



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**MODELAGEM INTEGRADA DE TRANSPORTES E
USO DO SOLO NA REGIÃO DE EXPANSÃO
SUL/SUDESTE DO DISTRITO FEDERAL**

**ALINE AMARAL SILVA
BRUNO GONZALEZ NÓBREGA**

Brasília, 20 de Junho de 2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MODELAGEM INTEGRADA DE TRANSPORTES E
USO DO SOLO NA REGIÃO DE EXPANSÃO
SUL/SUDESTE DO DISTRITO FEDERAL**

**ALINE AMARAL SILVA
BRUNO GONZALEZ NÓBREGA**

ORIENTADOR: Prof.^a FABIANA DE SERRA ARRUDA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2

BRASÍLIA – DF, 20 DE JUNHO DE 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MODELAGEM INTEGRADA DE TRANSPORTES E USO DO
SOLO NA REGIÃO DE EXPANSÃO SUL/SUDESTE DO
DISTRITO FEDERAL

ALINE AMARAL SILVA
BRUNO GONZALEZ NÓBREGA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof.^a Fabiana De Serra Arruda, Doutora (ENC-UnB)
(Orientadora)

Prof. Pastor Willy Gonzales Taco, Doutor (ENC-UnB)
(Examinador interno)

Prof.^a Giselle Chalub Martins Doutora (FAU-UnB)
(Examinadora externa)

BRASÍLIA/DF, 20 DE JUNHO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

NÓBREGA, BRUNO GONZALEZ E SILVA, ALINE AMARAL

Modelagem integrada de transportes e uso do solo na região de expansão sul/sudeste do Distrito Federal, 2018.

xiii, 110 p., 210 x 279 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NÓBREGA, B. G. E SILVA, A. A. Modelagem Integrada De Transportes E Uso Do Solo Na Região De Expansão Sul/Sudeste Do Distrito Federal, 2018. Publicação G.PF-002/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, xiii, 110p.,

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Aline Amaral Silva e Bruno Gonzalez Nóbrega

Modelagem integrada de transportes e uso do solo na região de expansão sul/sudeste do Distrito Federal:

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

ALINE AMARAL SILVA
Quadra 204, Lote 03, Bloco B, Apto. 502
Águas Claras
71939-540 – BRASÍLIA/DF - Brasil

BRUNO GONZALEZ NÓBREGA
SQN 310 Bloco K, Apto. 305
Asa Norte
70756-110- BRASÍLIA/DF - Brasil

Resumo

Modelos são ferramentas frequentemente utilizadas no auxílio de planejamento urbano e de transportes. Entre os existentes, consideram-se relevantes os Modelos Integrados de Uso de Solo e Transporte, uma vez que levam em consideração tanto as características relevantes ao uso do solo (atividades desenvolvidas e mercado imobiliário) quanto de transporte (origem/destino, rede viária, entre outros). Utilizou-se o TRANUS, para simular a mobilidade urbana na região de expansão Sul/Sudeste do DF. A pesquisa revelou que a região estudada possui deficiências de acessibilidade que prejudicam seu desenvolvimento. Assim, foi feita uma proposta de melhoramento do sistema viário por meio da criação de novos empregos nessa região.

Palavras-chave:

Modelos Integrados de Uso de Solo e Transporte, Distrito Federal, DF-140, Expansão Sul/Sudeste, TRANUS.

Abstract

Models are tools often used to aid urban and Transportation planning. Among the existing ones, the Integrated Models of Land Use and Transportation are relevant, since it can take into account both land use characteristics (such as developed activities, real estate market) and transportation (origin / destination, road network, among others). Thus, TRANUS was used to simulate the urban mobility in the South / Southeast expansion region of the Federal District. The research found that the studied region has deficiencies of accessibility that hamper its development. Thus, a proposal was made to improve the road system through the creation of new jobs throughout the region.

Keywords:

Modelos Integrados de Uso de Solo e Transporte, Distrito Federal, DF-140, Expansão Sul/Sudeste, TRANUS

Lista de figuras

Figura 1 - Condomínios em Áreas de Proteção Ambiental.	4
Figura 2 - Linhas de desejo do DF e Entorno.	5
Figura 3 - Ciclo de feedback entre transporte e uso do solo.	8
Figura 4 - Antecedentes Teóricos do TRANUS.	20
Figura 5 – Modelo de von Thünen de uso de solo.	21
Figura 6 - Esquema do modelo de 4 etapas.	28
Figura 7- Esquema do modelo de Locação de atividades.	30
Figura 8- Relação entre atividades e Transporte.	31
Figura 9 - Estrutura de cálculo do TRANUS.	32
Figura 10- Esquema das etapas a serem desenvolvidas.	35
Figura 11 - Eixo de Expansão do PDOT/97.	36
Figura 12 - Novos eixos de expansão previstos pelo PDOT/09.	37
Figura 13 - Área de Estudo.	38
Figura 14 - Modelo Territorial - Distrito Federal.	39
Figura 15 - Linhas de ônibus sugeridas	40
Figura 16 – Desenho da rede (Nós e Links).	53
Figura 17 - Divisão de zonas de tráfego.	55
Figura 18 - Radares adotados.	57
Figura 19 - Rede no TRANUS.	59
Figura 20 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 15A.	60
Figura 21- Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 20A.	62
Figura 22 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25A.	62
Figura 23 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25B.	63
Figura 24 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25C.	63
Figura 25 - Comparação de volume de tráfego nos Cenários 15A, 20A e 25A.	65

Figura 26 - Evolução da atração de viagens das zonas de 2015 até 2025.	66
Figura 27 - Comparação da atração de viagens das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.	66
Figura 28 - Evolução da geração de viagens das zonas de 2015 até 2025.	67
Figura 29 - Comparação da geração de viagens das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.	67
Figura 30 - Concentração populacional das zonas de 2015 até 2025.	68
Figura 31 - Comparação da concentração populacional das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.	69
Figura 32 - Concentração de empregos das zonas de 2015 até 2025.	69
Figura 33 - Comparação da concentração de empregos das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.	70
Figura 34 - Comparação entre níveis de serviço - Cenários 15A, 20A e 25A.	74
Figura 35 - Comparação entre níveis de serviço - Cenários 25A, 25B e 25C.	75
Figura 36 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada de São Sebastião - Cenários 15A, 20A e 25A.	76
Figura 37 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada da DF140 - Cenários 15A, 20A e 25A.	76
Figura 38 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada de São Sebastião - Cenários 25A, 25B e 25C.	77
Figura 39 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada da DF - 140 - Cenários 25A, 25B e 25C.	78

Lista de tabelas

Tabela 1- Modelos baseados em Lowry.	10
Tabela 2 - Modelos Econométricos.	12
Tabela 3 - Modelos que utilizam microssimulação	14
Tabela 4 – Exemplos de aplicação de diversos modelos LUTI.....	16
Tabela 5 - Programas de geração de resultados do TRANUS.....	32
Tabela 6 – Resumo das sugestões das Diretrizes Urbanísticas da Região de Expansão Sul/Sudeste	41
Tabela 7 – Capacidade Básica para condições ideais.....	42
Tabela 8 – Linhas de ônibus levantadas	43
Tabela 9 – Ocupação média veicular.....	45
Tabela 10 – Consumo médio e preço de combustível.....	45
Tabela 11 – Quantidade de Trabalhadores em cada RA	46
Tabela 12 – Compatibilização das faixas de Renda	46
Tabela 13 – Quantidade de pessoas por faixa de renda.....	46
Tabela 14 – Faixa de renda de cada Classe em R\$.....	47
Tabela 15 – População por local do posto de trabalho	47
Tabela 16 – Tipo de emprego por Região Administrativa	48
Tabela 17 – Quantidade de emprego de cada tipo por Região Administrativa	48
Tabela 18 - Áreas consideradas	49
Tabela 19 – Densidade de cada Zona por atividade (m ² /pessoa)	49
Tabela 20 -Taxas de Crescimento populacional até 2025	50
Tabela 21 – Série Histórica de Taxas de Crescimento de empregos.....	50
Tabela 22 – Tipo de cada via.....	53

Tabela 23 – Características das Categorias criadas	56
Tabela 24 – Contagem de veículos gerada pelo TRANUS	60
Tabela 25 – Indicadores de Transportes - Cenário 15A	61
Tabela 26 – Indicadores de transportes das simulações	64
Tabela 27 – Tempos de viagem entre as zonas gerado pelo <i>Google Maps</i>	90
Tabela 28 – Tempos de viagens entres as zonas gerados pelos TRANUS Cenário 15A	91
Tabela 29 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 15A	92
Tabela 30 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 20A	93
Tabela 31 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25A	94
Tabela 32 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25B	95
Tabela 33 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25C	96

Lista de Siglas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível

APA – Área de Proteção Ambiental

BRT – Bus Rapid Transit

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CSV – Comma Separated Values

DER – Departamento de Estradas e Rodagem

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito

DF – Distrito Federal

DFTRANS – Transporte Urbano do Distrito Federal

DIUR – Diretrizes Urbanísticas

EPDB – Estrada Parque Dom Bosco

EPJK – Estrada Parque Juscelino Kubitschek

EPVA – Estrada Parque Cabeça do Veado

GDF – Governo do Distrito Federal

HWB – Home to Work Based

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LUOS – Lei de Uso e Ordenamento do Solo

LUTI – Land Use and Transport Integration

O/D – Origem/Destino

PDAD – Pesquisa Distrital por Amostra a Domicílio

PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal

PDTU – Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade

PMAD – Pesquisa Metropolitana por Amostra de Domicílios

RA – Região Administrativa

RIDE – Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

SEDHAB – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação

SEGETH – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação

SM – Salário Mínimo

TRANUS – *Transportes y Usos del Suelo*

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UnB – Universidade de Brasília

UTM – Universal Transversa de Mercator

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS	3
1.2	PROBLEMA.....	3
1.3	JUSTIFICATIVA	5
1.4	ESTRUTURA.....	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1	MODELAGEM INTEGRADA DE USO DO SOLO E TRANSPORTE	8
2.1.1	Modelo gravitacional de Lowry e semelhantes	9
2.1.2	Modelos econométricos	11
2.1.3	Modelos de Microsimulação.....	13
2.1.4	Exemplos de Aplicação de modelos LUTI.....	15
2.2	TRANUS	20
2.2.1	Antecedentes teóricos	20
2.2.2	Exemplos de aplicação do modelo TRANUS	23
2.2.3	Características técnicas do modelo.....	28
3	MÉTODO	35
3.1	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1.1	Distrito Federal	35
3.1.2	Região Sul/Sudeste do Distrito Federal.....	38
3.2	OBTENÇÃO DE DADOS.....	42
3.2.1	Rede Viária.....	42
3.2.2	Determinação das Características dos Operadores	43
3.2.3	Obtenção de Dados Socioeconômicos e Uso do Solo.	45
3.3	MODELAGEM NO TRANUS.....	51
3.3.1	Desenho da rede.....	51

3.3.2	Definição das zonas de tráfego.....	53
3.3.3	Inserção de dados.....	55
3.3.4	Calibração de dados base.....	57
3.3.5	Simulações.....	58
4	RESULTADOS	59
4.1	CENÁRIO BASE - 2015 (15A).....	59
4.2	SIMULAÇÕES	61
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	71
5.1	CALIBRAÇÃO DO CENÁRIO BASE.....	71
5.2	COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS.....	72
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	Apêndice A – Tempos de Viagem entre Zonas.....	90
	Apêndice B – Matrizes Origem/Destino	92

1 INTRODUÇÃO

A relação entre as características do uso do solo e o sistema de transportes é conhecida desde os primeiros trabalhos desenvolvidos na década de 60 (LOWRY, 1964). A existência de atividades sociais provoca ao espaço urbano uma maior acessibilidade espacial, enquanto a implantação de infraestrutura para estas favorece a maior possibilidade do surgimento de interações sociais, o que torna a aumentar a necessidade de mobilidade (ARRUDA, 2005).

Esse processo se repete, representando um ciclo de retroalimentação entre o uso do solo e transportes, expressando um equilíbrio entre demanda e oferta. Ou seja, enquanto o transporte cria e modifica o uso do solo, este condiciona o surgimento e as características do transporte (ARRUDA, 2005).

Algumas cidades no país, como Brasília e Curitiba, realizam o planejamento urbano através de grandes eixos de transportes, chamados eixos estruturantes (MIYAGIMA, 2008). A implantação desses eixos incentiva a ocupação de certas áreas (MORAES, 2007) e pode levar a aumentos no preço do solo (MIYAGIMA, 2008).

Para simular os efeitos dessa relação, são utilizados modelos integrados de uso do solo e transporte, os chamados LUTI (*Land Use Transportation Integration*). Esses modelos proporcionaram um avanço em relação aos modelos tradicionais, pois em sua análise matemática leva em conta a dinâmica imobiliária da cidade (WERNECK, 2015). Os primeiros modelos LUTI foram desenvolvidos em 1963. Atualmente os modelos de transportes e uso do solo analisam, por meio de microssimulação, como as alterações de uso do solo afetam o comportamento de viagens.

Dentre os modelos LUTI, pode-se citar o TRANUS, criado por De la Barra, em 1985. Este modelo destaca-se por ser gratuito e, principalmente, pensado e calibrado para um contexto latino-americano (WERNECK, 2015). O TRANUS permite avaliar os efeitos de políticas de transporte sobre o uso do solo e sobre a localização de atividades, sendo assim uma importante ferramenta de planejamento urbano. Para isso, ele analisa os elementos de oferta e demanda de dois subsistemas, as atividades e os transportes (MODELÍSTICA, 2011).

Devido a essa forte relação entre uso do solo e transportes, é importante que o Planejamento Urbano e o Planejamento dos Transportes sejam feitos conjuntamente. Assim, a previsão feita para o uso e ocupação da área urbana pode ser acompanhada pela infraestrutura

de transporte mais apropriada e adequada ao comportamento de viagem dos indivíduos que ali desenvolverão suas atividades. Entretanto, de acordo com Moura (2017), a tendência de não haver integração entre planejamento urbano e planejamento de transportes pode provocar problemas em relação à mobilidade urbana, tanto para o indivíduo como para a sociedade.

O adequado planejamento urbano e de transportes ajuda a mitigar as dificuldades atuais de locomoção e prevenir obstáculos futuros, através de ordenamento de uso do solo, melhor aproveitamento da infraestrutura existente e controle da expansão urbana. Além disso, um bom planejamento de uso do solo pode levar a uma redução do uso de automóveis como locomoção (MOURA, 2017).

No plano urbanístico original de Lúcio Costa para a Capital Federal, o centro da unidade da federação deveria, em seu ápice, abrigar meio milhão de habitantes de todas as faixas de renda (COSTA, 1995). Entretanto, o Plano Piloto ainda não atingiu a população esperada, apesar de o Distrito Federal, quase 60 anos após a inauguração, possuir uma população de três milhões de pessoas (IBGE, 2017). Isso mostra que Brasília sofreu um intenso processo de descentralização desde sua criação (PESCATORI, 2015). Tal dispersão, não planejada, resultou na criação de assentamentos irregulares, alguns como forma de invasão, outros na forma de condomínios horizontais fechados (IPEA/UnB/UFRJ, 2002).

