003). Embora não se tenha conhecimento de uma Pesquisa OD realizada para Porto Alegre desde 2003, sabe-se que muitas informações de mobilidade têm sido monitoradas por meios digitais (BIG DATA). Pretende-se, assim, avaliar a existência de dados de mobilidade que possam ser comparados com os dados de saída do MARS.

3. MÉTODO

Este capítulo apresenta o método aplicado neste trabalho, que estão diretamente ligadas aos objetivos específicos elencados no Capítulo 1. Pretende-se que os passos aqui apresentados, divididos em 6 (seis) blocos, sirvam de guia para o desenvolvimento deste e de próximos trabalhos similares, atendendo ao primeiro objetivo específico. Os blocos esquematizados na Figura 05 estão descritos na sequência.

Figura 05: Esquema de blocos utilizados para desenvolvimento do método.



Fonte: Autor (2021)

- Bloco 1 – Pretende-se elencar os dados necessários para validação e calibração dos modelos de uso do solo e de transportes de um modelo LUTI Dinâmico. Sendo necessário entender o funcionamento do modelo e suas necessidades, busca-se na literatura, estudos semelhantes e como foi realizado o processo de calibração e validação destes modelos. É importante gerar uma lista de possíveis dados, suas descrições, para quantos anos após o ano base pode-se considerar para calibração dos modelos de uso do solo e validação dos modelos de transportes para estimativas futuras.
- Bloco 2 – A partir dos dados elencados anteriormente, pretende-se levantar os dados disponíveis para a área de estudo através de fontes secundárias para períodos posteriores ao ano base. Levantar as possíveis fontes (IBGE, Prefeituras, e outras fontes públicas do governo), verificar a forma de se obter

estes dados. Deve-se estudar a forma de obtê-los, em que formato se encontram, que ferramentas devem ser utilizadas para possíveis tratamentos e análises para deixá-los adequados. Neste caso, a lista preparada na etapa anterior é essencial para melhor comunicação caso seja necessário contato com técnicos e gestores públicos.

- Bloco 3 – Com base na lista de dados elaborado na etapa anterior é necessário obter as variáveis de saída do modelo para estimativas futuras compatíveis com os anos dos dados obtidos para a área de estudo. Sendo necessário entender o funcionamento do modelo, e qual a nomenclatura das variáveis dentro do modelo que correspondem aos dados que necessitamos.
- Bloco 4 – Realizar o tratamento dos dados observados para a área de estudos, obtidos no bloco 2, para compatibilizar com o formato das variáveis de saída do modelo em análise (no caso deste estudo, o MARS Porto Alegre 2003). Muitas vezes os dados de diferentes fontes pesquisadas estão em diferentes níveis de agregação. Por exemplo, os dados dos censos do IBGE são disponibilizados em setores censitários que agrupam, em média, 300 residências. Neste caso, os dados encontram-se em formatos mais desagregados que os dos estudos de transportes, que geralmente são organizados em zonas de tráfego, maiores que os setores censitários. Em alguns casos os limites destas zonas não coincidem com os limites dos setores censitários, ou até mesmo as bases georreferenciadas para as diferentes fontes, possuem sistemas de coordenadas geográficas diferentes, também, o que causa problema na sobreposição destas informações. Nesta etapa será preciso o uso de ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG e o auxílios de análises estatísticas utilizando planilhas eletrônicas, para deixar os dados obtidos para a área de estudo compatíveis de comparação com as variáveis estimadas pelo modelo para o mesmo ano de análise. No caso deste estudo, dados de população obtidos para a área de estudo para o ano de 2010 deve estar no mesmo nível de zoneamento que as estimativas de distribuição espacial da população geradas pelo modelo para o ano de 2010.
- Bloco 5 – Nesta etapa serão analisados os níveis de ajustes entre as estimativas do modelo e os dados observados para a área de estudo. Uma vez que as informações tenham sido compatibilizadas conforme descrito no bloco 4, podemos realizar a análise comparativa das variáveis em estudo. Ferramentas

e métodos estatísticos adequados. São aplicadas as técnicas de regressão linear simples para avaliar o quanto os dados estimados estão ajustados ou não aos dados observados e análise da distribuição espacial dos erros através de ferramentas de SIG para verificar onde estão as maiores distorções. Esta última análise vai ajudar a entender os motivos que levaram às distorções e dar subsídios para o posterior processo de calibração e validação do modelo.

- Bloco 6 - Discussão dos resultados obtidos através da aplicação dos métodos de análise.

O método utilizado neste estudo é “ex-post”. O modelo calibrado por Lopes (2010) para o ano de 2003 é utilizado para validar a capacidade de estimar mudanças futuras. Para analisar se a distribuição da população, da população empregada e de residências é condizente com a estimativa do MARS Porto Alegre é possível utilizar o Censo IBGE 2010 como fonte. Para analisar a realocação de oferta de empregos seria necessário contar com dados da prefeitura a esse respeito. Estes dados poderiam ser de qualquer período entre 2010 e 2020.

A área de estudo é a cidade de Porto Alegre que está dividida em 2433 setores censitários sendo o código inicial 43149020500001 e o final 431490205002433, todos os números contidos entre o inicial e o final - incluindo-os - trazem informações referentes aos seus respectivos setores. Para cada setor existem inúmeras variáveis analisadas pelo IBGE, para auxiliar na interpretação é utilizado o manual do órgão que traz consigo a descrição de cada variável das 26 planilhas disponibilizadas.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentadas as aplicações do método. O método foi dividido em blocos e iniciou-se com buscas relacionadas ao assunto, obtenção e compatibilização dos dados para a área de estudo para então realizar análises comparativas com os dados obtidos através dos dados estimados pelo MARS.

4.1 BLOCO 1 - LEVANTAMENTO DOS DADOS NECESSÁRIOS.

A dificuldade constante na obtenção de dados é um desafio em estudos de mobilidade. A literatura e o estudo do MARS VIENA (entre outros) observou-se a necessidade de cinco tipos diferentes de dados para alimentar o modelo: Taxas anuais de crescimento, dados escalares básicos, dados vetoriais básicos de automóveis e dados matriciais.

Para as taxas anuais de crescimento buscam-se dados do crescimento anual de residentes, pontos de trabalho e posse de veículos. Essas informações estão contidas nos censos realizados pelo IBGE no âmbito de residentes, pontos de trabalho ocorre junto a prefeitura municipal, ou em sindicatos e associações relacionadas ao comércio e varejo.

Dados escalares básicos são 16 variáveis divididos em 5 blocos referente à cidade de estudo contendo informações da mobilidade, moradia, pedestre, carro privado e transporte público referente a cidade no ano zero do modelo.

Enquanto os dados escalares básicos são indicadores para a cidade como um todo, os dados vetoriais básicos devem estar agregados por ZTs, ou seja, os números obtidos através desses indicadores representam o valor para cada uma das zonas de tráfego. Ao todo são 25 dados que são divididos em 5 blocos, domicílios, moradia, trabalho, posse veículos e área de desenvolvimento urbano.

Assim como os dados vetoriais básicos os dados vetoriais de automóveis apresentados por sua respectiva zona de tráfego. São 16 variáveis relacionadas à distância e custo de estacionamento.

Dados matriciais é o último tipo a ser coletado, porém não o mais simples, pois se trata de 29 matrizes quadradas que se relacionam de forma direta com outras ZTs trazendo dados referentes ao modo slow, carro e transporte público.

Embora seja necessária esta grande quantidade de dados para alimentar o modelo MARS para o ano base, no processo de calibração dos submodelos de uso do solo e validação

dos submodelos de transportes necessitamos somente dados que correspondam as respostas das estimativas futuras referentes a população, residências, posto de trabalho, distribuição modal, número de viagens nas zonas e entre zonas, conforme demonstrado no esquema da Figura 3 apresentada no Capítulo 2.

Segundo Pfaffenbichler (2003) os impactos no uso do solo ocorrem em períodos posteriores, em torno de dez (10) anos. Esses dados podem ser observados através da distribuição espacial da população, de população empregada, de residências coletados a partir dos censos do IBGE a cada dez anos. Pfaffenbichler (2003) usou dados de 10 (dez) e 20 (vinte) anos posteriores para calibrar seu modelo MARS81 para a cidade de Viena (vide Figura 3, Capítulo 2). Tem-se a disponibilidade de dados do Censo de 2010, ocorrido sete anos após o ano base do MARS Porto Alegre 2003. Acredita-se que mesmo sendo em um período um pouco inferior a 10 (dez) anos, estes dados podem ser úteis. Infelizmente o Censo de 2020 não foi realizado em função da pandemia COVID-19 e não pode ser aplicado nesta pesquisa.

Para validação das estimativas futuras dos submodelos de transportes seria ideal a existência de uma Pesquisa OD posterior a 2003 ou, com a inexistência desta, outros dados de mobilidade coletados por outras fontes pesquisas ou por BIG DATA, que possam ser comparados com as estimativas do MARS, como por exemplo: Número de viagens por Zona de Tráfego (atraídas e originadas) nos horários de pico e fora de pico, divisão modal (carro, transporte público, a pé e bicicleta) nos horários de pico e fora de pico, número de viagens por par OD, tempo de viagem entre zonas, por modo e velocidades medias entre zonas.

É importante verificar se os valores totais projetados para a cidade, através das taxas anuais de crescimento estimadas, como população total, população empregada, número de total de residências, frota total de veículos, número total de empregos estão ajustados aos dados observados para a área de estudo em anos posteriores.

4.2 BLOCO 2 - OBTENÇÃO DOS DADOS SECUNDÁRIOS.

























Com base nos dados apontados no bloco 1 iniciou-se o processo de obtenção dos dados disponíveis para a calibração e validação dos submodelos de uso do solo e de transportes.

4.2.1 Dados do IBGE

O Censo do IBGE é a principal fonte de obtenção de dados para as taxas anuais de crescimento, apresenta-os de forma escalonada, do maior para o menor, seguindo a ordem de: país, grandes regiões, Estados, mesorregiões, microrregiões, regiões metropolitanas, municípios, distritos, subdistritos, áreas de ponderações e por fim os setores censitários.

Para as análises foram considerados os setores censitários, definidos como a unidade de coleta e controle cadastral. A área do setor deve respeitar os limites territoriais legalmente definidos e daqueles estabelecidos pelo IBGE para fins estatísticos. Os limites do Setor censitário foram definidos, preferencialmente, por pontos de referência estáveis e de fácil identificação no local (IBGE, 2010). A Figura 06 a seguir apresenta o arquivo base disponibilizado pelo IBGE contendo o arquivo base para cada um dos estados e os manuais informativos utilizado para compreensão das informações contidas nos arquivos.

Figura 06 - Arquivos disponibilizado pelo IBGE

	BASE DE INFORMAÇÕES POR SETOR C...	05/04/2018 14:38	Microsoft Word 9...	3.847 KB
	BASE DE INFORMAÇÕES POR SETOR C...	05/04/2018 14:38	Adobe Acrobat D...	2.343 KB
	Descrição_AC	19/04/2016 15:56	Microsoft Excel 97...	488 KB
	Descrição_AL	19/04/2016 16:09	Microsoft Excel 97...	2.025 KB
	Descrição_AM	19/04/2016 16:30	Microsoft Excel 97...	2.699 KB
	Descrição_AP	20/04/2016 11:07	Microsoft Excel 97...	431 KB
	Descrição_BA	20/04/2016 16:29	Microsoft Excel 97...	12.684 KB
	Descrição_CE	25/04/2016 16:43	Microsoft Excel 97...	6.968 KB
	Descrição_ES	25/04/2016 09:58	Microsoft Excel 97...	4.168 KB
	Descrição_MA	25/04/2016 12:44	Microsoft Excel 97...	5.453 KB
	Descrição_MG	26/04/2016 07:37	Microsoft Excel 97...	22.807 KB
	Descrição_Município_SP_Capital	26/04/2016 11:27	Microsoft Excel 97...	8.190 KB
	Descrição_PA	27/04/2016 08:12	Microsoft Excel 97...	3.892 KB
	Descrição_PB	27/04/2016 15:18	Microsoft Excel 97...	3.046 KB
	Descrição_PE	28/04/2016 11:31	Microsoft Excel 97...	6.184 KB
	Descrição_PI	28/04/2016 16:12	Microsoft Excel 97...	2.964 KB
	Descrição_PR	02/05/2016 09:08	Microsoft Excel 97...	8.628 KB
	Descrição_RJ	03/05/2016 17:20	Microsoft Excel 97...	15.442 KB
	Descrição_RN	03/05/2016 17:34	Microsoft Excel 97...	1.975 KB
	Descrição_RO	03/05/2016 18:02	Microsoft Excel 97...	1.443 KB
	Descrição_RR	03/05/2016 18:06	Microsoft Excel 97...	523 KB
	Descrição_SE	03/05/2016 18:11	Microsoft Excel 97...	1.629 KB
	Descrição_TO	03/05/2016 18:21	Microsoft Excel 97...	1.151 KB
	Descrição_UF_SP_Exceto_capital	04/05/2016 08:52	Microsoft Excel 97...	24.950 KB

Fonte: Autor (2020)

Criando uma planilha denominada “Dados IBGE” iniciou-se a coleta dos dados que seriam analisados, para a organização a primeira coluna apresenta os códigos dos setores censitários e as colunas seguintes possuem o código da variável analisada, conforme Figura 07. O Quadro 1 apresenta o nome de cada variável coletada e sua respectiva descrição. Dentre as 26 planilhas disponibilizadas pelo IBGE foram coletados dados em 3 (três) delas: Básico_RS, Domcilio01_RS e ResponsavelRenda_RS.

Figura 07 - Tabela utilizada para a coleta de dados disponibilizados pelo IBGE.