Segundo Brito (2009), foi criado um eixo estrutural na direção sudoeste do Distrito Federal ligando as cidades de Guará e Taguatinga ao Plano Piloto, o que contribuiu para a expansão urbana nessa direção. Além disso, o PDOT de 1997 confirmava o eixo oeste/sudoeste como de ocupação prioritária (GDF, 1997). Em 2013, como maneira de promover o crescimento de outras regiões, o governo distrital emitiu a DIUR-07/2013 como forma de orientar a construção de um espaço urbano integrado (SEDHAB, 2013a).

Percebe-se que essa ocupação pode não ser acompanhada do planejamento de transportes ou mesmo urbano necessário, gerando diversos problemas de infraestrutura, como falta de abastecimento d'água, falta de rede de esgoto e drenagem (IPEA/UnB/UFRJ, 2002).

No que tange à mobilidade urbana, a falta de planejamento de transportes resulta na má previsão de transporte público para atender os assentamentos mais pobres, as chamadas invasões e esgotamento da capacidade das vias pelo número de veículos gerados nos assentamentos de classes mais altas (BITENCOURT, 2005).

Não raro a imprensa noticia muitos problemas de congestionamento na cidade, principalmente nos chamados “dias e horários de pico” quando há maior concentração de veículos e pessoas deslocando-se ao mesmo tempo para trabalhar na área central da capital federal. Posteriormente, ao final do dia/atividade laboral, há o retorno às Regiões Administrativas de origem e/ou municípios no entorno do Distrito Federal, de modo a superlotar as vias públicas de acesso ao Plano Piloto.

Um fenômeno bastante observado nos últimos anos no DF é a criação de novos condomínios fechados, em que residências familiares se espalham horizontalmente sobre o território, em sua maioria a grandes distâncias do núcleo. Essa situação causa gargalos na mobilidade urbana do DF, uma vez que grande parte da população deve se deslocar por grandes distâncias, nos mesmos horários, para alcançar o centro urbano (GDF, 2009).

Sendo assim, propõe-se o uso de modelagem integrada como ferramenta no planejamento urbano e de transportes. A modelagem permite que se analisem os dados mais críticos para melhor compreender a situação atual, prever o desenrolar de situações futuras e auxiliar na tomada de decisões para a solução dos problemas existentes (GARBER e HOEL, 2009).

Tendo isso em vista e levando em consideração a atual problemática do sistema de transporte no Distrito Federal, entende-se possível e necessário buscar novas soluções para aprimorar a mobilidade urbana, a partir do ajuste do uso do solo na região.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar a relação entre transportes e uso do solo na região de expansão ao longo da DF-140, no Distrito Federal.

O objetivo específico é identificar medidas para redução da necessidade de viagens da população residentes a partir da geração de cenários de uso do solo e de transportes utilizando o TRANUS.

1.2 PROBLEMA

A região do Distrito Federal está passando por um processo de expansão urbana desordenada. Nos últimos anos várias áreas urbanas novas foram criadas em volta do Plano

Piloto. Como já mencionado, nem sempre essa expansão é acompanhada de uma devida infraestrutura, causando problemas de abastecimento e nos sistemas de transporte.

Além disso, o PDOT (2012) indica o fenômeno da dispersão por causa do parcelamento horizontal do solo, desconectado dos núcleos urbanos, chamado de condomínios. Mais especificamente, essa dispersão causa diversos impactos negativos sobre o território, como o aumento das distâncias percorridas, o incremento do transporte privado e a inviabilização da implantação de um sistema de transporte público, de modo a tornar necessária a constante ampliação da rede viária (GDF, 2009).

Segundo a Terracap existem cerca de 380 condomínios irregulares no Distrito Federal e muitos deles não respeitam as Áreas de Proteção Ambiental (APA), como mostra a Figura 1.

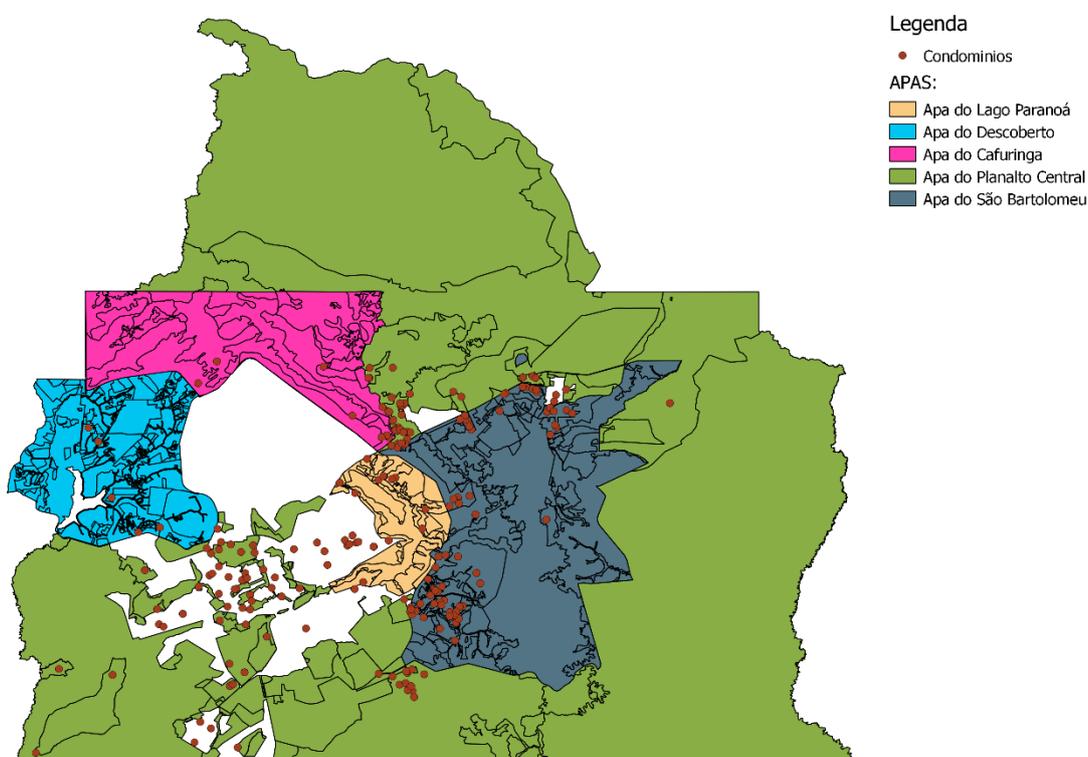


Figura 1 - Condomínios em Áreas de Proteção Ambiental.

Fonte: Elaboração própria, baseado em dados da Terracap (2018) e SEGETH (2018)

Essa dispersão dos habitantes do centro da cidade não foi acompanhada de uma descentralização dos empregos urbanos. Segundo o PDAD, 2016, mais de 40% dos empregos do Distrito Federal se encontram na região administrativa do Plano Piloto, enquanto apenas 7% da população do DF reside neste local. Graças a isso, o centro da capital atrai um número muito elevado de viagens, como mostram as linhas de desejo pesquisadas pelo PDTU, 2014.

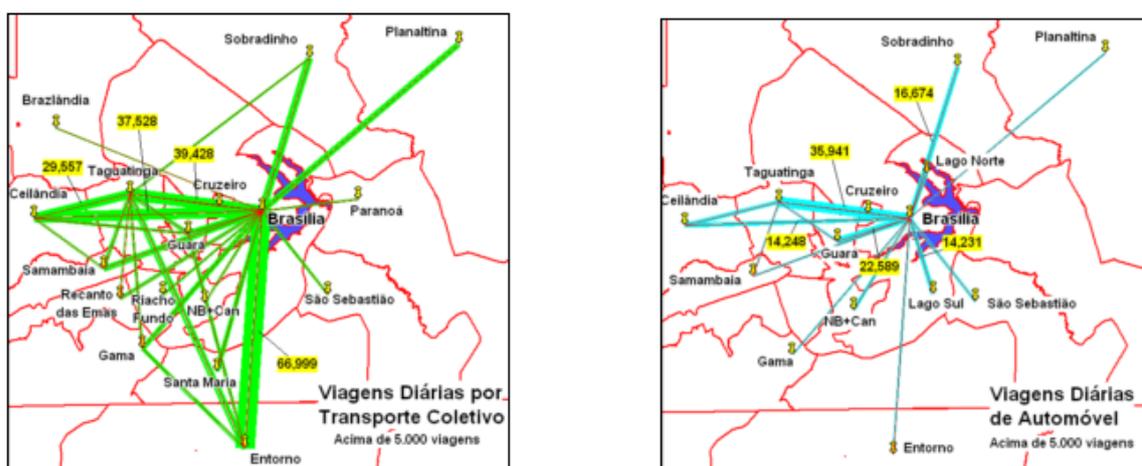


Figura 2 - Linhas de desejo do DF e Entorno.

Fonte: PDTU, 2014

Como consequência, Kneib, 2008, atribui à concentração de empregos nos centros urbanos como fator motivador dos movimentos pendulares de grandes distâncias, aqueles que a população realiza uma viagem de ida de manhã e outra de volta no final da tarde. Como nessa tendência boa parte da população necessita utilizar as vias nos mesmos horários os problemas de congestionamento são intensificados.

Além do mais, percebe-se, a partir dos documentos existentes, que não existe, para o Distrito Federal e Entorno, uma integração entre o Planejamento Urbano e o Planejamento de Transportes. Apesar de reconhecer a relação entre o sistema de transportes e o crescimento urbano, propondo a criação de novas centralidades para combater a mobilidade pendular da cidade, o PDOT, 2012 não realizou simulações para poder prever quais mudanças seriam eficazes para alcançar esse objetivo. O PDTU, 2014, por sua vez, não chegou a considerar alterações no uso de solo como uma força motivadora de mudanças nas características das viagens do Distrito Federal.

1.3 JUSTIFICATIVA

Existem inúmeros modelos de previsão de demanda de transportes. Escolher o modelo certo para cada situação geralmente é uma atividade difícil e que depende de muitas variáveis, como a quantidade e qualidade dos dados disponíveis, horizonte de tempo e calibração (Vanderlei, 2016).

Em geral o modelo mais utilizado para tal função é o de quatro etapas, por ser o mais antigo e mais difundido. O PDTU/DF, 2010, utilizou esse modelo para realizar as previsões

de demanda para o Distrito Federal. Entretanto, modelos LUTI demandam um gasto menor com coleta de dados, visto que não é necessário realizar pesquisa a domicílio e com qualidade possivelmente superior de resultados (MODELÍSTICA, 2011).

Sabendo-se da relação intrínseca entre uso de solo e transporte torna-se essencial determinar quais fatores são necessários para que ocorra uma mudança significativa na demanda da malha de transporte na região de novos condomínios (ARRUDA, 2005). Para isso, é necessário realizar simulações com cenários distintos para identificar e definir a influência destes parâmetros na relação de uso do solo e transportes.

Nesse sentido, torna-se importante a utilização de modelos LUTI no que diz respeito a criar um alinhamento melhor entre as políticas de uso de solo e de transportes, de maneira que as ações de um sejam consideradas no outro. Sendo assim, será possível uma integração entre Planejamento Urbano e Planejamento de Transporte.

No Brasil já existem alguns exemplos de aplicação de modelos LUTI. Werneck (2015) e Pereira (2013), utilizaram o modelo TRANUS para realizar a previsão de demanda da cidade de Belo Horizonte. Além disso, o governo de São Paulo utilizou o mesmo modelo para realizar simulações de cenários de políticas públicas no uso do solo. No Distrito Federal, Vanderlei (2016) desenvolveu uma calibração do TRANUS para a realidade distrital.

Dessa forma, optou-se pelo uso do Modelo Integrado de Uso de Solo e Transporte na análise de mobilidade urbana pela possibilidade de averiguar, não somente a capacidade atual do sistema, como também realizar previsões futuras em cenários propostos. Neste aspecto, considerando o LUTI como satisfatório para a previsão de demanda, tem-se que é possível verificar os efeitos de mudanças locais ou regionais no uso de solo para o transporte.

No Distrito Federal, uma das dificuldades na mobilidade urbana é a dispersão de habitantes sem a descentralização de empregos, combinado ao desalinhamento entre planejamentos urbano e de transportes, expressado principalmente pelo grande número de condomínios residenciais espalhados no DF. Dessa maneira, notando-se que o desafio recai sobre problemas de transporte e uso de solo, os modelos LUTI tornam-se ferramentas essenciais na análise e na busca de soluções para melhorar a mobilidade urbana.

Destes modelos, optou-se pelo uso do TRANUS (*Transport y Uso del Solo*) por ser um modelo de fácil acesso (gratuito), que pode ser utilizado em qualquer computador pessoal e que leva em consideração o cenário latinoamericano de rede de transporte em seus cálculos.

Além disso, é amplamente utilizado, existindo vários exemplos de aplicação, discutidos mais detalhadamente no Capítulo 2 deste trabalho.

1.4 ESTRUTURA

Este trabalho está dividido em seis capítulos.

O primeiro consiste na introdução do tema, contextualização do problema e definição dos objetivos do estudo, bem como determinação de justificativas para a pesquisa.

O segundo refere-se à revisão da literatura, dividida nas seções: Modelagem Integrada de uso de solo e transportes; e TRANUS.

O terceiro aborda os métodos a serem utilizados nesta pesquisa; tanto na definição da área de estudo e obtenção de dados, como também na modelagem e análise de resultados.

O quarto contém os resultados no sistema viário e no solo, obtidos a partir da aplicação do método.

O quinto trata das análises realizadas para os resultados encontrados.

O sexto apresenta a conclusão do trabalho, considerações sobre o modelo TRANUS e recomendações para pesquisas futuras.

É possível notar uma mudança de objetivos na modelagem de transporte. Inicialmente, a preocupação maior dos modelos era determinar a oferta de capacidade, devido ao aumento da quantidade de veículos na pista. Recentemente, há uma preocupação maior com as consequências ambientais do transporte, e com a redução do fluxo de automóveis individuais nas pistas (BATES, 2007).

Os modelos tradicionais são compostos principalmente pelo Modelo de Quatro Etapas e o Modelo de Atividades. Neste trabalho, será utilizado o Modelo Integrado de Uso de Solo e Transportes (*LUTI models*).

A maioria dos modelos integrados de uso de solo e transporte se utiliza de alguma previsão econômica regional, que prediz e atribui a localização do setor básico de emprego. Sendo assim, eles são dependentes da confiabilidade e acurácia de previsões macro e micro econômicas (RODRIGUE *et al.*, 2017).

É possível dividir a evolução de modelos integrados de uso de solo e transporte em três grupos distintos, de acordo com a premissa que seguem. O primeiro é composto por modelos com interação espacial e gravitacional. O segundo é composto por modelos econométricos. A terceira categoria é a de modelos baseados na microssimulação (IACONO *et al.*, 2008).

Os dois primeiros especificam a interação entre rede de transporte e localização com um conjunto agregado de relações baseadas no comportamento de um representante de uma amostra da população, sendo que a aproximação é “*top down*”. Atualmente são os mais utilizados na área de planejamento.