Cod_setor	V001	V002	DV011	DV105	DV144	DV183	DV_total	PV001	PV002	PV003	PV004	PV005	PV006	PV007	PV008	PV009	PV_total
431490205000001	138	279	0	0	0	0	0	0	5	28	20	37	20	9	7	9	135
431490205000002	77	138	0	0	0	0	0	0	3	23	9	15	14	3	0	2	69
431490205000003	284	629	0	0	0	0	0	0	16	41	42	47	75	17	11	13	262
431490205000004	162	317	0	0	0	0	0	0	7	23	30	29	32	12	11	12	156
431490205000005	191	383	4	0	0	4	8	0	21	61	41	27	23	6	1	1	181
431490205000006	208	510	1	0	0	1	2	0	13	43	42	53	35	8	2	3	199
431490205000007	173	327	2	0	0	2	4	0	10	33	36	36	33	7	4	3	162
431490205000008	122	242	3	0	0	3	6	3	4	19	18	20	30	8	9	8	119
431490205000009	184	383	0	0	0	0	0	1	19	46	32	34	31	11	2	3	179
431490205000010	136	279	0	0	0	0	0	0	8	17	26	20	28	7	4	5	115
431490205000011	162	296	0	0	0	0	0	0	2	34	26	40	45	5	5	3	160
431490205000012	249	566	0	0	0	0	0	1	8	26	27	44	66	22	22	22	238
431490205000013	187	392	0	0	0	0	0	1	9	39	16	38	46	11	7	14	181
431490205000014	186	311	0	0	0	0	0	0	11	35	38	45	43	4	4	1	181
431490205000015	239	538	0	0	0	0	0	0	6	12	28	45	69	23	17	32	232
431490205000016	219	438	0	0	0	0	0	1	9	32	19	37	62	14	17	15	206
431490205000017	302	618	0	0	0	0	0	1	13	34	29	36	79	20	31	52	295
431490205000018	137	245	1	0	0	1	2	1	4	14	9	30	35	11	18	10	132
431490205000019	144	272	0	0	0	0	0	0	2	21	20	32	45	9	4	2	135
431490205000020	307	603	0	0	0	0	0	0	6	32	35	53	82	33	33	26	300
431490205000021	251	468	1	0	0	1	2	0	14	36	44	66	57	10	4	5	236
431490205000022	183	380	0	0	0	0	0	0	3	14	25	41	50	19	9	15	176
431490205000023	276	562	0	0	0	0	0	0	11	40	42	53	62	23	15	15	261
431490205000024	271	633	0	0	0	0	0	0	9	46	48	62	45	13	12	15	250
431490205000025	227	474	0	0	0	0	0	0	1	43	32	36	55	21	9	8	205
431490205000026	156	290	1	0	0	1	2	0	6	31	23	29	39	9	6	3	146
431490205000027	126	316	0	0	0	0	0	1	6	15	11	17	29	20	11	12	122

Fonte: Autor (2020)

Quadro 1 - Variáveis analisadas e suas respectivas descrições

Nome Variável	Descrição
V001	Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes.
V002	Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes.
DV011	Domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação
DV105	Domicílios particulares permanentes do tipo casa em outra condição

DV144	Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio em outra condição
DV183	Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento em outra condição.
DV_total	Soma dos campos V011, V105, V144 e V183
PV001	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até ½ salário mínimo
PV002	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de ½ a 1 salário mínimos
PV003	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 1 a 2 salário mínimos
PV004	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 2 a 3 salário mínimos
PV005	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 3 a 5 salário mínimos
PV006	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 5 a 10 salário mínimos
PV007	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 10 a 15 salário mínimos
PV008	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de 15 a 20 salário mínimos
PV009	Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 20 salários mínimos
PV_total	Soma dos campos PV001 a PV009.

Fonte: Autor (2020)

4.2.2 Dados Prefeitura de Porto Alegre

Para a obtenção de dados referentes a realocação da oferta de emprego entre 2010 e 2020 e dados de mobilidade como os destacados no Bloco 1 iniciou-se a consulta dos dados da Prefeitura de Porto Alegre. A busca dos dados teve início com a consulta no portal do município ObservaPOA que disponibilizaria as informações desejadas, com a descoberta da não existência de uma pesquisa O-D realizada após 2003 o volume de dados encontrados era insuficiente. A

expectativa por dados fez com que fosse necessário entrar em contato com pessoas dos órgãos relacionados.

O contato inicial se deu via e-mail com a arquiteta e urbanista Julia Freitas, Gerente de Desenvolvimento e Inovação da Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre (EPTC), que gentilmente retornou o e-mail sinalizando a dificuldade na obtenção dos dados solicitados, contudo nos encaminhou ao responsável pela Equipe de Simulação e Estudos de Tráfego da EPTC, Fagner Sutel de Moura, com o intuito de auxiliar com sugestões de adaptações para obtenção de dados alternativos. Em conversas, constatou-se a existência de dados referente à alvarás de serviços categorizados entre comércio e serviço, que poderiam ser úteis para o desenvolvimento de análises, contudo como os dados estavam em processo de georreferenciamento não haveria tempo hábil para utilização neste estudo.

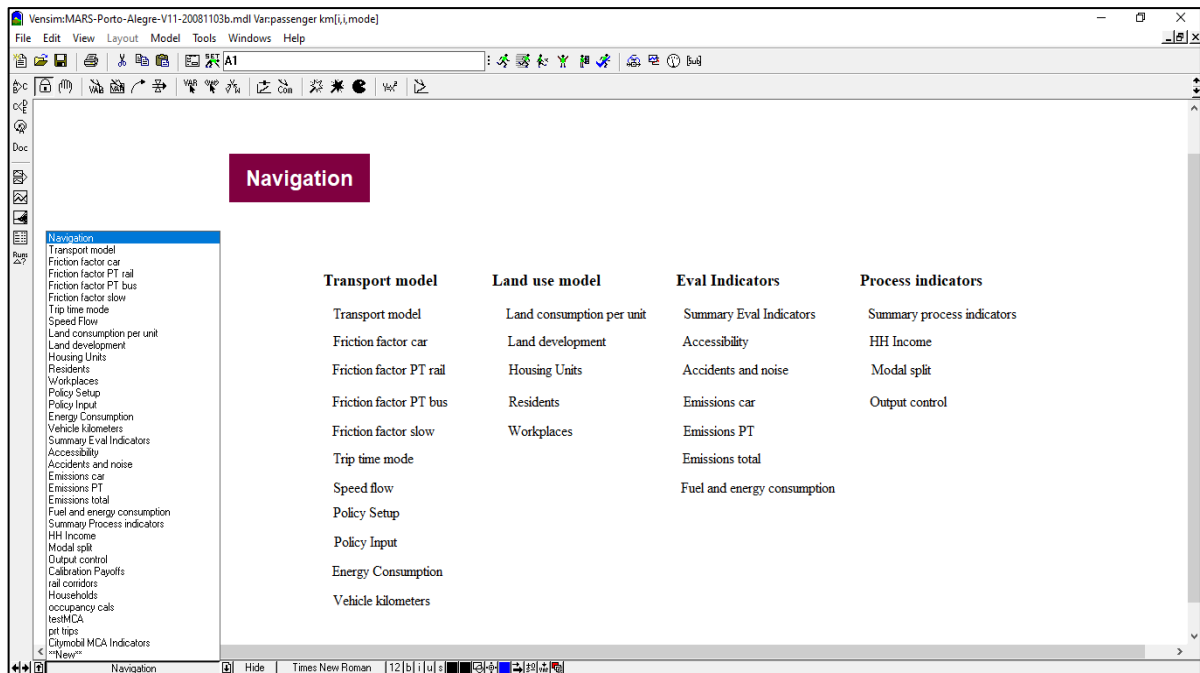
Conforme descrito no Bloco 1 ao contar com os dados do Censo IBGE 2010 foi possível realizar análises referentes à distribuição da população, da população empregada e de residenciais. Por outro lado, tornam-se inviáveis para o presente estudo análises referentes a realocação de oferta de empregos e de estimativas submodelos de transportes.

4.3 BLOCO 3 - GERAÇÃO DOS DADOS DO MARS – ESTIMATIVAS FUTURAS

O modelo MARS utilizado neste trabalho é o mesmo desenvolvido e utilizado por Pfaffenbichler (2003), após as calibrações realizadas por Lopes (2010) para a cidade de Porto Alegre no ano base de 2003. Utilizando o software Vensim® a tela inicial do modelo apresenta uma tela onde podemos navegar entre os diversos submodelos disponíveis, a navegação também pode ocorrer pela barra lateral conforme Figura 8.

A seleção das variáveis consideradas à análise foi baseada nos dados disponíveis para a realização de posteriores comparações, levando em conta os dados elencados no Bloco 1 que possuíam versões posteriores às utilizadas por Lopes (2010) elaborou-se a Quadro 02, onde de um lado são apresentados os dados disponíveis através do IBGE e de outro a variável selecionada para comparação.

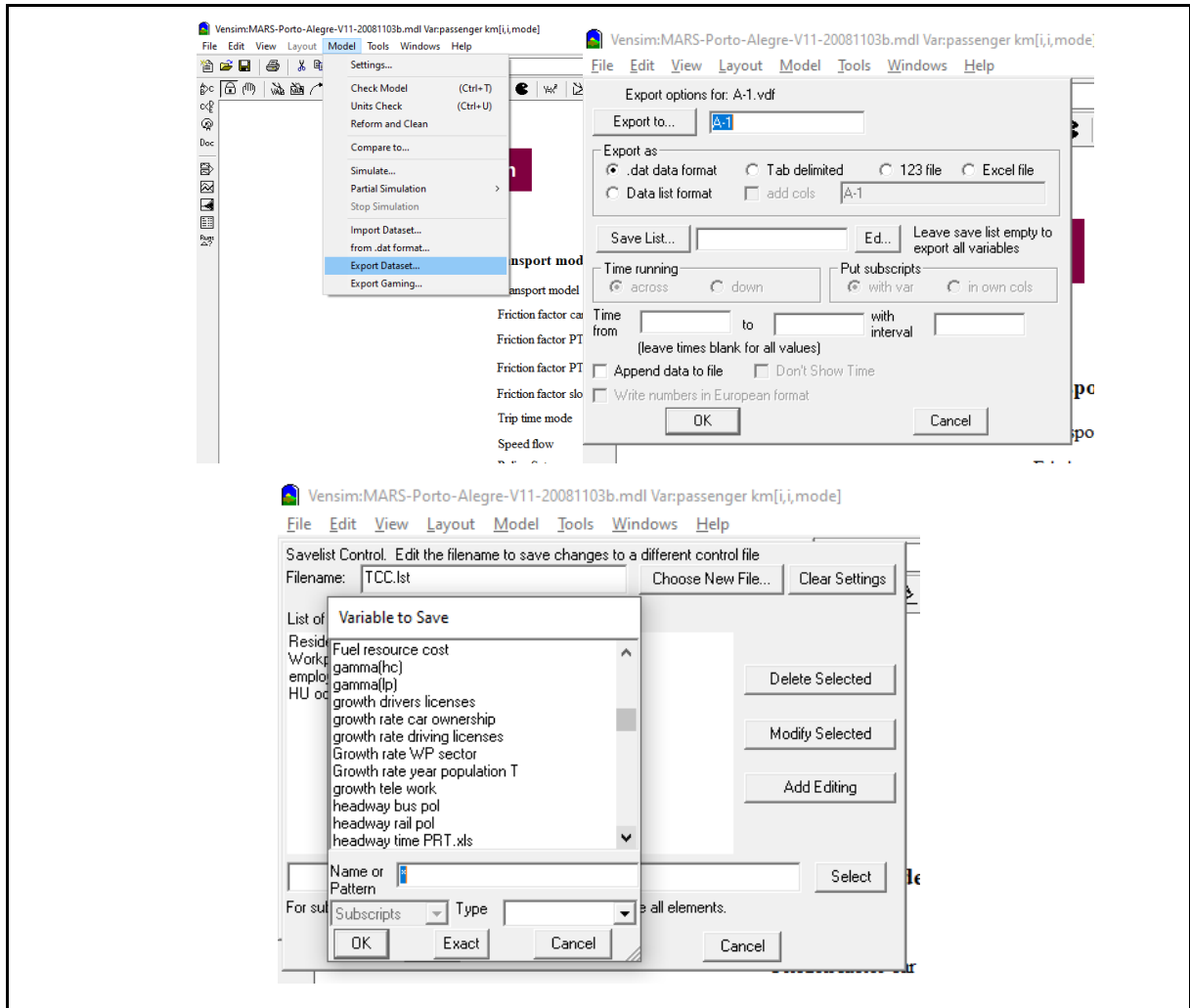
Figura 08 - Tela inicial do VENSIM ao executar o modelo MARS.



Fonte: Autor (2020)

Para exportar os dados é necessário selecionar a opção “Model” na barra de ferramentas em seguida “Export Dateset” onde será aberta uma nova tela que permite escolher um arquivo como base, no caso foi utilizado o cenário A-1, cenário de referência do estudo de Lopes (2010) que representa a cidade de Porto Alegre. O próximo passo é a criação de uma lista com as variáveis que foram consideradas como as mais adequadas para o estudo. Escolher o formato e destino que o arquivo deve ser salvo, o formato Excel foi o escolhido. Os passos foram demonstrados na Figura 09.

Figura 09 - Demonstração dos processos realizados para obtenção dos dados gerados através do MARS.



Fonte: Autor (2020)

Com os dados do Censo IBGE 2010 elencados anteriormente, analisaram-se as variáveis correspondentes, que foram as seguintes:

- Residents $J[ai]$ - Número de residentes por zona de tráfego;
- HU occupied $J[ai]$ - Número de domicílios ocupados por zona de tráfego;
- Employed Population $[ai]$ - população empregada por zona de tráfego;
- cars $[ai]$ - frota de veículos particulares em Porto Alegre, conforme classificação do DETRAN-RS;
- workplaces $[ai]$ - postos de trabalho por zona de tráfego;

Os dados no Excel são apresentados conforme a Figura 10, com a primeira coluna descrevendo a qual variável e zona de tráfego (*i*) a informação se refere, tendo em vista que as variáveis são apresentadas para cada uma das 96 zonas de tráfego consideradas no MARS Porto Alegre 2003. Os números na linha superior representam os anos subsequentes a simulação do modelo onde o número 0 (zero) representa o ano de 2003 ano base do modelo e a coluna que iremos investigar é a de número 7 (sete) que representa o ano de 2010. As simulações são feitas para um período de até 30 (trinta) anos.