O terceiro grupo, por sua vez, cobre um número de diferentes abordagens, representando as dinâmicas entre mudança do uso do solo e comportamento de viagens. Em geral compartilham o foco como de tentar desagregar a população e simular mudanças “*bottom up*” (IACONO *et al.*, 2008).

2.1.1 Modelo gravitacional de Lowry e semelhantes

Um dos primeiros modelos integrados de uso do solo e transporte foi desenvolvido por Lowry, em 1964, chamado de Modelo de Metrôpoles (*Model of Metropolis*). Este modelo baseou-se na análise para a cidade de *Pittsburgh*, EUA no estado americano da Pensilvânia, e descreve a relação entre transporte e uso do solo.

Esses modelos são considerados gravitacionais, pois as interações espaciais, como migração da população, localização residencial e de serviços ou distribuição de viagens de origem e destino foram baseadas na lei gravitacional de Newton (HENSHER *et al.*, 2008).

O principal aspecto deste modelo é o crescimento regional e urbano ocorrer em função da expansão do setor econômico básico. O setor básico, que no modelo corresponde a uma demanda exógena, é aquele que promove atividades industriais voltadas para o público externo e possui localização fixa, o que causa a locação de moradias e serviços para atender a população em seu entorno.

A localização do setor de serviços e comércio é importante, uma vez que ele atende às demandas locais. Esse setor é um elemento endógeno do modelo de Lowry. Já o setor residencial está ligado ao local de trabalho e também é considerado um elemento exógeno. Nota-se que os setores de serviço e residencial são influenciados pelo básico.

Várias limitações acompanham este modelo. A principal delas é o fato de ser considerado um modelo estático, ou seja, não provê informações a respeito da evolução do sistema de transporte e uso de solo no tempo (RODRIGUE *et al.*, 2017a). Outra limitação é a ausência de teorias que descrevem o comportamento capturado no modelo (IACONO *et al.*, 2008).

Dentre outros modelos baseados nestas premissas pode-se citar o TOMM (*Time-Oriented Metropolitan Model*), o primeiro modelo derivado de Lowry, que possuía a desagregação da população em grupos socioeconômicos e o PLUM (*Projective Land Use Model*), que substituiu os potenciais de terreno por modelos de gravidade (TIMMERMANS, 2003).

Dessa etapa, um modelo muito utilizado é o IRPUD, desenvolvido por Wegener em 1977. Ele apresenta 6 submodelos que operam simultaneamente, o submodelo de transportes, de políticas públicas, de construção, de trabalho, de mercado imobiliário residencial e de envelhecimento (WEGENER, 2011). Um resumo dos modelos dessa fase pode ser visualizados na Tabela 1, adaptada de Iacono et al., 2008.

Tabela 1- Modelos baseados em Lowry.

Modelo	Referência	Características
Modelo de Metrópolis	Lowry (1964); Garin (1966)	Primeiro modelo operacional de uso do solo; Garin criou a representação matricial.

Modelo	Referência	Características
TOMM	Crecine (1964)	Desagregação da população; Incorporação dos efeitos de inércia na alocação de atividades.
PLUM	Goldner (1971)	Trocou o modelo de gravidade padrão pelo modelo de oportunidade interveniente; Uso de parâmetros de dispersão específicos para condados.
ITLUP	Putman (1963)	Primeiro <i>software</i> completo para modelagem integrada; Melhorias nas técnicas de calibração; Melhorias nos modelos com vários nós; Consideração de efeitos de congestionamento na alocação de viagens.
LILT	Mackett (1983)	Uso da função de Acessibilidade; Submodelo de propriedade de carros; Modelo de uso de solo capaz de considerar demolição, mudar ocupação dos veículos e tarifas.
IRPUD	Wegener (1982)	Contém sete submodelos diferentes; Microsimulação de uso do solo; Uso de diferentes submodelos para diferentes escalas; separa viagens discretizadas de não discretizadas.

Fonte: Adaptado de IACONO *et al.*, 2008.

2.1.2 Modelos econométricos

Econometria é um método estatístico de análise de dados com o intuito de compreender a relação entre variáveis econômicas. Os modelos econométricos de uso de solo e transporte buscam aprimorar a teoria para descrever os comportamentos observados no sistema LUTI.

Para tanto, utilizam-se modelos baseados na teoria de utilidade aleatória, na qual indivíduos fazendo uma escolha discreta, como onde viver ou que modo de transporte usar, escolherão a opção que maximiza a utilidade. Esse modelo promove a base teórica para modelar a economia espacial (HENSHER *et al.*, 2008).

Concomitantemente, ocorre uma junção entre modelos econômicos regionais e modelos de mercado imobiliário. Esses dois modelos formam o núcleo de sistema de simulação que inclui a predição do fluxo de transporte.

O modelo a ser utilizado nesse projeto, TRANUS, faz parte dessa categoria, e será explicado com mais detalhes na seção 2.2. Ele é um modelo espacial de input-output onde as atividades são setores determinados pelo usuário (TIMMERMANS, 2003). São exemplos de outros modelos importantes dessa fase o MEPLAN e o DELTA.

O MEPLAN, desenvolvido por Echenique *et al.*, 1990, também é um modelo espacial de *input-output*. Ele começou como uma ferramenta de análise imobiliária e posteriormente foi desenvolvido um sistema de transportes para ser utilizado em Santiago, Chile. Ele é capaz de gerar informações sobre tempo de viagem, divisão modal e alocação de viagens, utilizando uma base teórica bastante similar à do TRANUS (TIMMERMANS, 2006).

O DELTA foi desenvolvido por Simmonds, 1999, tendo como base o modelo START. Ele utiliza como dados de entrada informações sobre a acessibilidade de cada zona para diversos motivos de viagem, como trabalho ou mercado (TIMMERMANS, 2003). Isso porque Simmonds, 1999, afirma que modelos como o TRANUS e o MEPLAN sobrestimam a importância de viagens do tipo HBW. A Tabela 2 apresenta um resumo dos modelos econométricos apresentados no texto e outros que mais se destacam segundo IACONO *et al.*, 2008.

Tabela 2 - Modelos Econométricos.

Modelo	Referência	Características
CATLAS	Anas (1982)	Representação improvisada dos agentes econômicos e escolha de decisão; Tratamento explícito do mercado imobiliário; Capacidades de análises econômicas.
MEPLAN	Echine et al (1969) Echine et al (1990)	Incorporação de um modelo espacial de <i>inputs-outputs</i> com avaliação econômica; Previsão de viagens comerciais; Viagens são tratadas como uma demanda derivada.
TRANUS	De la Barra (1989)	Desenvolvimento de modelos de demanda que simulam as escolhas; Modelo de viagens sofisticado com escolha modal e de rota combinados.

Modelo	Referência	Características
MUSSA	Martinez (1992)	Incorporação da estrutura oferta demanda para solo; Representação detalhada da rede de trânsito no modelo de viagens; alto nível de desagregação de tipos de domicílios.
METROSIM	Anas e Arnott (1994)	Modelo estendido para o mercado imobiliário; Adição do modelo dinâmico CHPMM do mercado imobiliário.
NYMTC-LUM	Anas (1998)	Determinação endógena dos preços do solo; alto nível de desagregação espacial apropriado para a avaliação do trânsito e uso do solo.
DELTA	Simmonds (1999)	Microsimulação de mudanças demográficas.
PECAS	Hunt e Abraham (2005)	Modelo regional econométrico com microsimulação de desenvolvimento do solo em nível de parcelamento; Habilidade de utilizar um modelo de viagens baseado em atividades e aplicá-lo em um nível supra regional.

Fonte: Adaptado de IACONO *et al.*, 2008

2.1.3 Modelos de Microsimulação

Com os avanços na capacidade de processamento de computadores foi possível utilizar modelos que superam algumas das deficiências dos modelos anteriores. Esses modelos desagregam os dados na escala micro ou individual (WERNECK, 2015).

As ferramentas de microsimulação permitem que a análise de transporte investigue fenômenos como o comportamento de filas em interseções e rampas, e determine impactos de estacionamentos e políticas de gerenciamento de acidentes no fluxo de tráfego (HENSHER *et al.*, 2008). Sendo assim, os modelos que contêm métodos de microsimulação são eficientes para modelar sistemas dinâmicos e complexos, tais como sistemas urbanos (IACONO *et al.*, 2008).

A maioria dos modelos de microsimulação é capaz de simular a performance da rede de transportes no decorrer do tempo, de maneira que não são mais estáticos. Tais modelos, ainda, possibilita a simulação de vários agentes no desenvolvimento do uso de solo.

Oportuno mencionar, no entanto, que estes continuam necessitando de vários recursos para serem efetuados. Ainda, a calibração e a obtenção de dados para esses modelos são uma tarefa complexa (IACONO *et al.*, 2008).

O UrbanSim utiliza um modelo de escolhas discretas, tentando prever a situação de desequilíbrio entre a oferta e a demanda de produtos. Sua base geográfica são células da rede que contêm informações sobre o uso do solo, como quantidade de unidades habitacionais e valor por metro quadrado da célula. Outra diferença entre esse modelo e o TRANUS é o fato de o programa classificar todos os tipos de usos do solo, ao passo que o TRANUS exige a inserção manual da informação (Waddell, 2002).

O RAMBLAS, desenvolvido por Veldhuisen, Timmermans e Kapoen, 2000, considera que a demanda pelos ambientes urbanos é derivada dos padrões de atividade da população. Dessa forma, ele tem como objetivo prever a distribuição espacial das atividades de indivíduos bem como os fluxos de tráfegos criados por essas atividades em um período determinado do dia (VELDHUISEN *et al.*, 2000).

Para os modelos desenvolvidos nessa etapa, a Tabela 3 também resumiu em seu trabalho os principais modelos existentes e suas características.

Tabela 3 - Modelos que utilizam microsimulação

Modelo	Referência	Características
ILUTE	Salvani e Miller (2005)	Modelo compreensível de microsimulação do sistema urbano; estruturado para captar mudanças temporais no espaço urbano; Modelo de viagens baseado em atividades considera iterações entre membros da família; Estrutura de modelo de desequilíbrio.
ILUMASS	Moekel <i>et al.</i> (2003) Strauch <i>et al</i> (2003)	Descendente do modelo IRPUD; Simulação dinâmica dos fluxos de tráfego e movimentação de bens; Avaliação ambiental.
Ramblas	Veldhuisen <i>et al</i> (2003)	Estrutura de modelo baseada em regras; desenhado para simular populações muito grandes.

Modelo	Referência	Características
UrbanSim	Waddel <i>et al</i> (2005)	Modelo de uso do solo com microsimulações demográficas para processar o desenvolvimento do uso do solo; representação do uso do solo no nível de parcelas; alto nível de desagregação do uso do solo; <i>software</i> de código livre.

Fonte: Adaptado de IACONO *et al.*, 2008

2.1.4 Exemplos de Aplicação de modelos LUTI

Desde sua criação por Lowry em 1964, há exemplos de aplicação de modelos LUTI em várias cidades ao redor da Terra. Não obstante, alguns pesquisadores percebem dificuldades de aplicar modelos desenvolvidos em certas cidades para outras regiões (CLAY, 2010; ZIO, DI, MONTANARI E STANISCIÀ, 2010).

A Tabela 4 mostra um resumo de vários trabalhos desenvolvidos nos últimos 20 anos. Por essas obras utilizarem o modelo TRANUS para a simulação é possível notar um elevado número de projetos que o utilizaram.

Tabela 4 – Exemplos de aplicação de diversos modelos LUTI

Título, autor e modelo utilizado	Pesquisa
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo Integrado de Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: uma Aplicação do TRANUS em Brasília – DF. • (VANDERLEI, 2016) • TRANUS 	<p>Objetivo: Usar o TRANUS para prever a demanda de trânsito no DF.</p> <p>Método: Analisar métodos de calibração do modelo TRANUS e a previsão de cenários futuros considerando a expansão urbana sem intervenção e com melhoramentos no Transporte Público.</p> <p>Resultados: Cenário Base construído não representou bem a realidade segundo os indicadores escolhidos. O modelo construído pelo autor ainda precisa de mais calibrações para poder simular outros cenários.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Metodologia para estimativa de fluxos de carga a partir de dados secundários: uma aplicação em Belo Horizonte - MG • (PEREIRA E OLIVEIRA, 2014) • TRANUS 	<p>Objetivo: preparar uma metodologia para estimar fluxos de cargas utilizando modelos LUTI.</p> <p>Método: A partir das locações de atividades foi possível encontrar relação entre produção e consumo de cargas (alimentos e bebidas), classificando cada tipo de atividade para prever a geração e alocação de viagens utilizando o TRANUS.</p> <p>Resultados: Os dados de viagens gerados pelo TRANUS ficaram coerentes com informações de pesquisas anteriores. Foi possível determinar quais estabelecimentos comerciais geravam mais demanda de viagens para abastecimento de mercadorias.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Contribuição de um modelo LUTI para o planejamento integrado em transportes e uso do solo na região metropolitana de Belo Horizonte (MG) • (WERNECK, 2015) • TRANUS 	<p>Objetivo: Avaliar o uso de modelos LUTI para o desenvolvimento de políticas integradas.</p> <p>Método: Criação de um Cenário Base calibrado com os dados O/D de um período anterior e a criação de um cenário intermediário para a validação do modelo de previsão de viagens. Além disso, foram criados outros cenários com políticas de incentivo de uso de transporte público estímulo a criação de múltiplas centralidades.</p> <p>Resultados: Os cenários de calibração e validação apresentaram resultados condizentes com a realidade. O cenário de incentivo ao transporte, assim como a criação de novas centralidades, acabou resultando em um aumento dos valores de congestionamentos. O cenário integrado por sua vez apresentou os melhores resultados.</p>