Figura 10 - Modelo que os dados gerados através da utilização do Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1 Time		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 Residents J[a1]		1	13,93719	35,0409	62,90134	97,40808	138,8996	188,1163	242,8078	297,6535	349,2734	396,0561
3 Residents J[a2]		5118,914	5202,668	5230,762	5241,424	5246,766	5250,613	5254,167	5257,8	5261,642	5265,766	5270,208
4 Residents J[a3]		2959,997	3028,818	3050,593	3057,483	3059,663	3060,353	3060,571	3060,64	3060,662	3060,668	3060,671
5 Residents J[a4]		12636,93	12724,01	12752,58	12762,68	12766,99	12769,51	12771,51	12773,4	12775,31	12777,31	12779,4
6 Residents J[a5]		17486	17606,55	17646,5	17661,02	17667,55	17671,6	17674,92	17678,09	17681,3	17684,63	17688,1
7 Residents J[a6]		1	8,678225	11,51642	12,94891	14,08864	15,325	16,83985	18,66203	20,68797	22,83916	25,06911
8 Residents J[a7]		5501,637	5534,013	5544,257	5547,498	5548,523	5548,849	5548,951	5548,983	5548,994	5548,997	5548,998
9 Residents J[a8]		6861,001	7050,744	7111,561	7131,674	7139,014	7142,419	7144,676	7146,663	7148,666	7150,79	7153,074
10 Residents J[a9]		1	7,835938	9,998871	10,68324	10,89977	10,96829	10,98997	10,99683	10,999	10,99968	10,9999
11 Residents J[a10]		10256,49	10386,26	10429,02	10444,39	10451,23	10455,53	10459,15	10462,69	10466,36	10470,25	10474,39
12 Residents J[a11]		941,4701	1029,046	1060,13	1074,341	1084,401	1094,304	1104,287	1114,403	1124,747	1135,407	1146,364

Fonte: Autor (2020)

Os dados obtidos do MARS foram elencados em uma nova tabela, denominada “Tratamento de Dados”. Dentro deste arquivo os dados foram separados por abas, onde cada uma das abas representa a variável analisada. O objetivo de gerar variáveis que pudessem ser comparadas aos dados observados através do IBGE foi atingido de forma satisfatório devido ao fato de que todas as variáveis coletadas no censo obtiveram variáveis correlacionadas para comparação, conforme Quadro 02 a seguir que apresenta as variáveis que foram comparadas.

Quadro 02 – Dados comparados entre IBGE e MARS

IBGE		MARS	
Variável	Descrição	Variável	Descrição
V001	Domicílios particulares permanentes	HU occupied J[ai]	Número de domicílios ocupados
V002	População residente em domicílios particulares permanentes.	Residents J[ai]	Residentes por zona de tráfego.

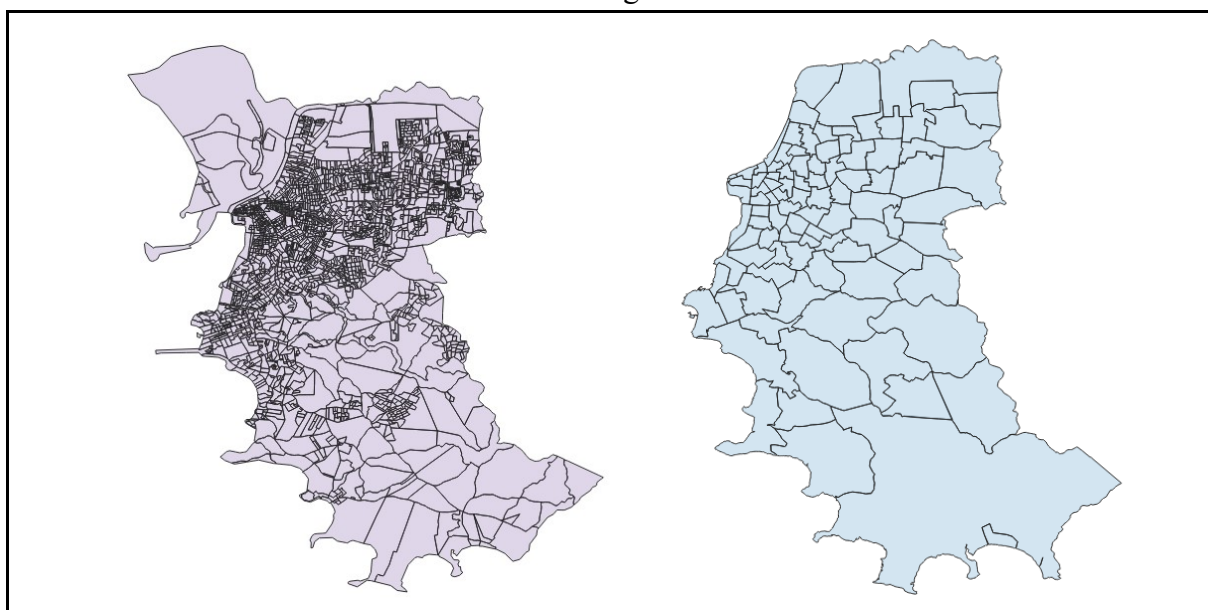
DV_total	Soma dos endereços não comerciais	workplaces [ai]	Postos de trabalho por zona de tráfego
PV_total	Pessoas com renda	Employed Population [ai]	População empregada

Fonte: Autor (2021)

4.4 BLOCO 4 – COMPATIBILIZAÇÃO DOS DADOS ESTIMADOS AOS DADOS OBSERVADOS

A realização de uma análise entre dados requer que ambos estejam no mesmo nível de agregação, os dados do Censo do IBGE estão apresentados no formato de setores censitários enquanto os gerados através do MARS por zona de tráfego, isso requer que sejam realizados ajustes para a compatibilização dos dados e uma análise posterior. Para isso utilizou-se da ferramenta SIG. Na Figura 11 a seguir é possível observar a diferença no nível de agregação entre as 96 zonas de tráfego do MARS e os 2433 setores censitários do IBGE.

Figura 11 - Diferença do nível de agregação entre ZT e Setores Censitários para a cidade de Porto Alegre-RS.



Fonte: Autor (2020)

O processo de compatibilização teve início com a inserção de duas camadas e a tabela ao SIG, as camadas adicionadas foram: Zonas de Tráfego e Setores Censitários. A tabela adicionada foi a elaborada durante o bloco 2 (Dados IBGE). Com os itens adicionados realizou-se a união entre a camada dos setores censitários e a tabela Dados IBGE, criando assim uma tabela de atributos com mais informações como é possível observar nas Tabelas 01 e 02 a seguir.

Tabela 01 - Tabela de atributos antes da união dos dados.

ID1	CD_GEOCODI	TIPO	CD_GEOCODB	NM_BAIRRO	CD_GEOCODD	NM_DISTRIT	CD_GEOCODS	NM_SUBDIST	CD_GEOCODM	NM_MUNICIP	NM_MESO	NM_MICRO
1	231886	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
2	231885	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
3	231888	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
4	231887	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
5	231890	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
6	231889	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
7	231892	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
8	231891	URBANO	431490205064	Jardim Itu-Sabará	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
9	231796	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
10	231795	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
11	231798	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
12	231797	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
13	231800	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
14	231799	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
15	231968	URBANO	431490205061	Sarandi	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
16	231801	URBANO	431490205057	Vila Ipiranga	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
17	231970	URBANO	431490205061	Sarandi	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
18	231969	URBANO	431490205061	Sarandi	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
19	231836	URBANO	431490205052	Jardim São Pedro	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE
20	231971	URBANO	431490205061	Sarandi	431490205	PORTO ALEGRE	431490205	PORTO ALEGRE	4314902	PORTO ALEGRE	METROPOLITA...	PORTO ALEGRE

Fonte: Autor (2021)

Tabela 02 - Tabela de atributos após a união das informações.

Cod_setor	V001	V002	V003	V005	V009	V005_1	V006	V007	V008	V009_1	V010	V011	
431490205002108	176	563	3,2	2387,8	1276,71	0	1	3	32	42	37	37	13
431490205002107	107	380	3,55	2352,3	1273,3	0	0	4	16	36	13	22	11
431490205002110	193	582	3,02	1387,49	982,7	0	1	11	38	69	34	21	9
431490205002109	189	520	2,75	1907,85	1164,67	0	1	1	30	75	42	27	9
431490205002112	238	697	2,93	1709,63	1249,5	1	1	5	34	86	57	39	12
431490205002111	143	496	3,47	2041,38	1128,34	0	0	2	24	59	25	19	5
431490205002114	271	800	2,95	736,39	622,7	1	9	36	93	97	19	10	2
431490205002113	265	776	2,93	681,45	501,79	2	14	56	125	50	8	5	0
431490205002084	311	829	2,67	1292,46	906,19	0	1	11	88	119	47	27	12
431490205002083	271	523	1,93	1229,02	975,24	0	1	7	54	102	70	29	6
431490205002086	312	779	2,5	1203,19	907,23	1	5	18	63	127	55	31	4
431490205002085	333	624	1,87	1204,2	995,75	0	0	7	33	173	77	32	11
431490205002088	320	767	2,4	1260,08	906,53	0	3	15	83	122	55	25	13
431490205002087	309	753	2,44	1387,49	969,67	0	1	9	62	124	62	31	13
431490205002090	214	383	1,79	1108,93	944,88	0	1	4	48	92	38	21	6
431490205002089	211	353	1,67	1156,59	976,71	0	0	5	41	97	43	16	4
431490205002092	211	512	2,43	1737,96	1132,56	0	2	7	29	75	44	34	8
431490205002091	220	440	2	1329,11	1028,43	1	0	2	47	91	38	29	7
431490205002094	224	429	1,92	1097,85	950,61	0	0	5	44	106	36	24	5
431490205002093	193	384	1,99	1310,77	1025,91	0	0	6	37	76	42	22	9

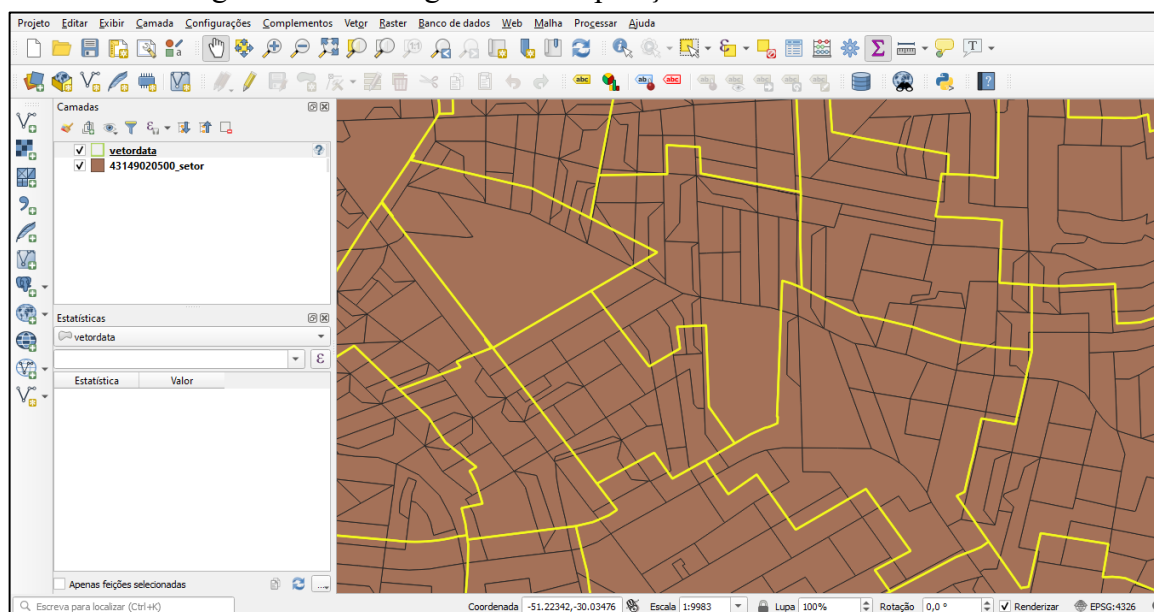
Fonte: Autor (2021)

A tabela de atributos apresenta informações sobre a camada vetorial de setores censitários. É possível analisar que, após a união dos dados acrescentou-se colunas da tabela de atributos, as colunas adicionadas representam os dados previamente coletados contidos no arquivo “Dados IBGE” para seu respectivo setor censitário, acrescentando dessa forma mais informações à cada feição, que representa o respectivo setor censitário.

Com os dados associados à cada setor o passo seguinte seria a interseção entre a camada dos setores censitários e as zonas de tráfego, para que seja possível uma associação das informações contidas nos setores censitários às zonas de tráfego, dentro de uma zona de tráfego

estão contidos dois setores censitários, a população contida nesses dois setores é a mesma contida na referida zona, porém ao realizar a etapa constatou-se uma divergência relacionada à sobreposição das camadas, pois os limites dos setores censitário e das ZTs precisam coincidir. Em alguns casos devido a utilização de diferentes sistemas de coordenadas entre a prefeitura de Porto Alegre e o sistema utilizado pelo IBGE, existia uma defasagem ao sobrepor as camadas como é possível observar na Figura 12.

Figura 12 - Defasagem na sobreposição das camadas vetoriais.



Fonte: Autor (2021)

A solução se deu através de contato com a prefeitura para que conseguíssemos outra versão dos dados. Com os dados atualizados seguimos para a etapa de calcular o número dos indicadores desejados em cada zona de tráfego. Existiam duas maneiras distintas de realizar o processo.

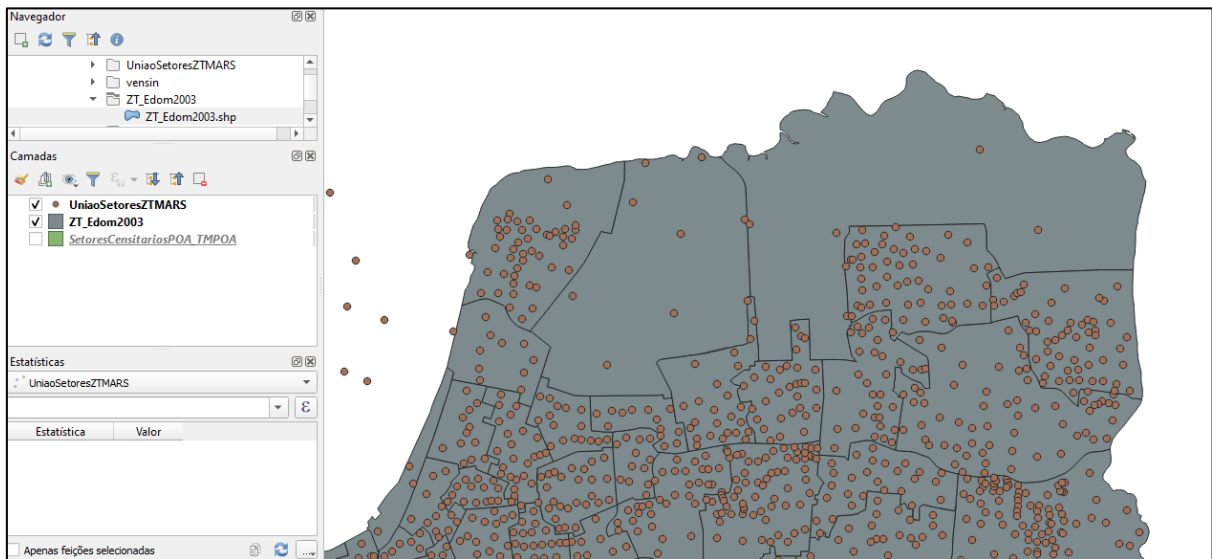
A primeira maneira é calculando o centroide de cada setor censitário (Figura 13) desta forma analisasse que toda a população do setor está agrupada no centroide e depois agregando os centroides que estão contidos em sua respectiva zona de tráfego. Conforme demonstrado nas Figura 13 e 14.

Figura 13 - Setores censitários com seus respectivos centroides.



Fonte: Autor (2021)

Figura 14 - Centroides agrupados por zona de tráfego.

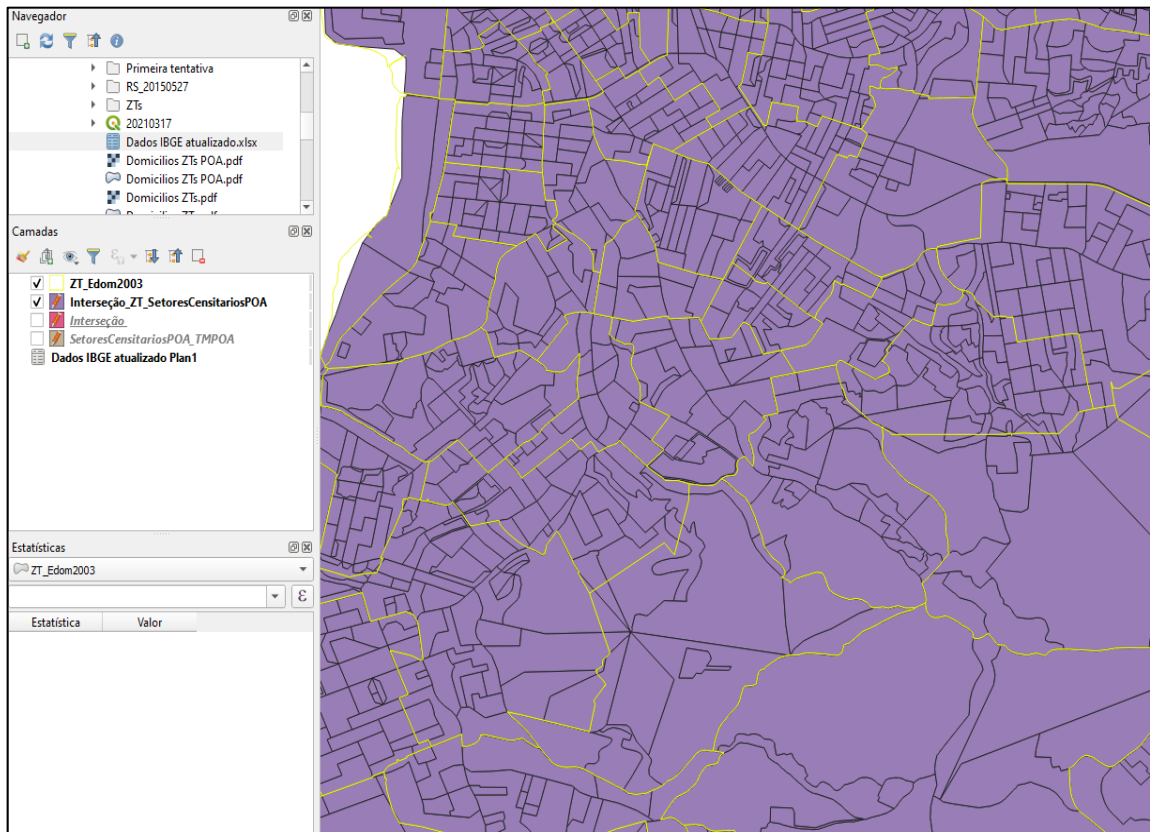


Fonte: Autor (2021)

A segunda maneira através da proporção da área de cada setor censitário contida em cada uma das ZTs conforme Figura 15. O primeiro procedimento para realização desse método é a criação de uma nova coluna denominada `area1_m2` na tabela de atributos da camada de setores censitários, onde calculamos a área em metros quadrados de cada setor individualmente. Posterior a isso realiza-se a interseção entre as camadas e a criação de uma nova coluna na tabela de atributos da camada resultante da interseção `area2_m2`, essa coluna representa a área de cada setor censitário após a interseção que poderia ou não dividir um setor entre duas ZTs

vizinhas. Criando uma nova coluna na mesma tabela de atributos onde é possível realizar a proporção entre as áreas, denominada de Prop_areas, dividindo-as e depois multiplicamos pelas colunas dos dados para obter o número percentual de pessoas que se encontram dentro dos domínios de cada ZT, é possível observar na Figura 16 a tabela de atributos após a realização das operações.

Figura 15 - Setores censitários contidos nas zonas de tráfego.



Fonte: Autor (2021)

Figura 16 - Aplicação do método de proporção das áreas utilizando a ferramenta SIG.

	CD_GEOCODI	area1_m2	area2_m2	V001	V002	Prop_areas	PV001	PV002
79	431490205000001	77390,328	6043,007	138	279	0,078	10,76	21,76
79	431490205000001	77390,328	71347,321	138	279	0,922	127,24	257,24
80	431490205000002	15600,528	15600,528	77	138	1,000	77,00	138,00
81	431490205000003	8142,137	8142,137	284	629	1,000	284,00	629,00
82	431490205000004	113027,403	113027,403	162	317	1,000	162,00	317,00
83	431490205000005	69402,549	802,424	191	383	0,012	2,29	4,60
83	431490205000005	69402,549	68600,082	191	383	0,988	188,71	378,40
84	431490205000006	14015,666	144,446	208	510	0,01	2,08	5,10
84	431490205000006	14015,666	272,579	208	510	0,019	3,95	9,69
84	431490205000006	14015,666	13598,685	208	510	0,97	201,76	494,70
85	431490205000007	7515,812	7470,851	173	327	0,994	171,96	325,04
85	431490205000007	7515,812	44,960	173	327	0,006	1,04	1,96
86	431490205000008	8772,611	8772,611	122	242	1,000	122,00	242,00
87	431490205000009	3753,634	3753,634	184	383	1,000	184,00	383,00
88	431490205000010	7328,744	7328,744	136	279	1,000	136,00	279,00
89	431490205000011	12095,534	12095,534	162	296	1,000	162,00	296,00
90	431490205000012	13844,812	13844,812	249	566	1,000	249,00	566,00
91	431490205000013	9649,009	9190,509	187	392	0,952	178,02	373,18
91	431490205000013	9649,009	452,424	187	392	0,047	8,79	18,42

Fonte: Autor (2021)

Com a interseção entre os setores censitário e as zonas de tráfego realizada é necessário exportar os dados da tabela de atributos para o EXCEL, para que assim sejam compatibilizados com os obtidos através do MARS. Ao exportar a tabela de atributos para o formato xls obtém-se uma tabela com os setores censitários, em qual zona de tráfego cada setor está contido, assim como as demais informações contidas na tabela de atributos. Utilizando a ferramenta de planilha eletrônica e obtivemos o resultado compatível com as Zonas de Tráfego do MARS. Como inúmeros setores podem estar contidos em uma mesma zona é necessária a utilização da planilha eletrônica para que esta realize a soma, na Figura 17 a primeira coluna apresenta o rotulo da linha que condiz a zona de tráfego, a segunda e terceira coluna apresentam os valores para a variável analisada em uma respectiva zona de trafego.

Figura 17 - Dados obtidos através do IBGE por zona de tráfego, possibilitando a comparação com os obtidos através das estimativas do MARS.

Rótulos de Linha	Soma de PV001	Soma de PV002
1	97,33	179,74
2	2405,5	5038,55
3	1805,45	3813,63
4	7063,33	13071,79
5	9335,43	17489,79
6	281,95	1139,13
7	2610,85	5362,46
8	3651,73	7152,43
9	3,32	7,2
10	5656,37	10269,9
11	500,41	1231,15
12	2459,26	5550,59
13	4620,27	9770,48
14	4446,32	9512,81
15	3654,06	8237,92
16	2893,49	5928
17	4493,88	9255,14
18	1821,23	4617,97
19	3289,64	7092,83
20	4431,81	9849,44
21	3789,59	9063,37
22	4075,25	9177,62
23	4515,64	10249,4
24	3134,13	7507,01

Fonte: Autor (2021)

Ao finalizar o processo obteve-se quatro abas no arquivo Tratamento de Dados: População por ZT, Domicílios por ZT, Postos de Trabalho e Pessoas Empregadas por ZT. Onde estavam apresentadas as variáveis de análise, todas as quatro abas apresentam a mesma formatação sendo a primeira coluna representando as 96 ZT, a segunda coluna os valores obtidos das estimativas do MARS, finalizando com a terceira coluna que apresenta os valores obtidos após a compatibilização dos dados do Censo do IBGE 2010 para a respectiva ZT. Na Figura 18 é demonstrado como os dados para população foram organizados, de forma a viabilizar as análises realizadas nas próximas etapas do trabalho.

Figura 18 - Dados organizados de forma que possibilita uma comparação através do método estatístico da regressão linear.

	A	C	D	E
1	Zona de Tráfego	MARS	IBGE/QGIS	
2			Centroide	PropArea
4	1	243	290	179,74
5	2	5258	4897	5038,55
6	3	3061	3771	3813,63
7	4	12773	13204	13071,79
8	5	17678	17484	17489,79
9	6	19	1113	1139,13
10	7	5549	5458	5362,46
11	8	7147	7200	7152,43
12	9	11		7,2
13	10	10463	9867	10269,9
14	11	1114	1172	1231,15
15	12	5831	5452	5550,59
16	13	10628	9812	9770,48
17	14	10092	9701	9512,81
18	15	9062	8071	8237,92

Fonte: Autor (2021)

4.5 BLOCO 5 - ANÁLISES E COMPARAÇÕES

Para realizar comparações e análises que serão discutidas no Bloco 6 – Discussões, foram utilizados dois métodos, o primeiro foi o método estatísticos de regressão linear, e o segundo o mapeamento para análise da distribuição espacial das variáveis e dos erros observados na análise comparativa entre real e estimado pelo modelo.

4.5.1 Regressão Linear

A Regressão Linear é uma técnica estatística quantitativa, onde os fatores de resposta alocados na variável Y foram as estimativas obtidas através dos dados extraídos do MARS enquanto as variáveis preditoras obtidas através do Censo IBGE foram alocadas em X.