Título, autor e modelo utilizado	Pesquisa
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Modeling Urban Dynamics Using LUTI Models: Calibration Methodology For The Tranus-Based Model Of The Grenoble Urban Region.</i> • (FEUDO <i>et al.</i>, 2017) • TRANUS 	<p>Objetivo: Testar as potencialidades de modelos LUTI desenvolvendo métodos para sua calibração e inserção de dados sobre uso do solo.</p> <p>Método: Foram considerados setores de emprego e três setores de atividades. Além disso, foram desenvolvidas funções para a demanda entre setores, demanda por espaço residencial, bem como a elasticidade e preços do mercado imobiliário.</p> <p>Resultados: Verificaram-se apenas metodologias para auxiliar a definição de características sobre o uso de solo da cidade. Foram observadas pequenas diferenças entre o simulado pelo modelo e o observado pelos pesquisadores. Assim, os pesquisadores esperam que mais usuários de modelos LUTI usem a ferramenta desenvolvida para a calibração do uso de solo em outras pesquisas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Significance And Uncertainty Of Land-Use Model In Travel Demand Forecast: An Empirical Study With Tranus Sapporo.</i> • (MIYAMOTO <i>et al.</i>, 2000) • TRANUS 	<p>Objetivo: Analisar a propagação de incertezas de uma simulação de uso do solo no tempo em modelos LUTI.</p> <p>Método: A partir de um estudo realizado em 1980 para prever a demanda por uma nova seção de metrô, foi possível validar a simulação com informações de viagens de 1995. Além disso, foi realizada uma análise para determinar qual era a sensibilidade das variáveis do modelo.</p> <p>Resultados: Em comparação com modelos estáticos, o TRANUS produziu resultados mais confiáveis. Para o modelo de Sapporo, o coeficiente de elasticidade de demanda não demonstrou uma importância estatística significativa para simular informações de uso de solo no futuro. A incerteza dos dados gerados pela simulação para diferentes horizontes de projeto se acumulou, como esperado.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de uso do solo de Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar. • (BANDEIRA, 2009) • TRANUS 	<p>Objetivo: Analisar a influência de políticas de transporte e de alteração de uso de solo na qualidade do ar da cidade de Aveiro.</p> <p>Método: O trabalho foi dividido em três etapas, a simulação de tráfego na cidade usando o modelo TRANUS para uma situação presente bem como para cenários futuros, como incentivo ao transporte público, uso de caronas e mudanças no uso do solo da cidade. Em seguida foi utilizado o programa TREM para estimar a emissão de poluentes por veículos em cada via. Por fim, foi utilizado o modelo TAPM para a simulação da dispersão de poluentes no ar.</p> <p>Resultados: Dos quatro cenários simulados apenas dois demonstraram eficácia na diminuição da emissão de poluentes: o de incentivo ao uso de caronas; e o de cumprimento das regulações de poluentes emitidos por veículos privados. O cenário que previa um aumento na frequência de ônibus gerou uma redução de 4% no número de carros no horário de pico e o cenário que previa a criação de um novo nó reduziu em apenas 9%. Dessa forma, ambos os resultados não foram considerados significativos.</p>

Título, autor e modelo utilizado	Pesquisa
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Simulation of urban development in the City of Rome.</i> • (ZIO, DI <i>et al.</i>, 2010) • URBANSIM 	<p>Objetivo: O modelo UrbanSim foi aplicado a Roma para auxiliar o planejamento de locação de próximas áreas de negócios nos vários setores da economia.</p> <p>Método: Para utilizar o UrbanSim na realidade italiana foi necessário realizar adaptações dos dados disponíveis pelos órgãos nacionais para algo próximo do utilizado pelo modelo. Foi simulado o tempo de viagem do aeroporto ao centro de negócios da cidade.</p> <p>Resultados: O modelo ainda necessitava de validação, porém foi previsto um aumento de empregos em todos os setores da economia. Além disso, foi possível conferir a expansão dos setores em torno dos grandes eixos de transporte. Por fim, foi verificado que para o ano de 2020, sem novas intervenções urbanas, o modelo previu uma dispersão maior da população em toda área.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>An Application of UrbanSim to the Austin, Texas Region: Integrated-Model forecasts for the year 2030.</i> • (KAKARAPARTHI E KOCKELMAN, 2011) • URBANSIM 	<p>Objetivo: Modelar os padrões de uso e ocupação do solo para a cidade de Austin, Texas, Estados Unidos da América para o ano de 2030, bem como encontrar índices de acessibilidade para cada cinco anos.</p> <p>Método: Foram simulados seis cenários diferentes, aumento populacional com e sem a utilização do modelo LUTI, com o crescimento do setor residencial impedido em zonas fora de uma área determinada, com o dobro do custo de viagem, com a expansão do sistema viário, dobrando a capacidade das principais vias arteriais da cidade e a adição de uma nova via de alta velocidade.</p> <p>Resultados: Os dois primeiros cenários obtiveram resultados semelhantes, com uma concentração de empregos no centro da cidade e uma elevada descentralização das zonas residenciais pela periferia. O terceiro cenário resultou em uma aglomeração tanto de residências quanto de empregos na zona central da cidade. O quarto cenário obteve resultados semelhantes ao terceiro, com a população migrando para o centro para diminuir os seus custos de viagem. Os últimos dois cenários demonstraram uma distribuição de empregos e residências ao longo de grandes eixos de transporte.</p>

Título, autor e modelo utilizado	Pesquisa
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Developing an integrated land-use/transportation model for small to medium-sized cities: case study of Montgomery, Alabama.</i> • (CLAY, 2010) • PECAS 	<p>Objetivo: Apresentar o modelo desenvolvido para a cidade de Montgomery, Estados Unidos como um estudo de caso para o desenvolvimento de outros trabalhos em cidades de pequeno e médio porte.</p> <p>Método: A escolha do modelo foi realizada a partir das suas características e da experiência de outras agências com LUTI. No desenvolvimento do modelo específico para a cidade foi utilizado uma adaptação do sistema “<i>Small Steps</i>” de criação de <i>software</i>. Para isso, cada atividade relativa à construção do modelo é avaliada quanto ao risco, custo e esforço a ser realizado.</p> <p>Resultados: O modelo PECAS foi escolhido por representar melhor informações sobre área construída, em vez de área em planta, e ter demandado menos custos de outras agências. Mesmo com um sistema claro para o desenvolvimento do modelo, a coleta de informações sobre o uso do solo se mostrou onerosa na questão de tempo. A montagem da rede de trânsito foi discretizada para obter resultados de cinco em cinco anos, de 2000 até 2030.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Land use/transport models and economic assessment.</i> • (ECHENIQUE, 2011) • MEPLAN 	<p>Objetivo: Analisar economicamente o uso de políticas públicas utilizando modelos LUTI.</p> <p>Método: Foram analisados cenários para a região nas proximidades de Cambridge, Inglaterra. Foram analisados seis cenários para a região, utilizando o modelo MEPLAN. O Cenário Base considera a criação de novos setores residenciais e a implementação de um ônibus guiado, que passa pelas novas áreas. Os outros cenários consideram uma melhora das ciclovias e calçadas, um aprimoramento do transporte público sem utilizar as ruas congestionadas da cidade, a construção de uma nova via de alta velocidade, a instalação de um pedágio e a combinação de todos os fatores anteriores.</p> <p>Resultados: O Cenário Base resultou em um aumento do custo de vida na região, dos atrasos nas vias e das emissões de poluentes. O cenário de transportes não motorizados não apresentou mudanças significativas em relação à base. O melhoramento do transporte público resultou em um aumento de 17% de usuários do sistema e uma diminuição de 1% do volume de veículos nas vias. A criação de uma via causou o aumento de 20% de veículos na área urbana e a diminuição de atrasos. A cobrança do pedágio reduziu em 49% o número de carros nas vias no horário de pico. Além disso, houve uma reestruturação da localização das atividades na cidade. Por fim, a combinação de todas as soluções resultou em uma redução de 52% no tráfego da região, bem como dos atrasos e do custo de vida da área estudada.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Apesar da quantidade de trabalhos existentes sobre o tema, boa parte das pesquisas consultadas relata a elevada complexidade para a construção de um modelo fiel de uso de solo para as cidades. Como maneira de facilitar o processo de montagem e introdução de dados de uso de solo, vários estudos se dedicam apenas à construção e calibração de cenários de modelos LUTI, como Abraham *et al.*, 2004; Capelle *et al.*, 2016; Feudo *et al.*, 2017; Zhong *et al.*, 2007.

2.2 TRANUS

2.2.1 Antecedentes teóricos

O TRANUS é um modelo de simulação integral da localização de atividades, usos do solo e de transporte, desenvolvido por Tomás de la Barra. Para a melhor aplicação do modelo de quatro etapas, o TRANUS utiliza diversas teorias econômicas e computacionais, como mostra a Figura 4. Com essas ferramentas, o programa se propõe a simular não só a atual situação da região como também alterações no uso do solo e no sistema de transportes, causadas por novas políticas de transporte.

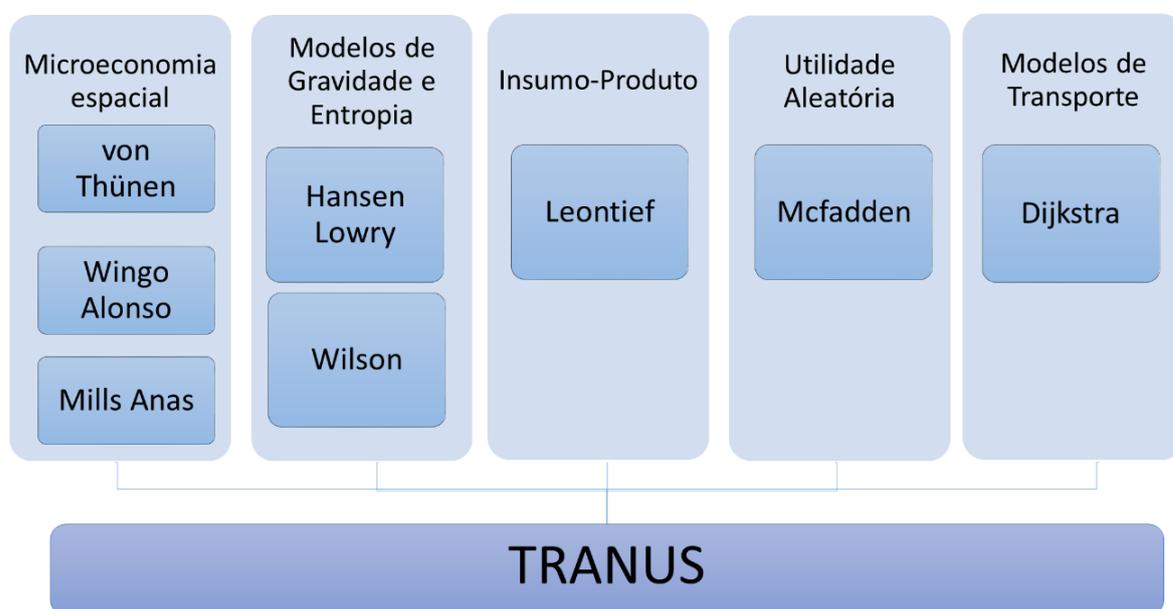


Figura 4 - Antecedentes Teóricos do TRANUS.

Fonte: Adaptado de MODELÍSTICA, 2011b

Os conceitos de economia espacial, formação do preço de solo e entropia utilizados pelo *software* foram desenvolvidos por von Thünen (1825). Esse modelo prevê que a

produção, seja de produtos ou de empregos, é localizada onde houver maior rentabilidade (PARR, 2015). Essa relação pode ser interpretada como uma reta de rentabilidade em relação à distância. Dessa forma, toda região que tem a mesma distância do centro consumidor apresenta a mesma rentabilidade do solo (DE LA BARRA, 2014).

Além disso, von Thünen (1825) indica que a criação de um eixo estruturante diminui o custo com transportes de cargas e pessoas. Assim, região com o eixo estruturante, o uso do solo tende a tomar a forma desse eixo, enquanto a região chamada de isolada, o uso do solo cresce formando círculos concêntricos. A Figura 5 indica como o uso do solo é alterado com a consideração de uma infraestrutura de transportes.

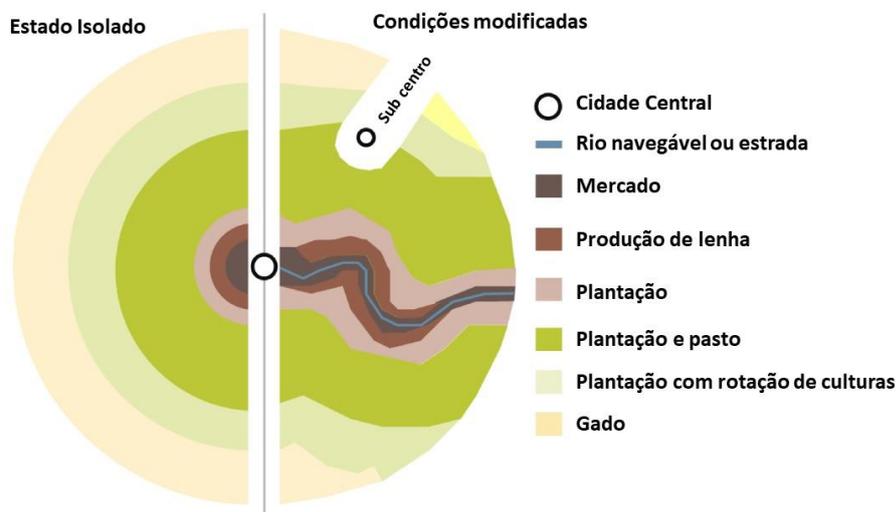


Figura 5 – Modelo de von Thünen de uso de solo.

Fonte: RODRIGUE et al., 2017

Ressalta-se que a construção de um modelo LUTI permite realizar simulações que forneçam previsões para o sistema de transporte, integrando dados do uso de solo com o sistema de transporte, inclusive num espaço temporal determinado. Nesse sentido, é possível analisar a oferta e demanda de maneira a determinar qual a situação socioeconômica e verificar as condições de acessibilidade, custo de transporte e, conseqüentemente, da qualidade de vida da população dessas áreas (WERNECK, 2015).

O modelo original de von Thünen original foi pensado para uma realidade agrícola, e apesar sua versão estendida ser facilmente adaptada para uma realidade urbana, outros autores criaram modelos para explicar o uso do solo urbano. O modelo proposto por Wingo, em 1961, considera que a densidade populacional de determinada região é dada por uma relação entre a

área consumida, o custo do transporte e a distância ao centro (WINGO,1961 *apud* DE LA BARRA, 2014).

Alonso, em 1964, criou uma teoria similar, em que ele considera que o rendimento do solo é dado por uma função que relaciona a área consumida, o custo do transporte e a quantidade geral de bens consumidos. A composição dessas variáveis dá origem a uma superfície de escolhas. Essa superfície representa as oportunidades de cada local, e assim os consumidores navegam nela para maximizar seus ganhos.

De la Barra (2014), propõe uma versão estendida do modelo de von Thünen para sua utilização no TRANUS. Essa proposta se dá como uma tentativa de tornar o modelo mais próximo da realidade. Para tanto, é introduzido o conceito de elasticidade de demanda e de consumo do solo. A elasticidade de demanda significa que, à medida que o preço de certo produto sobe, o seu consumo diminui. Além disso, se o preço do solo sobe demasiado, os produtores investem em infraestrutura para aumentar sua lucratividade.

O TRANUS também utiliza a base teórica dos modelos de gravidade e entropia desenvolvidos primeiramente por Hansen (1959) e Lowry (1964), já discutidos anteriormente, e aprimorados por Wilson (1970). O modelo faz uso das teorias de decisões discretas e unidades aleatórias, que envolvem o problema da escolha modal, desenvolvidos por McFadden (1975). Por fim, o TRANUS apresenta vários elementos de análise relacionados com Teoria das Filas e Redes, desenvolvidos por Dijkstra (MODELÍSTICA, 2012a).

Os modelos de *input-output* foram desenvolvidos pelo economista Leontief, em 1941. Esses modelos servem para analisar a resposta de setores da economia a mudanças nos links entre eles (YU, 2017). Dentre as vantagens desse modelo pode-se citar a simulação do impacto de mudanças em setores da economia específicos pelas alterações no sistema de transportes (ALLAN, 2015) e sua simplicidade permite modelar facilmente tanto macro regiões como micro regiões (PARTRIDGE E RICKMAN, 2010).