O método possui inúmeras aplicações: previsões de ações, identificar distorções em modelos de gestão, identificação de padrões, dentre outras, contudo a aplicação em suportes quantitativos servirá de base no decorrer das análises. Segundo Schnabel e Lohse (1997) apud

Pfaffenbichler (2003) a análise de regressão é um método adequado para analisar a conformidade entre os valores observados e estimados, sendo um bom ajuste é caracterizado por α próximo a 0 (zero), β em torno de 1 (um) e R^2 próximo a 1 (um).

$$Y = X\beta + \alpha + \varepsilon \quad (1)$$

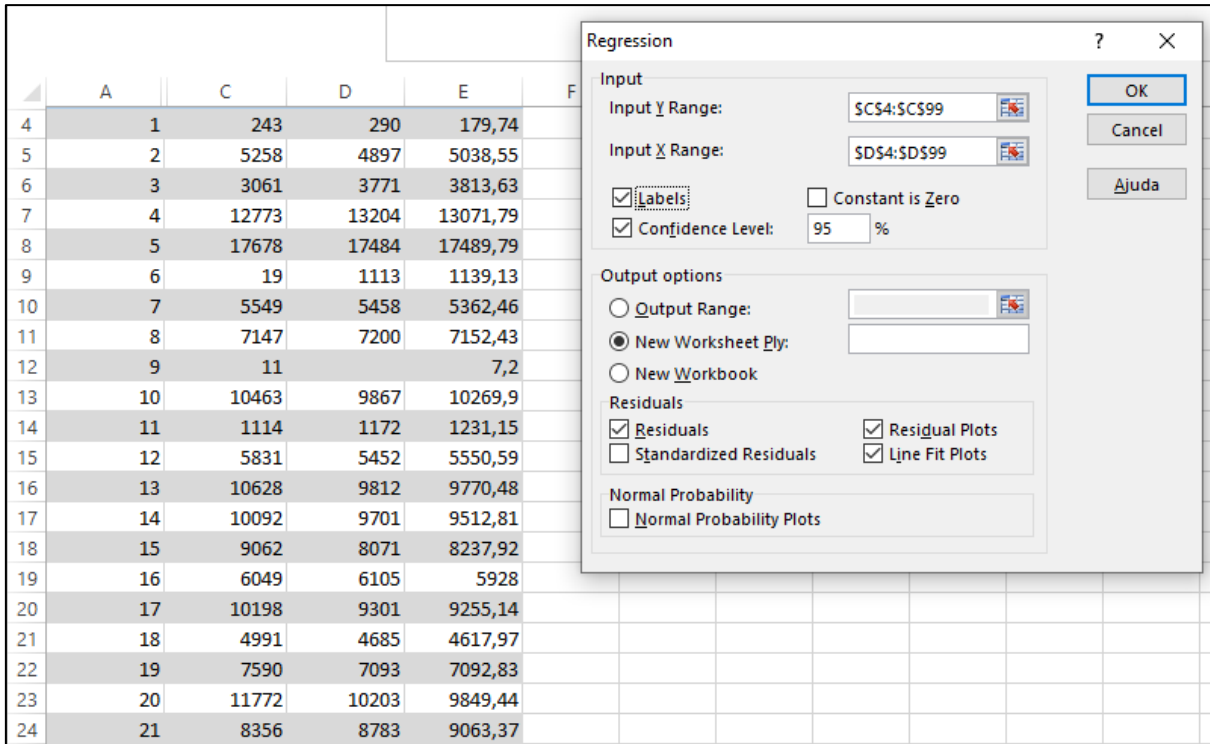
Onde:

- Y = valor estimado;
- X = valor observado;
- β = coeficientes de regressão (inclinação da reta)
- α = constante (intercepto)
- ε = erros aleatórios com média zero e variância σ^2 ;

Para utilização do método foi necessário organizar os dados apresentada no bloco anterior de forma que facilitasse a aplicação da ferramenta de Análise de Dados do Excel. Para isso utilizou-se planilha denominada Tratamento dos dados, onde os diferentes grupos de análise estavam divididos por abas.

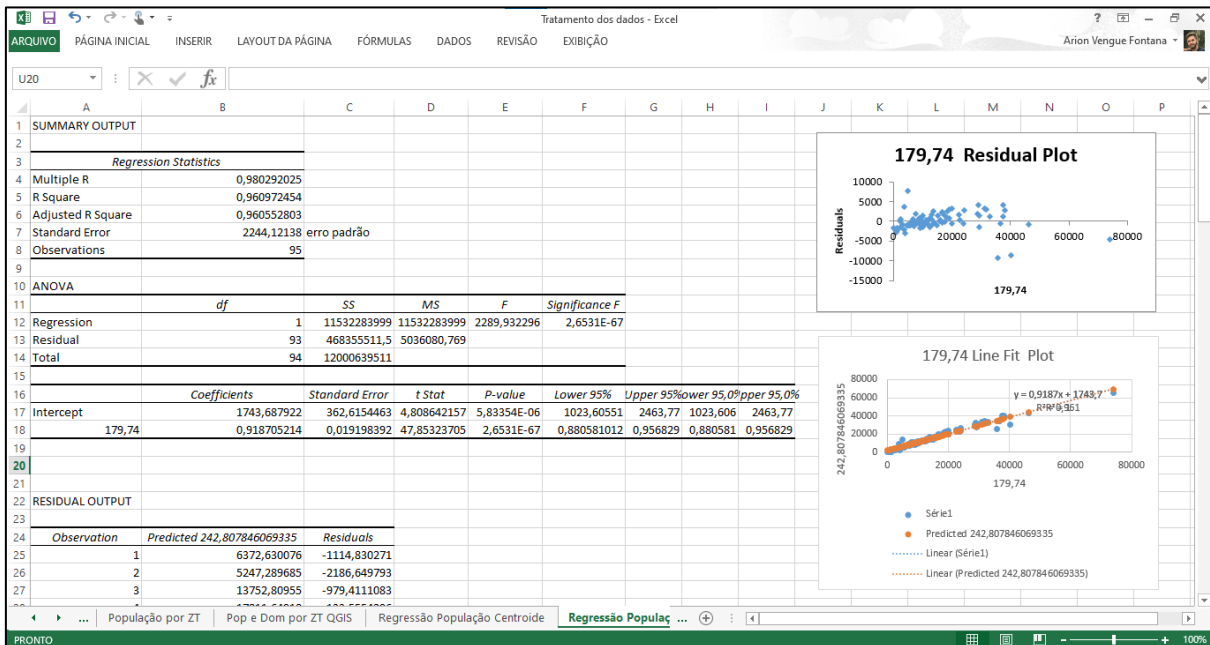
Com os dados segmentados conforme demonstrado no Bloco 4 iniciou-se o processo estatístico de regressão entre os dados reais e estimados (Equação 1). O processo de regressão é feito automaticamente utilizando a extensão Análise de Dados do Excel, sendo necessário a inclusão dos dados e configurações corretas (Figura 19) retornando, uma nova aba é gerada com análises estatísticas (Figura 20), incluindo as que serão discutidas no bloco 6 (resultados). O mesmo procedimento foi realizado para as quatro variáveis analisadas.

Figura 19 - Método utilizado para realizar a regressão linear.



Fonte: Autor (2021)

Figura 20 - Apresentação dos resultados obtidos através da regressão linear.

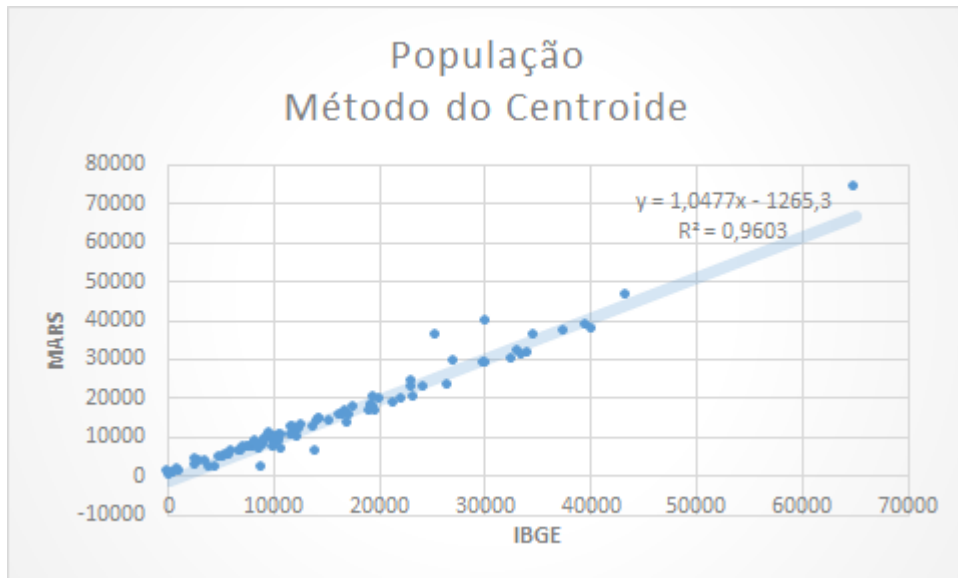


Fonte: Autor (2021)

A primeira análise comparativa entre os dados gerados através do MARS associados à variável “Residents J[ai]” onde i representa à qual zona de tráfego corresponde a variável,

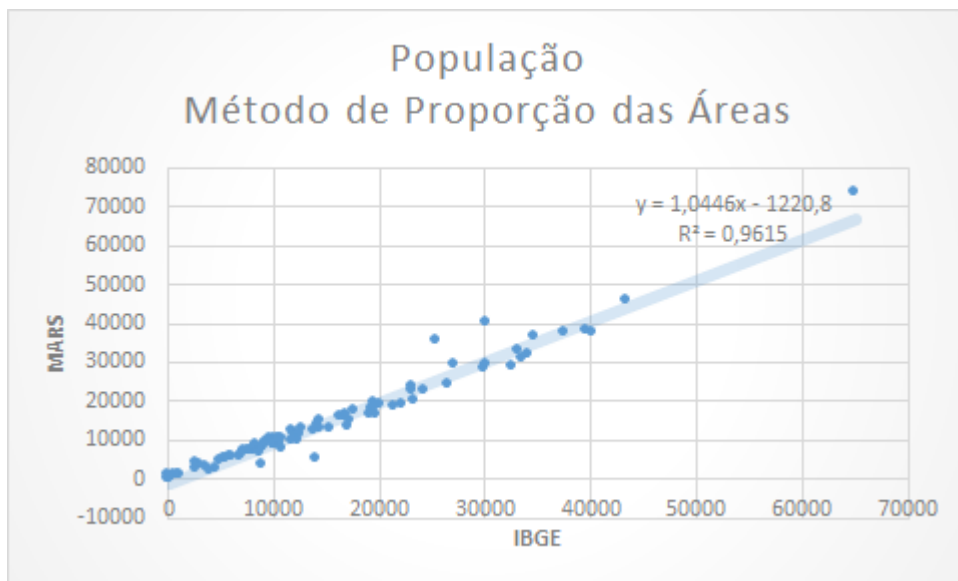
comparando-a a V002 do Censo do IBGE descrita como população residente por ZT. Como o tratamento dos dados do IBGE ocorreram de duas formas distintas, pelo método do centroide e pelo método da proporção da área foram realizadas análises para os dois métodos conforme demonstrado nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Regressão linear para a variável população pelo método do centroide.



Fonte: Autor (2021)

Figura 22 - Regressão linear para a variável população pelo método de proporção das áreas.

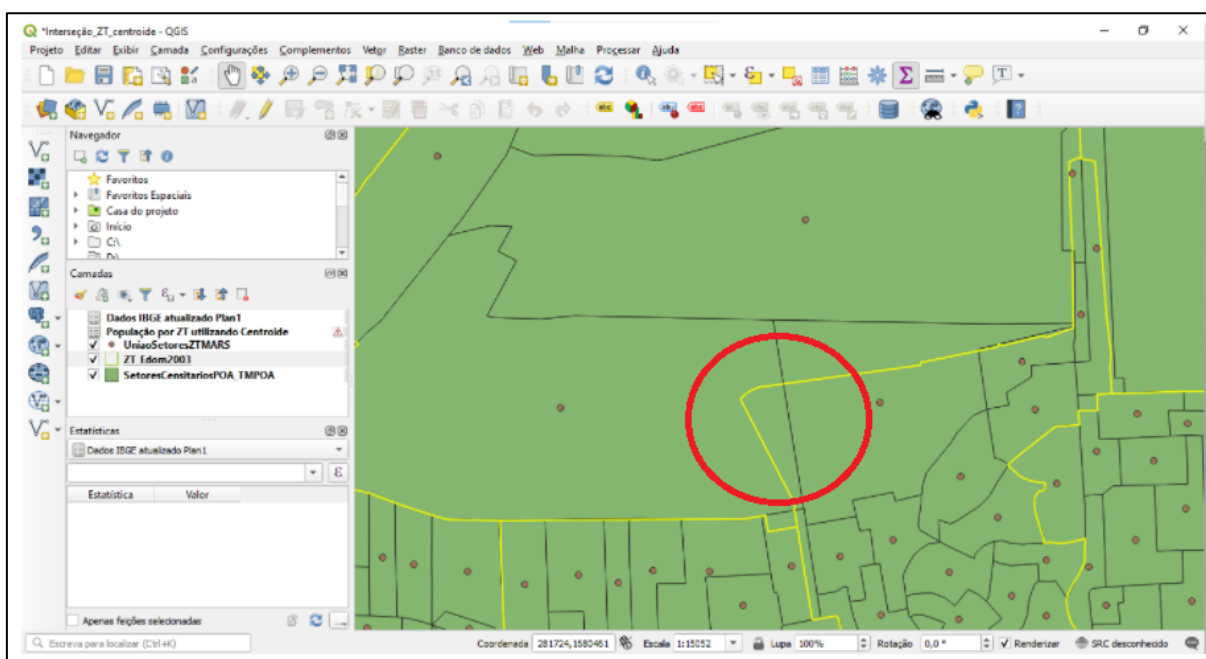


Fonte: Autor (2021)

O processo apresentou R^2 de 0,9603 através do método do centroide (Figura 21), e 0,9615 através do método da proporção da área (Figura 22), valores próximos a 1 (um) que caracterizam um ajuste adequado segundo Schnabel e Lohse (1997) apud Pfaffenbichler (2003) apontam que a proporção dos dados estimados são compatíveis com os dados observados, assim como o valor para o parâmetro β que deve ser em torno de 1 sendo 1,0447 e 1,0446 para o método do centroide e proporção da área respectivamente.

A diferença entre o R^2 e β ocorreu pois no método de proporção das áreas a população está distribuída de forma homogênea pelo setor censitário enquanto o método do centroide concentra toda a população em um único ponto, o centroide, ocasiona situações em que uma parte considerável do setor pode estar em uma zona distinta da qual o centroide se encontra, como é possível observar na Figura 23, onde as linhas em amarelo demarcam as zonas de tráfego, as linhas em preto os setores censitários e os pontos representam os centroides. Motivo pelo qual nas próximas análises será considerado somente os valores obtidos através do método da proporção das áreas.

Figura 23 - Análise do provável motivo de erro.

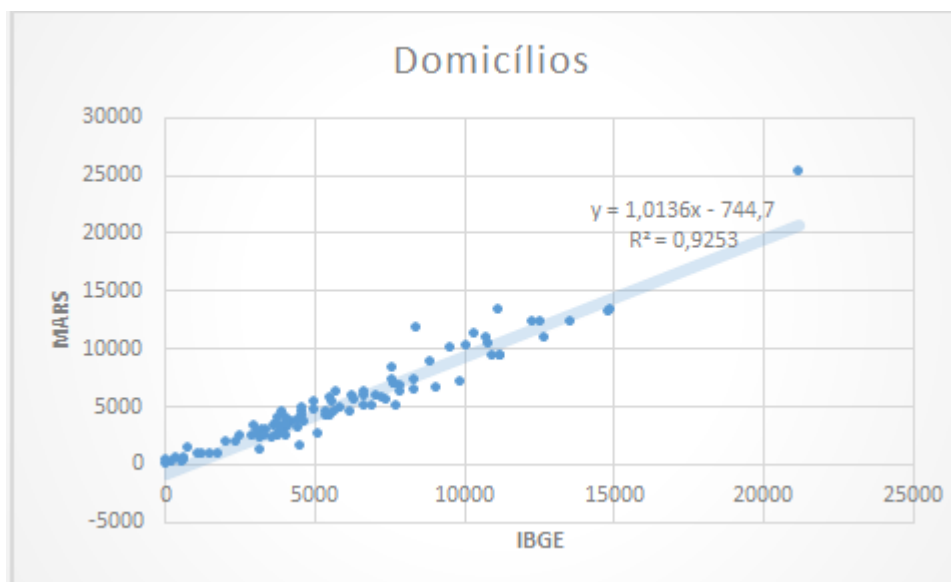


Fonte: Autor (2021)

Para análise dos domicílios foram utilizados os dados extraídos do submodelo “HU occupied $J[ai]$ onde i representa à qual zona de tráfego corresponde a variável, é comparada a V001 do Censo do IBGE que representa Domicílios particulares permanentes.

Mesmo com algumas zonas apresentando distorções na comparação gráfica as comparações estatísticas apresentaram resultados satisfatórios chegando ao valor de 0,9253 para R^2 e 1.0136 para β através do método da regressão linear conforme Figura 24.

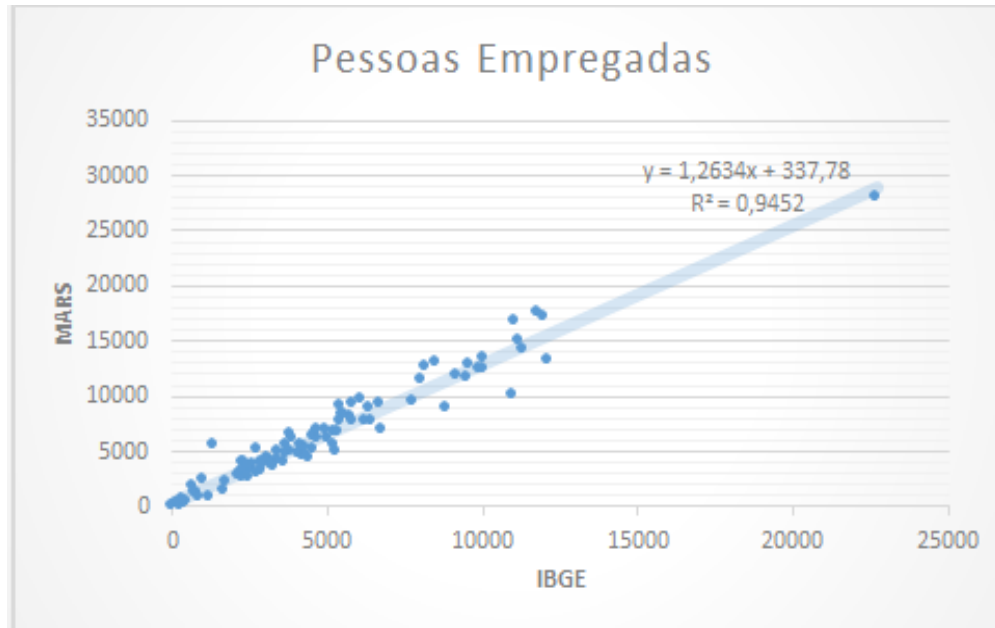
Figura 24 - Regressão linear para a variável domicílios.



Fonte: Autor (2021)

A terceira variável analisada foi pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal, pois o IBGE não classifica pessoas como empregadas ou desempregadas. Os valores obtidos estão contidos na coluna "PV_total" da tabela "Dados IBGE" e comparados aos valores obtidos através do submodelo "Employed Population [i]" do MARS onde i representa a respectiva zona de tráfego. A regressão linear apresentou o valor de 0,9452 para R^2 e 1,2634 para β conforme Figura 25, enquanto os valores absolutos observados foram de 462076 para os dados obtidos através do Censo do IBGE e 616193 para o MARS.

Figura 25 - Regressão linear para a variável pessoas empregadas.



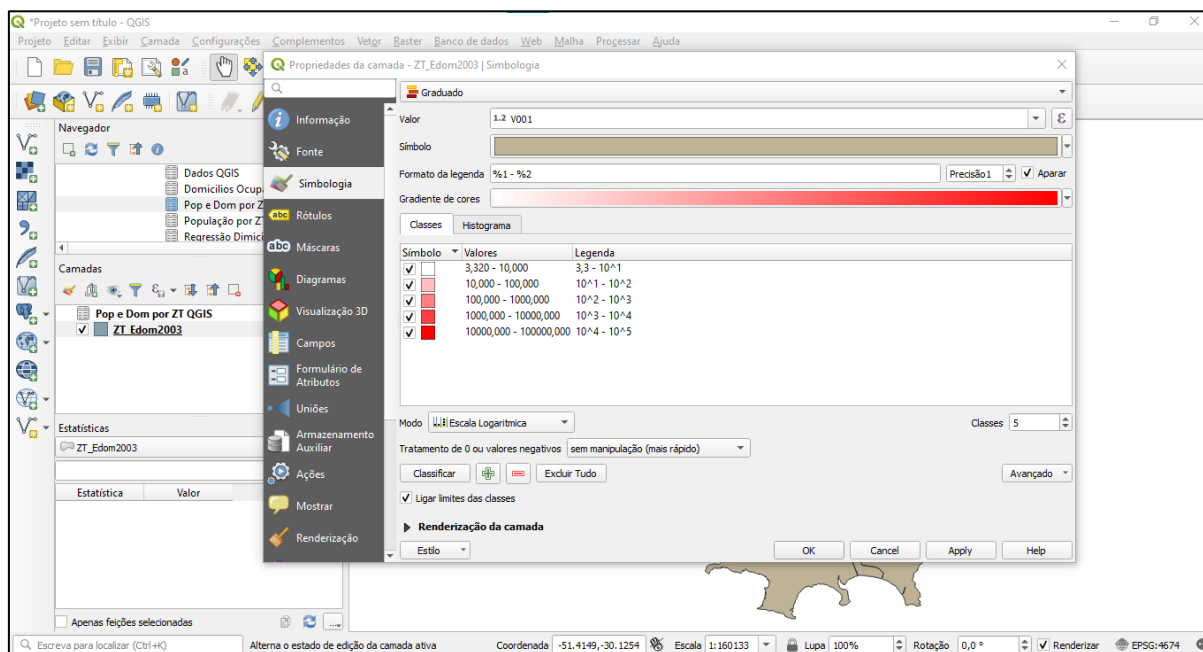
Fonte: Autor (2021)

4.5.2 Análises Espaciais

A criação de mapas graduados para uma visualização das informações de maneira espacial é outro método utilizado para a realização de comparações. Utiliza-se a ferramenta SIG, iniciando com a adição da camada com as ZTs de Porto Alegre-RS, sendo a etapa seguinte a inclusão da tabela onde os dados estavam organizados e a união dos dados da tabela com a camada vetorial.

O desenvolvimento dessas visualizações envolve a utilização da ferramenta de simbologia no software selecionando o campo de análise para que a visualização seja aplicada e a classificação utilizada para classificação dos dados, assim como inúmeras outras funcionalidades que a ferramenta possibilita utilizar. Na Figura 26 a seguir é classificada a variável "V001" que representa os domicílios particulares permanentes por ZT. O mesmo processo foi realizado sucessivas vezes alternando a variável de análise com o intuito de gerar mapas que possibilitassem a comparação.

Figura 26 - Utilização da ferramenta SIG para o desenvolvimento de mapas espaciais.



Fonte: Autor (2021)

Uma importante análise gráfica realizada apresenta o erro obtido ao subtrair os valores dos dados do Censo do IBGE dos números obtidos pelo MARS. Isso significa que atribuímos a variável Y os valores obtidos do MARS e a variável X os valores obtidos a partir do Censo do IBGE, foram criadas novas colunas calculando a diferença entre $Y - X$ para os fatores analisados e comparados entre os outros mapas.

Foram elaborados 9 mapas divididos em três tipos. O primeiro é referente aos mapas que possuem como fonte de dados o Censo do IBGE 2010, foram estes: População por Zona de Tráfego em Porto Alegre, Domicílios por Zona de Tráfego em Porto Alegre e Pessoas Empregadas. Os mesmos três mapas foram criados com base nos dados estimados pelo MARS. Sendo o último tipo os mapas criados com o erro obtido ao subtrair os dados do Censo do IBGE aos números estimados pelo MARS.

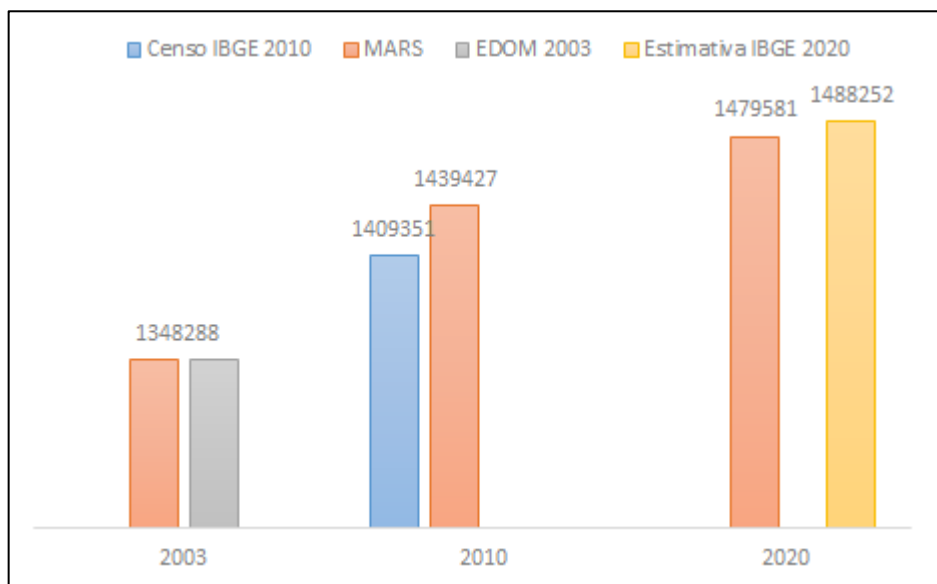
4.6 BLOCO 6 - DISCUSSÕES

O levantamento de dados desenvolvida no Bloco 1 possibilitou uma análise de quais dados poderiam ter sofrido atualizações após o estudo realizado por Lopes (2010), a partir disso constatou-se que poucos dados possuíam novas atualizações, sendo o Censo realizado pelo IBGE no ano de 2010 a principal fonte de consulta. A inexistência de uma pesquisa O-D

realizada após 2003 impossibilitou análises referente a análise de estimativas futuras dos modelos de transportes (como número de viagens produzidas e atraídas por ZT).

A cidade de Porto Alegre contava com 1.348.288 habitantes em 2003, conforme dados da EDOM 2003 com previsão de crescimento de 7% nos 7 anos seguintes, segundo previsão do IBGE. Com a calibração do MARS no ano de 2003 a população observada foi a mesma ajustada no modelo, os dados reais observados no ano de 2010 são referentes ao Censo IBGE 2010 e os dados do MARS são estimativas do modelo. Como o modelo permite fazer análises no período de 30 anos, foi possível uma comparação aos dados estimados pelo IBGE para o ano de 2020. Na Figura 27 são apresentadas as comparações entre os dados de número de habitantes.

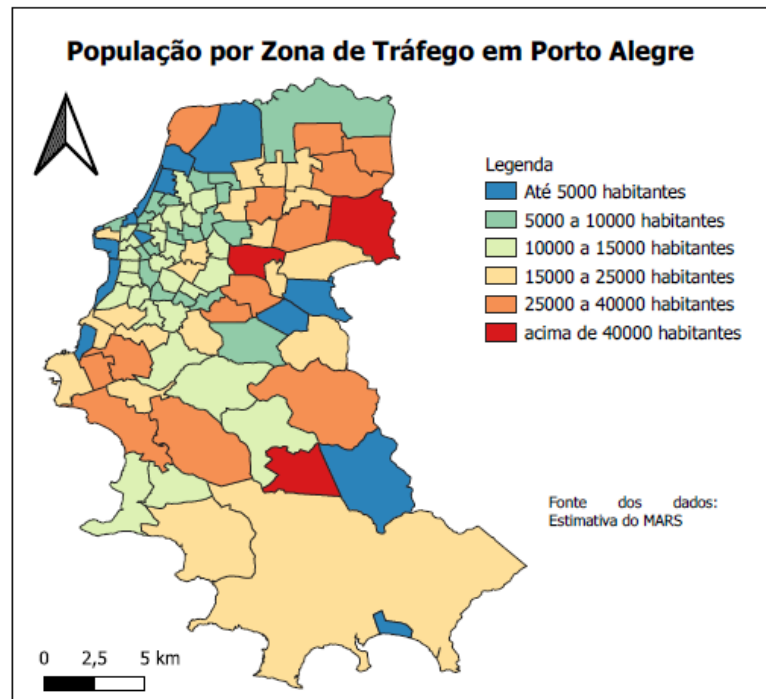
Figura 27 - Número de habitantes em Porto Alegre.