Dessa forma, o TRANUS utiliza essa teoria para prever como o preço do solo irá responder a alterações no sistema de transportes. Além disso, essa teoria é utilizada pelo modelo para prever a expansão ou retração de setores específicos de uma região, devido a mudanças em políticas de transportes (DE LA BARRA, 2014).

Para avaliar a influência das políticas de transporte no comportamento da população, o TRANUS utiliza a Teoria da Utilidade Aleatória, desenvolvida por (MCFADDEN e

DOMENCICH, 1996). Essa teoria utiliza funções probabilísticas do tipo Logit para levar em consideração as preferências dos habitantes da região estudada na escolha entre modos de viagem, destinos, hora da viagem, entre outros (MCFADDEN, 2001).

Esse modelo se baseia na teoria da escolha discreta, frequentemente utilizado na economia. Segundo essa teoria o tomador de decisão sempre escolhe a melhor alternativa para si. Entretanto, o pesquisador por não ter acesso às mesmas informações, deve levar em conta um fator aleatório inerente à avaliação do tomador de decisões (SINGLETON, 2013).

Dijkstra criou em 1959 um algoritmo para encontrar o caminho mais rápido de um processo. Sua metodologia consiste em quantificar o custo de cada caminho partindo de um nó de origem. Depois de escolhido o caminho de menor custo de um nó ao seguinte, o processo se repete até que se chegue ao nó de destino (WADDELL E GUDMUNDUR, 2015).

Esse método é amplamente utilizado no campo da computação para definir o menor caminho em grafos (PEYER, RAUTENBACH E VYGEN, 2009). Para o TRANUS sua aplicação é nas etapas de escolha modal e alocação modal. A partir de informações como o atraso em cada via ou o custo total de um veículo (incluindo manutenção, combustível e tempo de espera), ele realiza a provável escolha modal e alocação de viagens de cada indivíduo na simulação (MODELÍSTICA, 2011a).

2.2.2 Exemplos de aplicação do modelo TRANUS

No item 2.1.4 deste trabalho foram brevemente relatadas algumas pesquisas realizadas nos últimos anos com modelos LUTI. A fim de aprofundar mais na capacidade desses tipos de modelos, em especial do modelo TRANUS, detalhou-se a seguir três trabalhos dentre os demonstrados na Tabela 4.

O primeiro trata-se de um trabalho internacional, que além de mostrar como é a aplicação do modelo fora do país, trouxe uma análise diferente dos trabalhos relatados, usando o modelo como uma ferramenta de prever a influência do sistema de transportes na qualidade do ar de uma cidade. O segundo trata-se de um trabalho no Brasil, mostrando que cidades nacionais também estão trabalhando com esse modelo. Por fim, o último é um trabalho local, com o intuito de demonstrar o que já foi construído nesse modelo para o Distrito Federal.

2.2.2.1 Aveiro (Bandeira, 2009)

A pesquisa realizada por Bandeira (2009) visou utilizar o TRANUS como uma ferramenta para auxiliar a previsão da poluição do ar na cidade de Aveiro, em Portugal. Segundo o autor, apesar de a cidade não se enquadrar como uma metrópole com grandes problemas de congestionamento ou de poluição atmosférica, há problemas em seu uso do solo com grandes parques de estacionamento e calçadas e ciclovias insuficientes, bem como uma separação do setor de serviços do setor habitacional.

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo o uso de uma ferramenta de modelagem integrada de uso do solo e transportes, como o TRANUS, para analisar como mudanças no uso do solo ou a implementação de políticas de mobilidade sustentável afetam a emissão de poluentes e a qualidade do ar da cidade.

Sua pesquisa foi dividida em três etapas: (i) a simulação do número de viagens e volume de tráfego nas principais vias, no horário de pico, utilizando o modelo TRANUS de uso de solo e transporte; (ii) a simulação de emissões de poluentes, utilizando o software TREM; e (iii) a simulação da qualidade do ar, utilizando o modelo TAPM. Com os valores do número de veículos no horário de pico é possível estimar a quantidade de gramas de poluentes emitidas por quilômetro e, por fim, estimar a quantidade de poluentes por m³ de ar.

Para a inserção da base de dados no TRANUS foram coletadas informações de preços de combustível e de consumo por quilômetro para os veículos da região, bem como sua taxa de ocupação média. A rede viária da cidade foi simplificada para a modelagem, gerando um total de apenas 46 nós.

O uso do solo foi dividido em quatro setores: setor populacional, setor de emprego básico, setor de serviços e setor de solo a construir. Essas informações foram coletadas de dados censitários e do plano diretor da cidade. Além disso, foi determinado um fator de tempo para indicar que o horário de pico representa 10% do volume diário. A elasticidade, que representa o quão longe as pessoas estão dispostas a se locomover por um motivo determinado, foi verificada por meio de regressões múltiplas e tentativa e erro.

Para o cálculo da quantidade de poluentes emitidos, foi utilizado o programa TREM, desenvolvido pela Universidade de Aveiro. Esse programa leva em consideração a idade da frota e suas características mecânicas para prever a emissão de poluentes em vias. Por fim, o

autor usou o modelo TAPM, desenvolvido para realizar a simulação de processos de produção, transporte, dispersão e deposição de materiais atmosféricos.

Foram analisados quatro cenários para a cidade. O primeiro analisa como a qualidade do ar se comporta com o aumento de 25% das viagens por transporte público. O segundo cenário analisa a diminuição dos volumes de tráfego na criação de um novo nó no centro da cidade. Os dois últimos cenários, respectivamente, verificam como o fluxo se comporta com o aumento de práticas sustentáveis, como carpooling, e os níveis de poluição decorrentes do mero cumprimento das normas de emissão veicular..

O primeiro cenário não se provou efetivo, havendo a redução de apenas 4% das viagens de veículos privados. Da mesma forma, a criação de um novo nó reduziu apenas 9% do volume nas vias principais, o que para o autor não é uma redução significativa. O terceiro cenário, por outro lado, resultou em diminuição de 45% do número de carros no horário de pico e redução da emissão de CO em 44%. O último cenário resultou nas maiores reduções de emissão de CO, quase 93% a menos.

O autor conclui que a construção de um modelo simplificado, com um número reduzido de zonas e setores da economia, possibilitou a criação de uma simulação com um grau aceitável de fidelidade. Quanto aos cenários, ele concluiu que a criação de uma cultura de compartilhamento de carros produz as maiores reduções de tráfego urbano. Além disso, ele conclui que é necessária a fiscalização das emissões da frota circulante na cidade com base nos valores permitidos pela legislação.

2.2.2.2 *Belo Horizonte (WERNECK, 2015)*

Werneck desenvolveu uma pesquisa com o intuito de analisar criticamente a utilização da modelagem LUTI, utilizando o *software* TRANUS, para avaliar sua aplicabilidade no que diz respeito ao planejamento urbano e de transportes da região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Outro objetivo foi a apresentação do efetivo da modelagem na integração de políticas de transporte e uso de solo para municípios integrantes da RMBH.

No estudo de Werneck criou-se um Cenário Base em que foi feito um modelo de atividades e um modelo de sistema de transportes, de acordo com dados obtidos pelo Plano Diretor de desenvolvimento Integrado da região Metropolitana de Belo Horizonte.

Em seguida, realizou-se a calibração do modelo base a partir de pesquisa Origem/Destino atualizada em 2010, pela Fundação João Pinheiro. O modelo foi então validado em um cenário intermediário por meio da pesquisa O/D de 2012. Foi necessário nessa etapa alterar parâmetros de calibração para refletir o incremento do número total de viagens e o crescimento do uso do automóvel na distribuição de viagens.

Feita essa aferição, realizaram-se cenários prospectivos. Para isto, Werneck criou inicialmente um cenário tendencial, no qual cenários futuros correspondem a resultados de tendências atuais se desenvolvendo naturalmente, sem intervenções no transporte ou uso de solo na área de estudo.

A partir disso, o autor decidiu realizar três cenários prospectivos para evidenciar os impactos negativos da segregação de políticas de planejamento de transporte e uso e ocupação de solo, além de avaliar a aplicabilidade da modelagem integrada no planejamento urbano. Esses cenários são: transporte total, centralidade e integrado.

No cenário Transporte Total, Werneck realizou intervenções somente no módulo de transportes, a partir do Cenário Base, mantendo inalterado os parâmetros de atividades. No de centralidades foram feitas alterações nas atividades realizadas na região, mantendo-se os parâmetros de transporte do Cenário Base. Já no integrado fez alterações tanto no sistema de transporte quanto nas atividades de uso e ocupação do solo.

Para avaliação foram usados os indicadores de: impacto econômico; concentração de atividades; viagens totais; viagens suprimidas; tempo médio de viagem; tempo médio de espera; distâncias totais percorridas; distâncias médias percorridas; acessibilidade por setor econômico; viagens com destino à região central de Belo Horizonte; viagens de atravessamento da região central; viagens internas às regiões periféricas; índice de congestionamento; índice de congestionamento de vias centrais de Belo Horizonte e preço do setor do solo.

O autor concluiu que as ferramentas LUTI podem ser úteis no planejamento territorial, de maneira a integrar diferentes políticas para o planejamento urbano.

2.2.2.3 *Brasília (Vanderlei, 2016)*

Gonçalves utilizou o TRANUS para analisar a representatividade de modelos LUTI em sua pesquisa de previsão de demanda na cidade de Brasília. Além disso, foi verificado o nível de acerto do modelo comparando os resultados com informações do PDTU/DF e pelos valores de contagem volumétrica de veículos no ano de 2015.

Ainda, pesquisa tem por objetivo simular um cenário referencial e então encontrar relações entre variáveis e padrões comportamentais. A partir disso, analisar as tendências de mudanças em um cenário conservador, onde ocorre apenas a manutenção das infraestruturas e um cenário otimista, com a implantação das novas estruturas propostas no PDTU/DF (2010).

Para simular a rede do Distrito Federal o autor utilizou informações da rede já existente disponível no PDTU/DF (2010). Como a rede é complexa e extensa, foram realizadas simplificações no sistema viário e nos serviços de transportes públicos. Além disso, foram inseridos os diversos dados que caracterizam o sistema de transportes, como modais pesquisados e tarifas de embarque.

Por se tratar de um modelo integrado de uso do solo e transportes foi necessário coletar informações sobre uso do solo nos setores da pesquisa. Dados sobre quantidade de empregos por m² e informações sobre classe de renda foram pesquisados e inseridos no modelo.

A simulação no programa foi realizada para a data base de 2009, e era prevista a simulação para três cenários espaçados em dez anos cada. As taxas de crescimento da população e dos empregos foram adotadas, seguindo recomendações do PDTU/DF. O cenário referencial considera apenas o metrô e as linhas de ônibus existentes. Os cenários seguintes contariam com melhorias no sistema de transporte público, com adição de novas linhas de BRT.

A análise do cenário foi realizada por três métodos diferentes: por indicadores, pela comparação de dados do PDTU e pela contagem volumétrica de tráfego. Apenas um dos métodos de análise indicou uma calibração satisfatória. Os indicadores resultaram em valores muito acima do esperado para distância e tempo de viagem. A comparação com a contagem de tráfego do ano indicou uma divergência elevada entre os valores. A comparação com a simulação realizada no PDTU resultou em um carregamento similar das vias, porém com valores volumétricos muito discrepantes.

Pela dificuldade no ajuste de dados para a correta inserção no programa, a calibração do Cenário Base demandou mais tempo do que o autor esperava. Além disso, como mencionado anteriormente, o sistema de transportes do DF é extenso e complexo e dessa forma, o autor julgou que seria de grande auxílio contar com uma equipe de pesquisa.

2.2.3 Características técnicas do modelo

O autor utiliza o modelo de previsão de demandas de quatro etapas. Esse modelo é dividido em: Geração de Viagens; Distribuição de Viagens; Divisão/Repartição Modal e Alocação de Viagens. Como o nome sugere, ele é um processo sequencial como mostra a Figura 6.

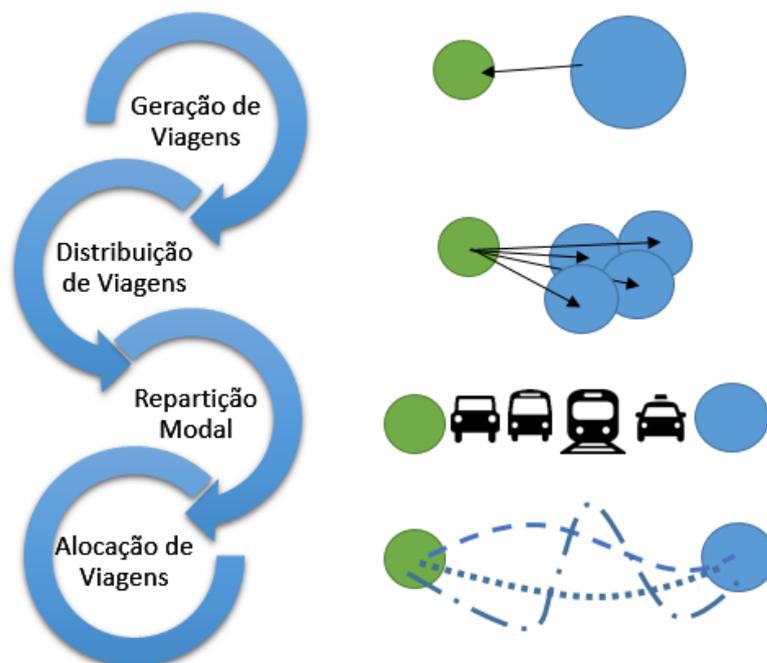


Figura 6 - Esquema do modelo de 4 etapas.
Fonte: Adaptado de PUPIER, 2013

Na etapa de Geração de Viagens, é avaliado o número de viagens produzidas ou atraídas por uma zona de tráfego. Ela tem como objetivo determinar uma relação entre produção ou atração e uso do solo e usar essa relação para prever novas demandas com mudanças no uso do solo. Na Distribuição de Viagens, os futuros deslocamentos entre zonas são distribuídos para todos os destinos, de maneira a gerar uma matriz Origem/Destino. Existem vários métodos para realizar a distribuição, como modelos de gravidade ou de fatores de crescimento.

Em seguida é realizada a Repartição Modal, em que ocorre a repartição de viagens em diferentes modais. Essa repartição geralmente é um processo complexo que envolve diversos fatores como a renda das pessoas, se elas possuem carros e a acessibilidade do transporte público. Finalmente, realiza-se a alocação das viagens de cada modal nas redes, obtendo-se o volume de tráfego em cada trecho da malha viária. Os métodos básicos são os de caminho de menor tempo, menor tempo com restrição de capacidade e menor custo.

A estrutura geral do modelo se divide em duas partes: a de atividades e a de transportes. Cada uma desses sistemas apresenta elementos de demanda e de oferta. Uma noção comum na economia é a de que as forças de demanda e oferta atuam para gerar um estado de equilíbrio, chamado de equilíbrio econômico (MANKIWI, 2005).

A localização e interação entre atividades representam a demanda do subsistema de atividades, como indústrias ou residências. Estas necessitam do solo e das edificações para o funcionamento, espaço esse fornecido pelas incorporadoras imobiliárias. Esses dois componentes, assim, atuam como oferta e demanda; caso a demanda por algum espaço pelas atividades cresça, os incorporadores aumentam o preço para reduzi-la (MODELÍSTICA, 2011a).

O modelo de localização de atividades do TRANUS se inicia com a estimativa do crescimento da produção exógena (produção gerada para suprir uma demanda externa) de cada zona. Em seguida, ele calcula a produção induzida (produção gerada para suprir a demanda interna). Posteriormente, são estimadas as necessidades de consumo das atividades internas de cada zona, ou seja, a demanda induzida. Com essas informações e os custos de produção, o programa escolhe o local da produção induzida em cada zona. Por fim, o TRANUS calcula os custos e as restrições e reinicia o processo iterativo (DE LA BARRA, 2012).

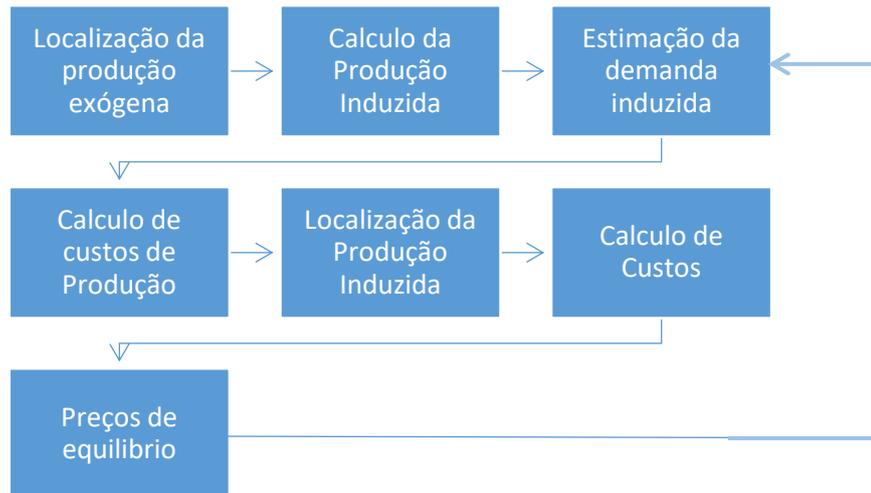


Figura 7- Esquema do modelo de Localização de atividades.

Fonte: Adaptado de MODELISTICA, 2011

As interações entre as atividades criam uma necessidade de transporte, que representa a demanda do sistema. Segundo Wu, 2015, a oferta desse sistema, ao contrário da oferta de uso do solo, se divide em dois tipos: física e operacional. A oferta física se refere à infraestrutura viária, como ruas, rodovias, hidrovias, entre outros. A oferta operacional são os operadores de transporte, como os ônibus, caminhões, carros particulares ou mesmo os pedestres.

Para representar essa rede, o TRANUS utiliza um modelo chamado de *grafo dual*. Diferentemente dos outros modelos, o *grafo dual* considera os nós como links para então considerar giros proibidos e otimizar o processo. Além disso, é possível gerar uma rede multimodal em que vários operadores podem utilizar o mesmo link.

Dessa forma, o equilíbrio de mercado de transportes se dá por duas variáveis: preço e tempo. Da mesma maneira que o uso do solo, se há procura pelo sistema de transportes aumenta-se o preço do serviço. Caso a demanda seja maior que a capacidade viária ofertada, ocorre uma redução da velocidade de viagem como forma de alcançar o equilíbrio de mercado (DE LA BARRA, 2012). Para facilitar a análise da ação de fatores subjetivos, como o tempo de atraso aceitável; e objetivos, como o preço da viagem, é empregado o conceito de desutilidade de transporte. Desutilidade de transporte é a soma do custo monetário com o custo subjetivo das viagens (WERNECK, 2015).

Assim, a parte final das etapas de cálculo do TRANUS é a busca de passos. Essa etapa considera os custos da desutilidade para escolher os passos da viagem, ou seja, o modo de viagem e a rota que se percorre. Em redes muito densas, o programa limita a busca pelos

passos que possuem menor desutilidade e que constitui uma opção realmente diferente e não uma pequena variação. Para a escolha dos passos o programa utiliza um cálculo de probabilidade que correlaciona o custo de todas as opções de viagem.

As atividades e os transportes relacionam-se de modo a entrarem em equilíbrio entre si. Eles se influenciam tanto no curto prazo, de modo a sobrecarregar o sistema de transporte com a construção habitacional, quanto no longo prazo, por exemplo, pela construção de uma nova via que pode vir a alterar os preços do solo na região (KNEIB, 2008). A Figura 8 mostra um esquema que explica essa relação.

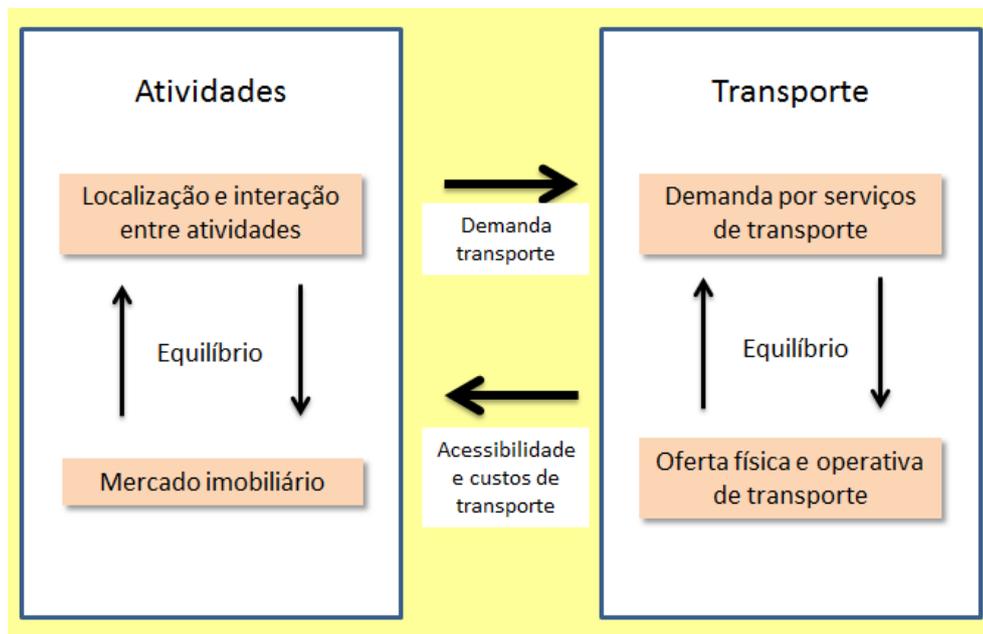


Figura 8- Relação entre atividades e Transporte.

Fonte: Adaptado de MODELISTICA, 2011

Assim, a estrutura de cálculo do TRANUS pode ser resumida pelo esquema ilustrado na Figura 9 adaptado de De La Barra, 2014. Nele é possível perceber que a estrutura de cálculo do programa é iterativa. Em outras palavras, o programa calcula os outros valores de interesse a partir de uma estimativa inicial. Ao final dos cálculos, o valor final é comparado com o valor inicial. Esse processo se repete até a convergência ser atingida.

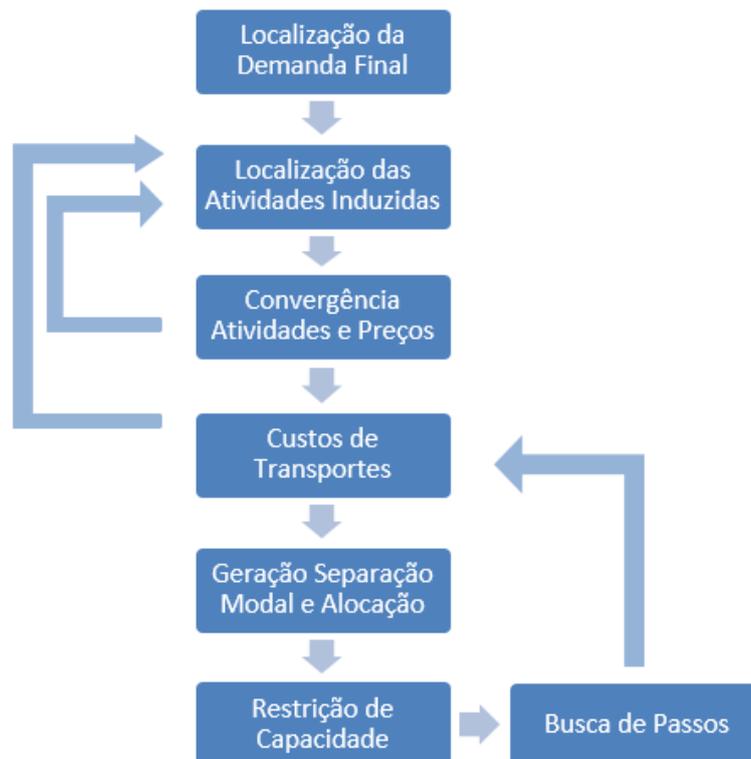


Figura 9 - Estrutura de cálculo do TRANUS.

Fonte: Adaptado de MODELÍSTICA, 2011

O TRANUS gera, como produto, matrizes Origem-Destino. Com dados de contagens de tráfego e de matrizes Origem-Destino, originário de informações censitárias, é possível verificar a validade do produto do programa. Com a devida calibração do Cenário Base, é possível simular diversas situações futuras.

Com o processamento sucedido de uma sequência de modelos, são gerados arquivos binários que contêm os resultados regrados. Os programas de geração de relatórios, descritos na Tabela 5, são utilizados para produzir tabelas e outras representações numéricas destes resultados (MODELÍSTICA, 2012b).

Tabela 5 - Programas de geração de resultados do TRANUS

Programas de Relatórios	Descrição
EVAL	Apresenta um conjunto de matrizes com o excedente de consumo relacionado ao transporte na Origem/Destino formado pela categoria de usuário, resultando na comparação entre dois conjuntos de cenários.
IMPLOC	Apresenta os resultados dos modelos de uso de solo em tabelas por zona e setor.
IMPTRA	Apresenta os resultados do modelo de transporte de diversas maneiras. Pode

Programas de Relatórios	Descrição
MATS	<p>mostrar listas de links com o número de veículos, usuários, níveis de serviço, velocidade e outros; listas de rotas de trânsito com todos os resultados correspondentes; tabelas com indicadores do sistema e outros.</p> <p>Apresenta matrizes com ambos os resultados de uso de solo e transporte na forma de Origem/Destino. Pode também produzir matrizes de fluxo econômico por uso de solo e matrizes de viagens por categoria e modo, custo de transporte, distância de viagens e tempos e outros.</p>
MATESP	<p>Produz relatórios especiais de modelos de transporte que requerem processamento adicional. Alguns exemplos são matrizes de viagens que usam um ou mais link, ou viagens que usam um operador de transporte específico.</p>

Fonte: Adaptado de MODELÍSTICA, 2011.

Para avaliar os resultados disponibilizados, os *softwares* de relatórios do TRANUS dispõem de diversos parâmetros para controlar e avaliar intervenções nos modelos criados, nos quesitos de uso de solo, transporte e a correlação entre os dois. Como discutido anteriormente, cada *software* de relatório tem sua funcionalidade específica, destinada a um tipo de análise.

Entre os principais indicadores a serem utilizados nessa pesquisa estão:

- a) Dados de uso do solo (Programa IMPLOC): estes indicadores podem ser representados em diversos tipos de arranjos diferentes. O utilizado nesta pesquisa é a opção “toda informação por setor e zona”, que mostra indicadores de um determinado cenário, para cada zona. Entre eles estão:
 - i. Produção total por zona;
 - ii. Demanda total por zona;
 - iii. Custo de produção por zona;
 - iv. Preço por zona;
 - v. Limitação máxima de produção por zona.

Esses indicadores serão utilizados para verificar a valorização do solo na área de estudo, bem como sua autonomia no que diz respeito à geração de empregos, serviços e atividades.

- b) Dados do modelo de transporte (Programa IMPTRA): Nesta etapa é possível obter diversos tipos de indicadores. Entre os utilizados nesta pesquisa estão:
 - i. Capacidade da via;
 - ii. Taxa de demanda de transporte/capacidade da via (link);

- iii. Total de veículos (soma de todos os veículos na via);
- iv. Nível de serviço das vias (links), de “A” a “H” de acordo com a relação de velocidade inicial de fluxo livre e a velocidade final de congestão, especificado no *Highway Capacity Model* da Administração Federal de Rodovias (*Federal Highway Administration*) dos Estados Unidos. Esse nível de serviço se aplica a todos os veículos compartilhando a pista;
- v. Demanda reprimida: representa o número de viagens não realizadas devido ao congestionamento;
- vi. Desutilidade: verifica os níveis de acessibilidade de cada cenário;
- vii. Distâncias percorridas;
- viii. Tempo de viagem.

Esses indicadores serão usados para determinar os efeitos das mudanças de políticas e cenários no sistema de transporte da área de estudo.

3 MÉTODO

Este capítulo tem por objetivo descrever e explicar os métodos utilizados para a realização do projeto. A Figura 10 esquematiza as etapas a serem desenvolvidas no estudo.



Figura 10- Esquema das etapas a serem desenvolvidas.

Fonte: Elaboração própria.

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta etapa será definida a área de estudo. Para um projeto mais aprofundado, será necessário determinar não somente o funcionamento da região sul/sudeste ao longo da DF-140 do Distrito Federal, como também levar em consideração a influência das Regiões Administrativas mais próximas, como São Sebastião, Jardim ABC, Jardim Botânico, Lago Sul e Plano Piloto.

3.1.1 Distrito Federal

O desenvolvimento urbano do Distrito Federal começou na década de 1950 com o governo de Juscelino Kubitschek. Segundo IPEA, 2002, o processo de produção do espaço urbano foi dividido em três períodos principais. O primeiro período, da metade da década de

1950 e a década de 1970, foi marcado pela implantação do Plano Piloto e criação das Regiões Administrativas. O segundo período compreende de meados da década de 1970 até a década de o fim da década de 1980 e foi marcado pela organização territorial e crescimento no sentido sudoeste. O terceiro período vai do fim da década de 1980 ao fim da década de 1990, quando os eixos de crescimento antigos se solidificaram e houve o surgimento de ocupações ilegais.

O PDOT de 1997 criou um vetor de expansão urbana no eixo sul e sudoeste, mostrado na Figura 11, que permitiu o crescimento das regiões de Águas Claras, Vicente Pires e Ceilândia, a região administrativa com maior população do DF.