Fonte: IBGE 2010 e estimativas MARS Porto Alegre 2003 (Lopes, 2010)

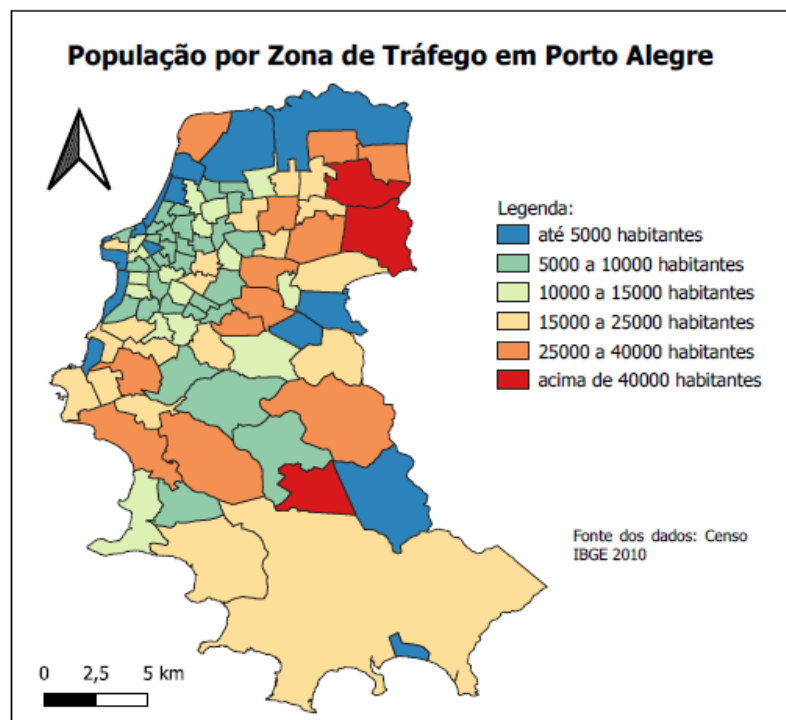
A utilização de mapas graduados gerados através do QGIS acentua a proximidade dos dados apontados através do método de regressão linear. A Figura 28 apresentam a distribuição da população tendo como base os dados estimados pelo MARS para o ano de 2010 e a Figuras 28 apresenta a distribuição espacial da população para as 96 zonas de tráfego tendo como base os dados observados pelo Censo IBGE para o mesmo ano.

Figura 28 - Mapa graduado da distribuição da população estimada pelo MARS para cada ZT de Porto Alegre – RS.



Fonte: Autor (2021)

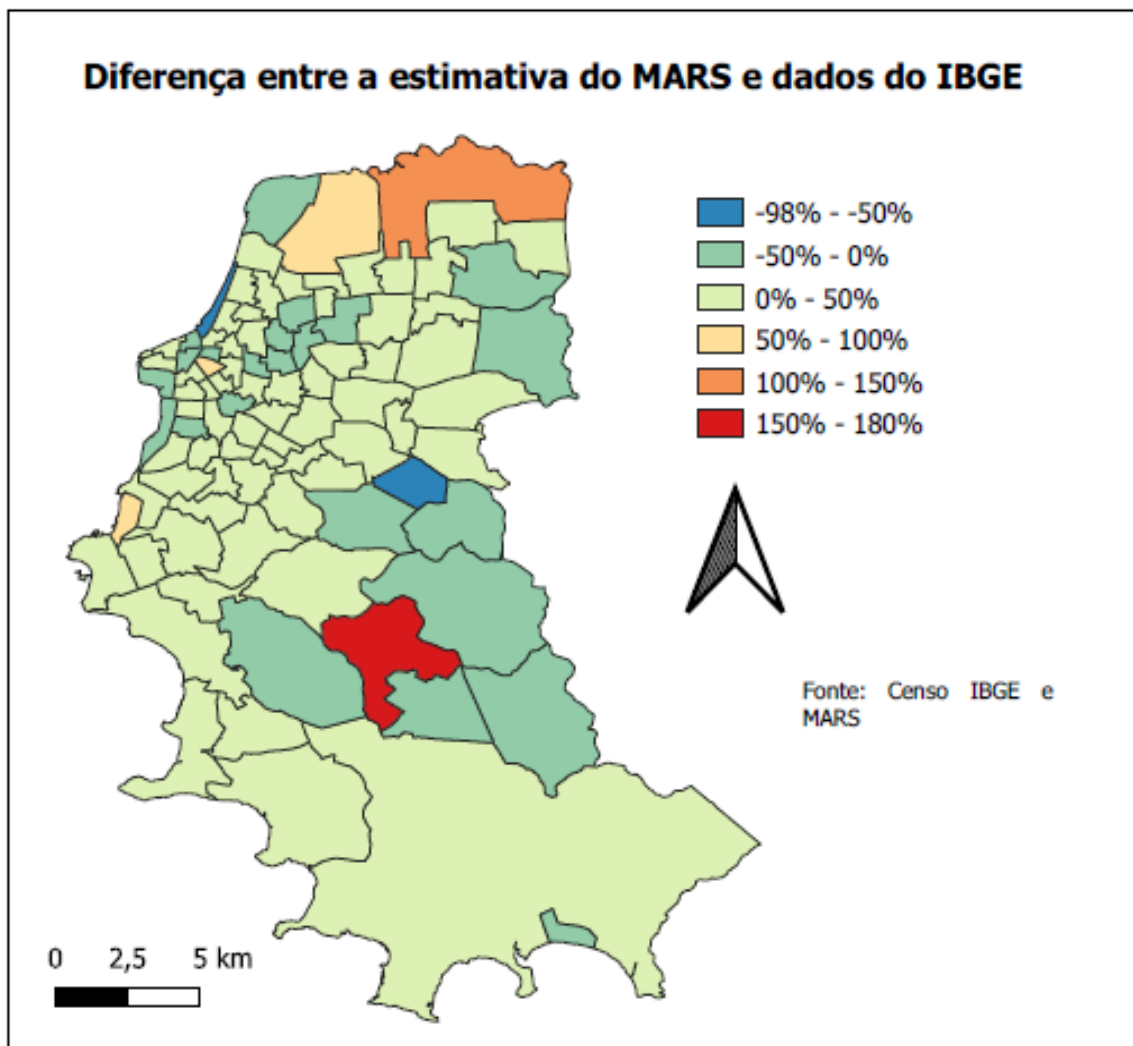
Figura 29 - Mapa graduado da distribuição da população observada pelo IBGE para cada ZT de Porto Alegre - RS.



Fonte: Autor (2021)

Através de análises espaciais torna-se possível analisar a distribuição espacial dos erros. Os valores foram obtidos a partir da atribuição dos valores estimados pelo MARS à variável Y e os dados observados pelo Censo de 2010 foram atribuídos a X, desta forma realizou-se a subtração $Y - X$ e o resultado foi dividido pelo valor observado através do IBGE para a respectiva zona, apresentando os dados em percentuais relativos apresentados na Figura 30. Os valores negativos (azuis) apontam que os dados obtidos através do Censo estavam superiores aos estimados através do MARS - duas zonas apresentaram a maior distorção. Outra zona que se apontou grande diferença está destacada na cor vermelha apontando que as estimativas do MARS para esta zona estavam muito superiores aos observados através do IBGE.

Figura 30 - Mapa distribuição espacial dos erros.

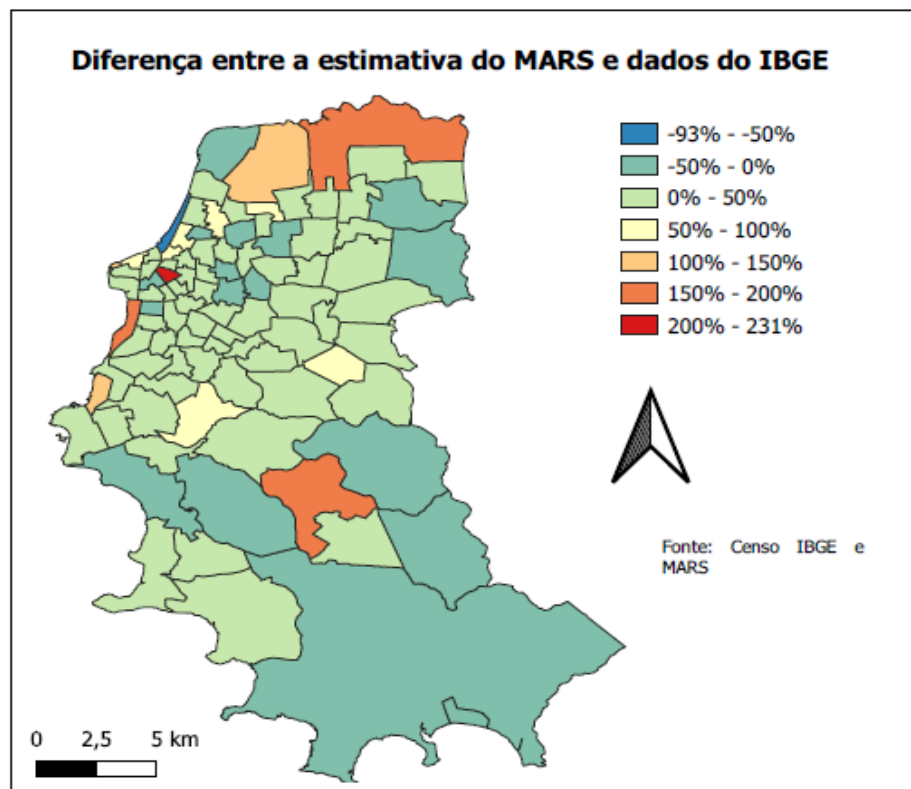


Fonte: Autor (2021)

Duas zonas de tráfego apresentaram maior divergência. Através de análises do Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2019) observou-se que as zonas estão situadas em bairros apontados com maior concentração de população, podendo o erro ser ocasionado devido a divisão das zonas de tráfego não coincidirem com a dos bairros.

Ao analisar variáveis correspondentes aos Domicílios na Figura 31 constatou-se problema similar ao observado para a população foi observado na comparação dos domicílios, onde as mesmas duas zonas de tráfego apresentaram uma projeção do MARS superior aos dados observados. Contudo observou-se uma zona apresentou distorção ainda maior - zona de tráfego em vermelho. Isso ocorreu devido ao fato de que essa zona corresponde a um parque da cidade, devido a isso não existem domicílios nessa área, ao inserir as variáveis o modelo MARS não aceita a número 0 (zero) como previsão de crescimento para a região sendo necessário alocar o número 1 (um). Ao alocar o número (1) o modelo prevê crescimento baseado nas regiões periféricas a zona, esse crescimento é multiplicado por 1 (um) gerando crescimento na estimativa de domicílios na zona no decorrer dos anos e o erro observado.

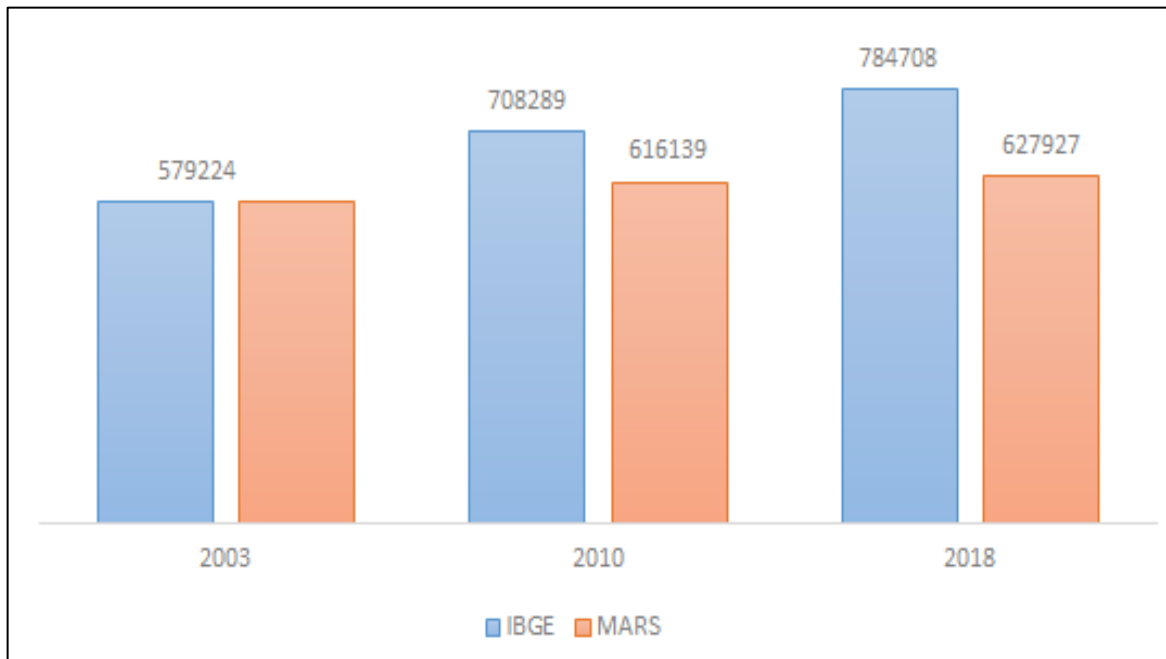
Figura 31 - Mapa graduado da diferença entre os dados estimados e observados para os domicílios de Porto Alegre-RS.



Fonte: Autor (2021)

Utilizando os dados apresentados através Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2018) foi possível realizar uma análise das projeções para o ano de 2018. Chamando atenção o fato dos valores observados pelo IBGE estarem superiores nas duas comparações. Esse tipo de erro acontece, pois, as variáveis que estimam as projeções são do tipo exógenas, isso significa que o modelo faz previsões com base nos dados observados no passado, demonstrando que o crescimento foi acima do estimado. Conforme Figura 32.