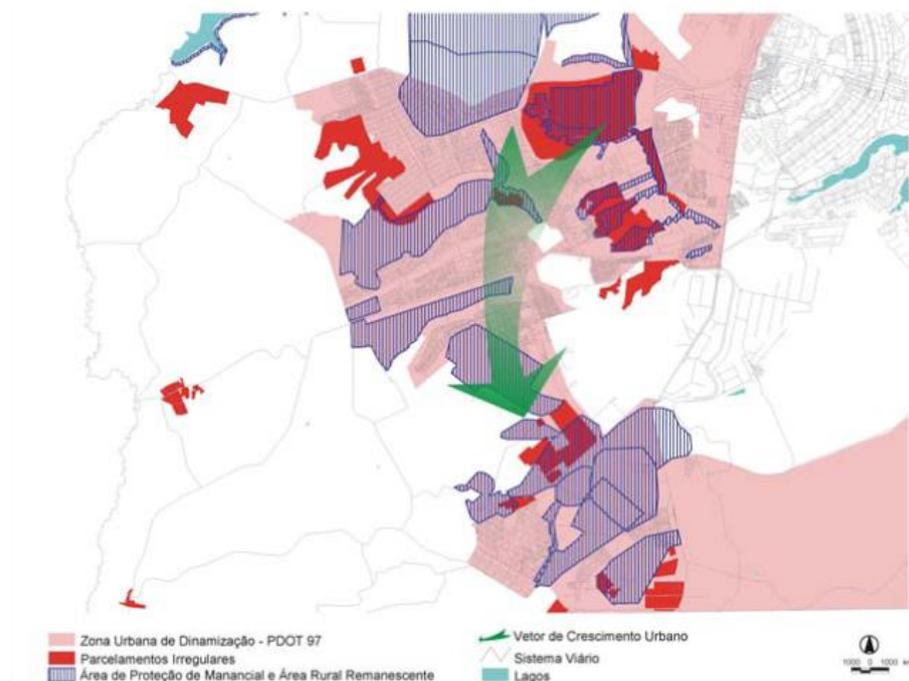


Figura 11 - Eixo de Expansão do PDOT/97.

Fonte: PDOT/97.

A revisão do PDOT, em 2009, avaliou que a expansão prevista na versão anterior não explorou o crescimento urbano de forma suficiente, dificultando muito a criação de infraestruturas de saneamento ambiental e um adequado sistema de transportes para as regiões. Dessa forma, o PDOT/09 prevê a criação de novos eixos de expansão nas regiões norte e leste da cidade, como mostra a Figura 12.

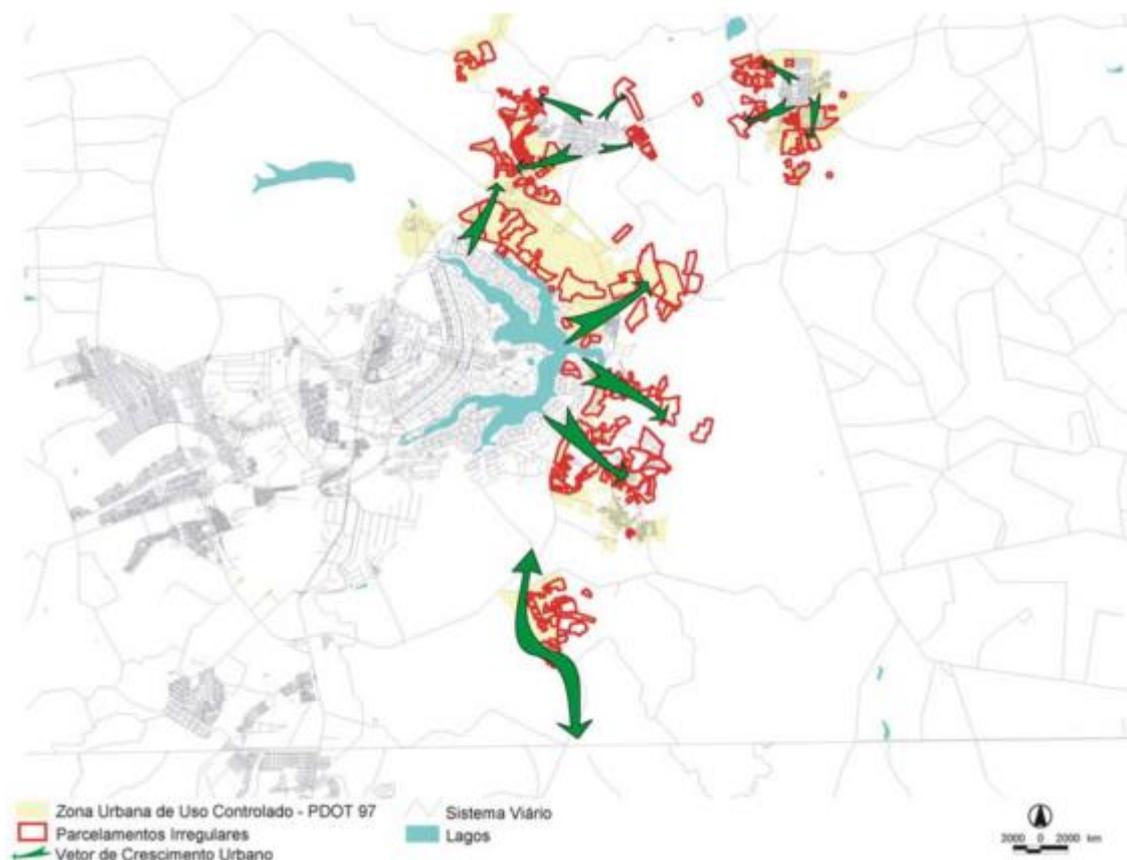


Figura 12 - Novos eixos de expansão previstos pelo PDOT/09.
Fonte: PDOT/ 97.

Segundo a CODEPLAN (2014, o Distrito Federal tem cerca de três milhões de habitantes, com uma taxa de crescimento de 2,13% em dois anos. Quanto à ocupação, estima-se que cerca de um milhão de habitantes auferem renda própria e quase metade desse contingente está empregado nas áreas de comércio e administração pública.

Em relação ao transporte de pessoas, o PDTU, 2010, indica uma centralização das viagens na zona central do DF. Além disso, ele indica que a maior parte das viagens é motivada pelo trabalho em outras regiões. Isso significa que existe uma concentração de empregos no centro da cidade. Essa concentração de empregos influenciará bastante a simulação trabalhada, uma vez que a maioria dos deslocamentos terão como destino essa zona.

Outro ponto interessante a se considerar nas linhas de desejo é a quantidade de viagens realizadas pela região chamada de Entorno. Esse número elevado indica que, na construção de um modelo para simulação do DF, é importante levar em conta não apenas os limites

geográficos da unidade da federação, mas toda a área da RIDE. No caso desse projeto, em relação ao entorno, levar-se-a em conta principalmente o efeito da região Jardim ABC.

3.1.2 Região Sul/Sudeste do Distrito Federal

Denomina-se região Sul/Sudeste a área em volta da DF-140, correspondendo às Regiões Administrativas de Santa Maria e São Sebastião, de acordo com as Diretrizes Urbanísticas da Região Sul/Sudeste (DIUR, 2013), mostrada na Figura 13.

As Diretrizes Urbanísticas são ferramentas de planejamento urbano e territorial, criadas de acordo com as estratégias definidas no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Nesta pesquisa é um documento bastante utilizado para definir previsões futuras de crescimento da região.

Segundo as DIUR, a região tem uma área aproximada de 17.054 hectares e o seu acesso ocorre pela DF-140, DF-001 e DF-251. A área compreende predominantemente propriedades privadas, com vários processos solicitando parcelamento do solo.

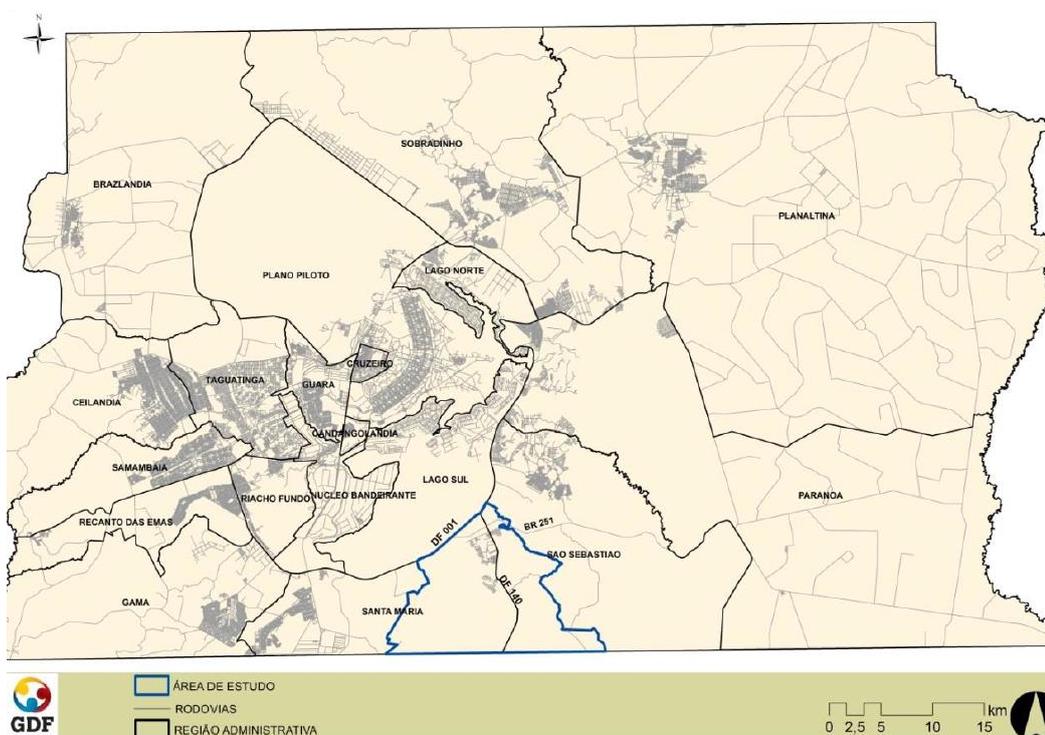


Figura 13 - Área de Estudo.

Fonte: DIUR, 2013.

De acordo com o PDOT, parte está inserida em Zona Urbana de Uso Controlado II e parte em Zona de Expansão e Qualificação, área de interesse deste estudo. Por ser Zona de Expansão e Qualificação é destinada à ocupação futura; nesse caso específico, devido a estar situada ao longo de um corredor de transporte e eixo de conexão entre núcleos (DF-140).

Além disso, como é possível observar pela Figura 14, essa região apresenta um forte vetor de crescimento alinhado de uma média intensidade de ocupação urbana, com grande parte de seus lotes desocupados, tornando-se ideal para uma possível previsão de desenvolvimento e verificação de situações futuras tanto em uso de solo, quanto em transporte. Esse fator foi um dos principais motivos para a escolha da área de estudo, já que é uma região insaturada e com grande potencial de expansão.

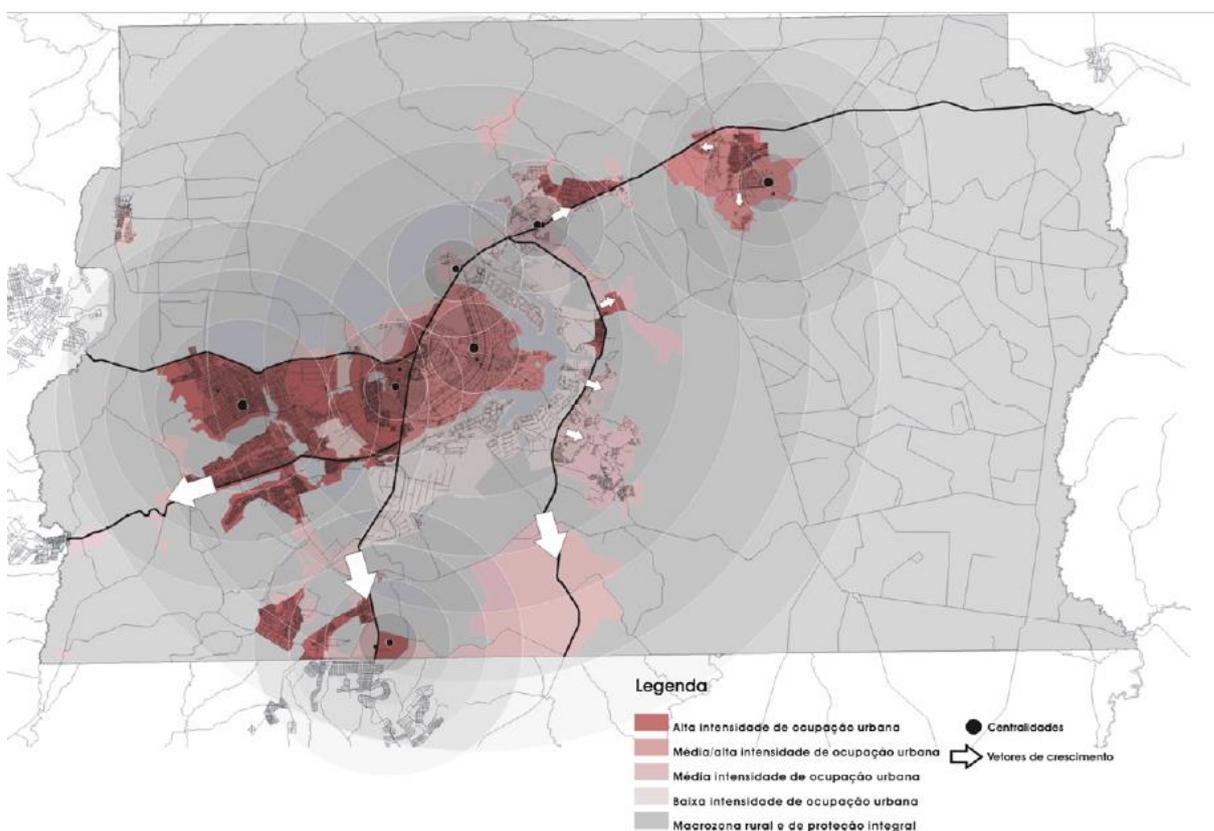


Figura 14 - Modelo Territorial - Distrito Federal.
Fonte: PDOT, 2012

Além da área das DIUR, foi necessário considerar no TRANUS outras localidades, tais como Plano Piloto, Lago Sul, Jardim ABC e São Sebastião. Isso ocorre devido à necessidade de verificar a influência destas regiões em suas proximidades e locais de prováveis deslocamentos.

As diretrizes urbanísticas fazem uma série de propostas quanto ao uso do solo. Podemos citar a proposta de criação de uma centralidade na atual região do Tororó e de outras nove subcentralidades na área. Além disso, existe a foi proposto a ocupação em uso misto (residencial e comercial) ao longo de vias, chamadas de Vias de Atividades.

As Diretrizes ainda sugerem a criação de mais três tipos de zonas, “A”, “B” e “C”. Na Zona “A” é recomendado a implantação de equipamentos regionais de grande porte não poluentes, como hospitais, universidades e centros culturais. Na Zona “B” é sugerido a implantação de atividades econômicas para aumentar a autonomia em relação ao Plano Piloto. Já a Zona “C” se caracteriza pelo baixo impacto ambiental, com baixa densidade demográfica e parques.