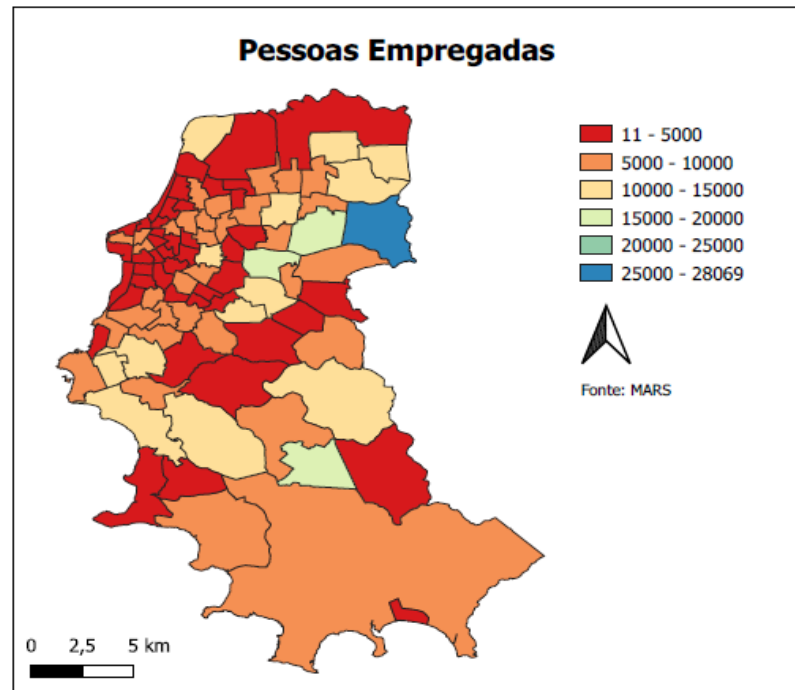
Figura 32 - Número de pessoas empregadas em Porto Alegre - RS.



Fonte: IBGE 2010 e estimativas MARS Porto Alegre 2003 (Lopes, 2010)

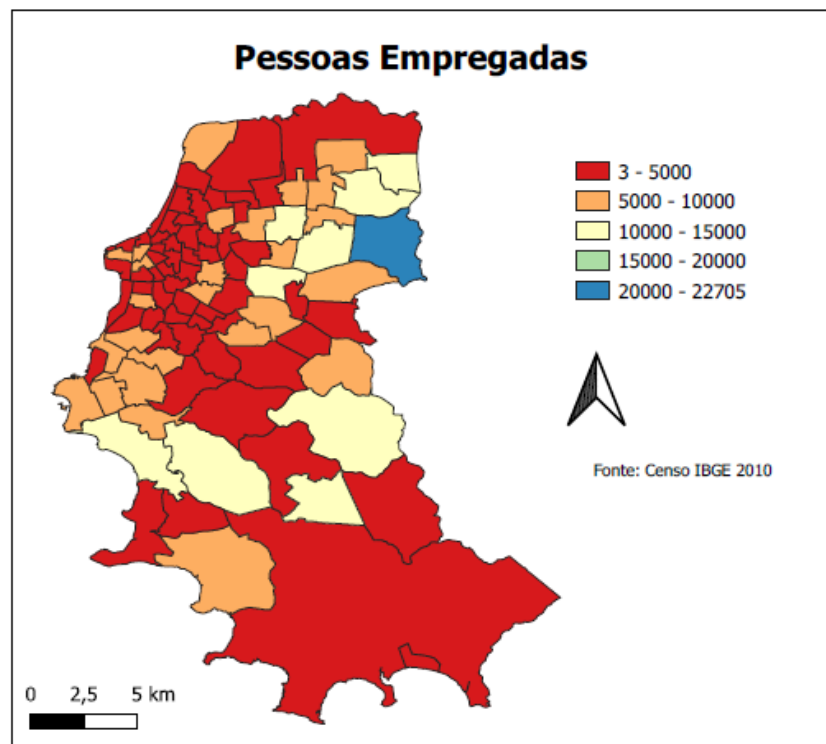
Mesmo com um crescimento acima do estimado destacado na Figura 32 observou-se que a distribuição das pessoas empregadas entre as zonas de tráfego seguiu um padrão (Figura 33 e Figura 34), com destaque para a zona classificada em azul, sendo a zona com maior número de pessoas empregadas em Porto Alegre.

Figura 33 - Mapa graduado da distribuição de pessoas empregadas estimada pelo MARS para cada ZT de Porto Alegre-RS.



Fonte: Autor (2021)

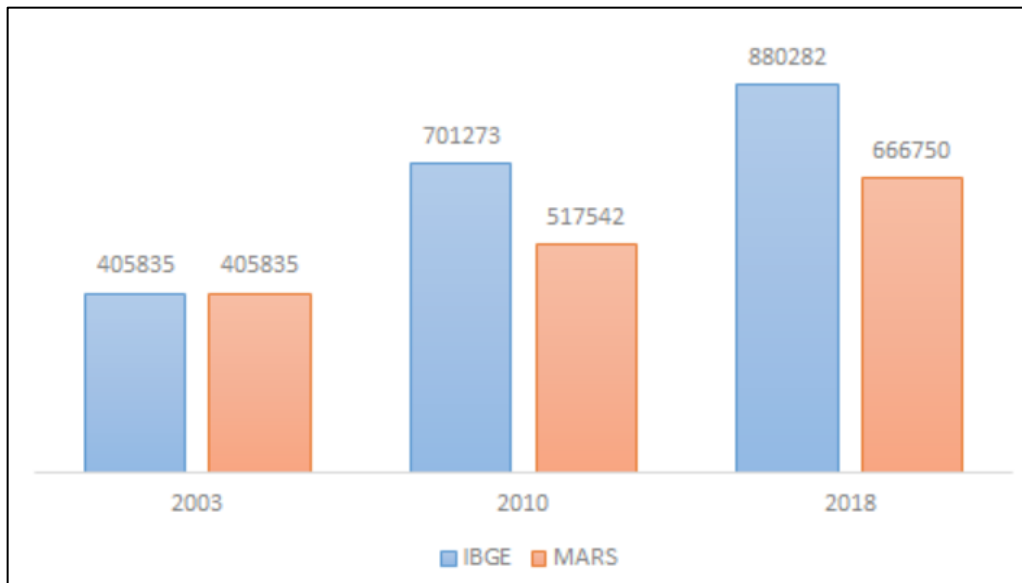
Figura 34 - Mapa graduado da distribuição de pessoas empregadas observado pelo IBGE para cada ZT de Porto Alegre - RS.



Fonte: Autor (2021)

Para a frota de veículos em Porto Alegre realizou-se uma análise mais ampla demonstrada na Figura 35 pelo fato de não ter ocorrido uma nova pesquisa O-D em Porto Alegre não existe registro do número de veículos por zona de tráfego na cidade, contendo somente o número total de automóveis. O plano de mobilidade urbana de Porto Alegre aponta que o crescimento da taxa de veículos entre 2010 e 2017 foi de 58%, valor muito superior aos 22% estimados entre 2003 e 2010 que serviram como parâmetro para as projeções do MARS.

Figura 35 - Número da frota de veículos em Porto Alegre - RS.



Fonte: IBGE 2010 e estimativas MARS Porto Alegre 2003 (Lopes, 2010)

5. CONCLUSÃO

A obtenção dos dados para alimentar um modelo com a complexidade de interações dinâmicas entre uso do solo e transportes constitui, ainda hoje, um problema para qualquer cidade brasileira de grande porte, com Porto Alegre não fugindo à regra. (LOPES, 2010, p.163).

A validação se mostrou um processo satisfatório demonstrando que o modelo MARS faz estimativas compatíveis com a realidade para as variáveis população, domicílios, população empregadas, postos de trabalhos e número de veículos, e que pode ser verificado através de regressão linear e resultados dos testes estatísticos do coeficiente de determinação (R^2). O processo de validação ocorreu a partir de comparações realizadas entre dados estimados pelo sistema e observados através de dados do IBGE para o ano de 2010. A análise da distribuição espacial dos erros mostrou que análises mais pontuais em algumas regiões das cidades merecem atenção e análise para a calibração dos submodelos de uso do solo.

Elencando os dados necessários para uma análise da viabilidade de calibração constatou-se a inexistência de dados suficientes no momento deste estudo, requerendo pesquisas posteriores. Os submodelos de transportes foram calibrados para o ano base de 2003 (Lopes, 2010). A validação para estimativas futuras é possível quando comparadas com dados observados de outras fontes em anos posteriores como, por exemplo, uma nova pesquisa OD. A calibração dos submodelos de uso do solo também só pode ser realizada em período posteriores, em torno de 10 anos, pois alterações no uso do solo causadas por impactos de alterações nos sistemas de transportes ocorrem lentamente.

A alteração na data de realização do Censo IBGE de 2020 para 2021 devido a pandemia mundial da COVID-19 faz com os dados mais recentes disponibilizados de forma integral pelo órgão sejam de 2010, associado ao fato de que atual pesquisa Origem Destino data de 2003. A realização de um novo censo em 2021, associado a realização de uma nova pesquisa OD possibilitam um novo procedimento de calibração. A dificuldade na obtenção dos dados secundários descritos no segundo bloco inviabilizou o alcance dos objetivos específico como um todo, estando o objetivo parcialmente atingido com a obtenção dos dados do Censo IBGE de 2010. No entanto, o método proposto em blocos será de grande auxílio para dar continuidade ao estudo.

Ao analisar estatisticamente os dados compatibilizados todas as variáveis analisadas apresentaram valores para R^2 considerados satisfatórios sendo População, com R^2 de 0,9615, a variável com maior proximidade à 1(um). Destaca-se assim o potencial do modelo para prever

alterações no uso do solo e transportes. As análises da distribuição espacial dos erros se mostraram satisfatórias, assim como as análises estatísticas, permitindo analisar a distribuição das variáveis pelas 96 zonas de transportes de Porto Alegre. O número elevado de zonas de transportes na área de estudo ocasiona análises aprofundadas, por outro lado o processo se torna mais lento e com aumentam as possibilidades de erros causados por resíduos pertencentes a outras ZTs.

Contudo os resultados sugerem a necessidade de uma análise mais detalhada principalmente nos dados que apresentam maiores distorções de erros relativos. As causas de variações relevantes como as destacadas nos mapas de distribuição espacial dos erros estimados podem estar a diferentes fatores relacionadas com um desenvolvimento não planejado de certas regiões, podendo estar relacionado à criação de áreas de moradia e comércio que se desenvolveram sem um planejamento prévio por parte da prefeitura e, portanto, não prevista no modelo.

As análises desenvolvidas neste trabalho podem servir como base para o início de calibração dos modelos de uso do solo do MARS Porto Alegre 2003, pois o assunto demonstra não estar esgotado, e o surgimento de novos dados possibilitarão novas análises. A realização de uma nova pesquisa OD possibilitará a realização a análise de validação dos modelos de transportes para estimativas futuras, que não puderam ser realizadas neste trabalho, e serve como continuidade à esta pesquisa, permitindo também um novo processo de calibração para o modelo.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, Fabiana Serra de. **Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do solo e transportes no contexto brasileiro**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**. Informação e documentação: sumário. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

CÂMARA, G.; FREITAS, U. **Perspectivas em sistemas de informação geográfica**. Fator GIS, v. 3, n. 10, p. 31-34, 1995.

DE LA BARRA, T. (2014) **Modelación integrada de usos del suelo y transporte**. Cadenas de decisión y jerarquías. Oxford: Cambridge University Press. 1–201.

FITZ, P.R. (2008). **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos

Iacono, M., Levinson, D. & El-Geneidy, A., 2008. **Models of Transportation and Land Use Change: a Guide to the Territory**. *Journal of Planning Literature*, 13 02, pp. 1-18.

INSTITUTE FOR TRANSPORT PLANNING AND TRAFFIC ENGINEERING – VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - MARS (METROPOLITAN ACTIVITY RELOCATION SIMULATOR) - CASE STUDIES. OBTIDO EM: ACTIVITY- RELOCATION-SIMULATOR/CASE-STUDIES.HTML, ACESSADO EM: 03/05/2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores: População, Economia, Geociências, Canais, Download e Pesquisas**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em: 17 de outubro de 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro Central de Empresas 2018**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>. Acessado em: 29 de março de 2021

LOPES, S. B. **Uma ferramenta para planejamento da mobilidade sustentável com base em modelo de uso do solo e transportes**. 2010. 182 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010

MARTÍNEZ, F. J.; ARAYA, C. **Land-use impacts of transport projects: user benefits, rents and externalities**. In: World Conference on Transport Research, Antwerp, July. 1998.

MIYAGIMA, F. **Os eixos estruturantes das cidades planejadas - eixo Norte-Sul de Curitiba e Avenida W3 em Brasília**; Monografia; (Aperfeiçoamento/Especialização em Cidade, Meio Ambiente e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2008.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling transport**. 3.ed. Chichester: John Wiley, 2001.

PFAFFENBICHLER, P. **The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator); development, testing and application.** 2003. Tese de Doutorado.

PORTO ALEGRE. Empresa Pública de Transportes e Circulação. **Entrevista Domiciliar: Pesquisa de Origem e Destino para Porto Alegre.** Porto Alegre: EPTC, 2004.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre.** Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/smim/projetos/plano-de-mobilidade-urbana>. Acessado em: 15/02/2021

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor Ciclovitário Integrado.** Projeto de lei complementar, 2009.

RODRIGUE, Jean-Paul. **The geography of transport systems.** Routledge, 2020.

SILVA, Aline Amaral; NÓBREGA, Bruno Gonzalez. **Modelagem integrada de transportes e uso do solo na região de expansão sul/sudeste do Distrito Federal.** 2018.

SHEPHERD, Simon P. et al. **Improving the capabilities and use of strategic decision making tools.** 2007. Disponível em: <http://eprints.whiterose.ac.uk/3687>.

SOUSA, Francelino Franco Leite de Matos. **Metodologia de calibração para modelos integrados dos transportes e uso do solo.** 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Biblioteca Universitária. **Normalização de trabalhos acadêmicos.** Florianópolis, 2016. Disponível em: <http://www.bu.ufsc.br/design/GuiaRapido2012.pdf>.

WEGENER, M. **Overview of land-use and transport models.** In: CUPUM03 - THE 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 2003, Sendai. Anais...Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, 2003.

WERNECK, L. F. **Contribuição de um modelo LUTI para o planejamento integrado em transportes e uso do solo na região metropolitana de Belo Horizonte.** 2015.