Quanto ao sistema de transportes da região, a DIUR reconhece a via DF-140 como principal eixo estruturante, sendo responsável pelo escoamento das viagens para outras áreas. Além dela, são sugeridas vias de circulação de maior capacidade, para auxiliar esse escoamento e vias de atividades, com menor velocidade, para promover o desenvolvimento econômico da expansão.

Para uma maior integração dessa expansão são sugeridas três novas linhas de ônibus circulares, como pode ser visto na Figura 15.

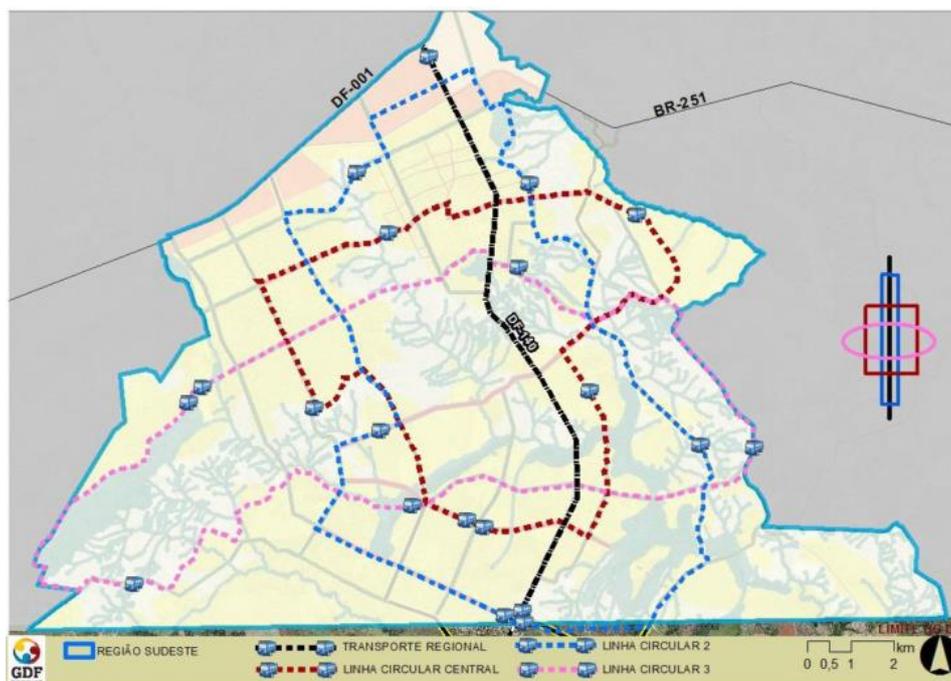


Figura 15 - Linhas de ônibus sugeridas
Fonte: DIUR, 2013.

O objetivo dessas linhas é não só a integração de toda a região, mas também a alimentação da linha que tem como destino o Plano Piloto. A linha em azul tem um alcance longitudinal da região, a linha em vermelho atende as áreas centrais e a linha em rosa um alcance transversal.

A Tabela 6 apresenta um resumo das principais propostas da DIUR para a região de expansão Sul/Sudeste.

Tabela 6 – Resumo das sugestões das Diretrizes Urbanísticas da Região de Expansão Sul/Sudeste

Proposta	
População	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade Populacional média: 50 hab./ha • Capacidade Populacional: 956.677 hab.
Zoneamento	<ul style="list-style-type: none"> • Centralidade: <ul style="list-style-type: none"> ○ Principal área de comércio e serviços; ○ Uso misto ○ Nº máximo de pavimentos : 15 • Via de Atividades: <ul style="list-style-type: none"> ○ Objetiva a distribuição de atividades na região; ○ Uso misto para promover a vitalidade da área. ○ Nº máximo de pavimentos : 8 • Zona A: <ul style="list-style-type: none"> ○ Prioridade residencial ○ Implantação de equipamentos de Grande Porte (Universidades, hospitais, centros culturais, etc); ○ Atividades não poluentes. ○ Nº máximo de pavimentos : 6 • Zona B: <ul style="list-style-type: none"> ○ Prioridade comercial; ○ Implantação atividades econômicas de médio e grande porte; ○ Nº máximo de pavimentos : 8 • Zona C: <ul style="list-style-type: none"> ○ Baixa densidade Demográfica; ○ Criação de parques nas áreas de maior sensibilidade ambiental. ○ Nº máximo de pavimentos : 4
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidação da DF-140 como eixo estruturante da região • Implementação de vias de circulação e de atividades • Criação de três novas linhas de ônibus • Rede de ciclovias e ciclofaixas

Fonte: Elaboração própria.

3.2 *OBTENÇÃO DE DADOS*

Neste tópico serão discutidos quais os dados utilizados no projeto e as metodologias aplicadas para obtê-los.

3.2.1 *Rede Viária*

Para realizar a modelagem é necessário se valer dos dados georreferenciados da rede viária do DF, que incluem informações a respeito das vias existentes e dos modos de transportes. Esses dados foram obtidos a partir de imagens do satélite *LandSat*, no *software GoogleEarth*.

No que tange às informações das vias, utilizou-se dados de sua localização, tais como comprimento, número de faixas, capacidade da via, sentido de tráfego e quais tipos de modos de transportes podem circular. Essas informações foram obtidas pelo *Google Maps* e Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER-DF).

Para a determinação da capacidade viária são necessárias inúmeras informações, como a quantidade de veículos circulando, largura das faixas, topografia, entre outros. Caso não seja possível o cálculo da capacidade real da via deve-se adotar uma simplificação, como a descrita por Roess e Prassas (2011), indicados na Tabela 7. Como os valores não atendem todas as velocidades existentes, utiliza-se da extrapolação indicada pelo Gráfico 1.

Tabela 7 – Capacidade Básica para condições ideais

Tipo de via	Capacidade
Vias com múltiplas faixas (capacidade por sentido)	
96 km/h	2200 ucp/h/faixa
88 km/h	2100 ucp/h/faixa
80 km/h	2000 ucp/h/faixa
72 km/h	1900 ucp/h/faixa
Vias duplicadas	2800 ucp/h/faixa

Fonte: Adaptado de Roess e Prassas, 2011

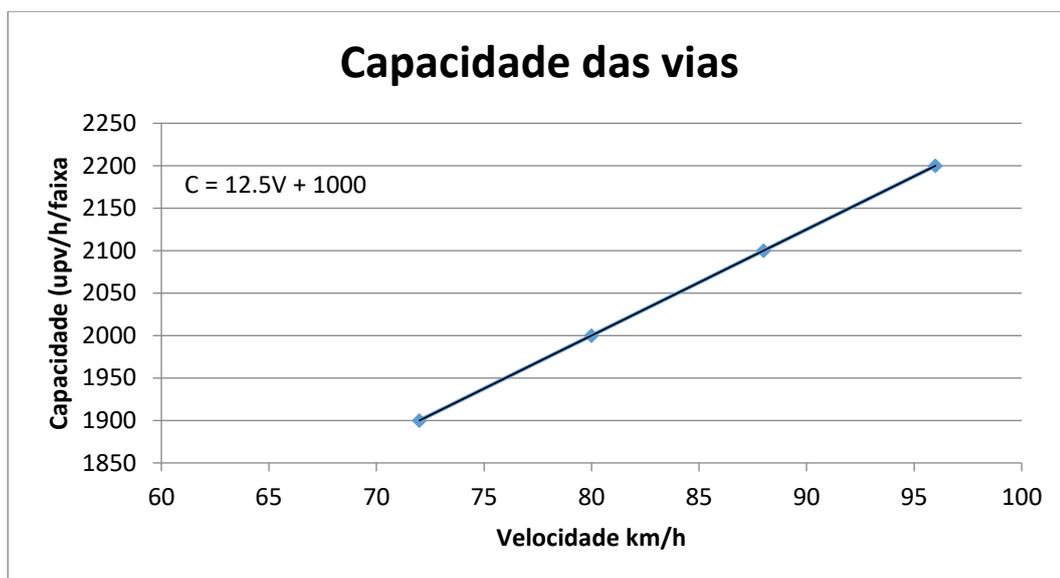


Gráfico 1 - Capacidade viária por velocidade.
Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Determinação das Características dos Operadores

Em relação aos operadores, foi necessário definir quais os meios de transporte atuantes, tanto no transporte público quanto no privado. Para o transporte público, definiu-se a capacidade total de passageiros, as rotas utilizadas, a frequência de circulação no período analisado e o custo de passagens.

Como não foi possível obter informações oficiais a respeito da frota de ônibus na região assumiu-se uma capacidade média de 80 passageiros por veículo. As rotas de ônibus da região, seus preços, Origem/Destino e frequência no período da manhã foram levantadas junto ao portal eletrônico do DFTRANS e podem ser conferidas na Tabela 8.

Tabela 8 – Linhas de ônibus levantadas

Linha	Origem	Destino	Preço	Freq. Hp
0.192	SH Tororó	São Sebastião	R\$ 5,00	2
192.1	SH Tororó	São Sebastião	R\$ 5,00	1
192.3	SH Tororó	Jardim Botânico	R\$ 5,00	14

Linha	Origem	Destino	Preço	Freq. Hp
170.4	SH Tororó	São Sebastião	R\$ 2,50	9
0.170	SH Tororó	Plano Piloto	R\$ 5,00	9
170.1	SH Tororó	Plano Piloto	R\$ 5,00	1
0.194	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	6
0.197	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	2
147.2	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	19
147.5	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	30
147.9	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	2
180.1	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	35
196.2	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	2
197.3	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	27
0.147	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	6
0.186	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	3
147.3	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	10
147.7	São Sebastião	Plano Piloto	R\$ 5,00	7
181.5	São Sebastião	Jardim Botânico	R\$ 3,50	4
8000	Jardim ABC	Plano Piloto	R\$ 5,00	18

Fonte: DFTRANS, 2018.

Para os veículos particulares é necessário determinar a ocupação média e seu custo de operação. Para isso, foi obtida a frota veicular do DF pelo IBGE para o ano de 2015, dividiu-

se esse valor pela população e multiplicou-se pela porcentagem da população que utiliza automóveis privados, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Ocupação média veicular

Frota (IBGE, 2015)	1.184.570
População (IBGE, 2015)	2.914.830
% veículos particulares (PDTU,2009)	51%
População que utiliza veículos particulares	1.477.819
Taxa de ocupação	1,2

Fonte: IBGE, 2018 e PDTU, 2009.

Também foram determinados o consumo médio de combustível de veículos particulares e ônibus e o preço de combustível para o ano de 2015. O consumo mínimo e máximo de combustível do carro foi estimado por meio das médias de consumo em rodovias e em trechos urbanos publicados pela ANP, em Maio de 2018. O consumo para o ônibus foi adotado como sendo o valor encontrado por Oliveira *et al.*, 2004. Os preços de combustível foram adquiridos na publicação da ANP (2018). Esses valores podem ser conferidos na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo médio e preço de combustível

	Ônibus	Carro
Mínimo (l/km)	0,320	0,086
Máximo (l/km)	0,490	0,106
Preço (R\$/l)	2,57	3,12

Fontes: ANP (2018)

3.2.3 *Obtenção de Dados Socioeconômicos e Uso do Solo.*

Para realizar simulações, o TRANUS necessita ser informado de dados socioeconômicos da população na área de estudo, tais como o número de habitantes por zona de tráfego, faixa de renda média na zona ou o tipo de profissão dos habitantes.

Foi decidido simular apenas as viagens geradas por motivos de trabalho, devido à disponibilidade de dados. Além disso, segundo o PDTU, 2012, a maior parte das viagens é motivada por trabalho. A quantidade de pessoas empregadas em cada Região Administrativa trabalhando dentro da área de estudo foi obtida nas pesquisas PDAD de 2015 e no PMAD de 2013. Como a região de expansão do Tororó não possuía dados socioeconômicos específicos foram utilizadas proporções adotadas para o Jardim Botânico, aplicado a sua população, obtida na DIUR de 2013. Essa informação pode ser conferida na Tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade de Trabalhadores em cada RA

Distrito Federal e Regiões Administrativas	Total	Total considerado
Plano Piloto	97.111	87.755
São Sebastião	44.971	34.779
Lago Sul	12.784	11.195
Tororó	2.529	2.209
Jardim Botânico	12.323	10.761
Jardim ABC	4.606	4.070
TOTAL	174.324	150.769

Fonte: Elaboração própria.

Quanto às faixas de renda tanto o PDAD quanto o PMAD adotam uma divisão diferente da indicada pelo IBGE. Dessa forma, estas foram agrupadas como indica a Tabela 12. Os dados relativos às quantidades de habitantes em cada faixa de renda, encontrados nos relatórios disponibilizados pela CODEPLAN, constam na Tabela 13. O salário médio de cada faixa de renda para o ano de 2015 se encontra na Tabela 14.

Tabela 12 – Compatibilização das faixas de Renda

IBGE	CODEPLAN	Adotado
E	Até 1 SM	Classe Baixa
E	Mais de 1 a 2 SM	
D	Mais de 2 a 5 SM	
C		Classe Média
C	Mais de 5 a 10 SM	
B	Mais de 10 a 20 SM	Classe Alta
A	Mais de 20 SM	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Quantidade de pessoas por faixa de renda

Distrito Federal e Regiões Administrativas	Valores Absolutos			Valores Relativos		
	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta
Plano Piloto	7.610	7.463	22.051	20,50%	20,10%	59,40%
São Sebastião	17.201	2.917	1.573	79,30%	13,45%	7,25%
Lago Sul	225	225	2.419	7,84%	7,84%	84,32%
Jardim Botânico	997	676	2.108	26,37%	17,88%	55,75%

Distrito Federal e Regiões Administrativas	Valores Absolutos			Valores Relativos		
	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta
Distrito Federal	401.165	127.185	128.635	61,06%	19,36%	19,58%
Jardim ABC	2.725	173	-	94,03%	5,97%	0%

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Faixa de renda de cada Classe em R\$

Classes	Faixa de renda	Renda média
Alta	R\$ 9.540,00 - R\$ 19.213,56	R\$ 14.376,78
Média	R\$ 4.770,00 - R\$ 9.540,00	R\$ 7.155,00
Baixa	R\$ 954,00 - R\$ 4.770,00	R\$ 2.862,00

Fonte: Elaboração própria.

Além de dados referentes a população, é necessário encontrar dados sobre o uso do solo. A utilização diz respeito à classificação do solo a partir das atividades existentes naquele local. Uma área residencial será composta prioritariamente de condomínios, casas e apartamentos destinados à moradia, enquanto uma área comercial estará constituída de locais que disponibilizam produtos e/ou serviços para comercialização.

No modelo escolhido, o uso de solo é caracterizado pela quantidade de emprego por zona, bem como o consumo de solo por emprego e por classe econômica.

Para encontrar a quantidade de empregos foram utilizados dados do PDAD mais recente de 2015, bem como dados do PMAD de 2013, para o município da Cidade Ocidental. Como este trabalho estuda apenas um recorte do Distrito Federal, foram considerados os postos de trabalho tomados por moradores da área de estudo. Os valores encontrados estão na Tabela 15.

Tabela 15 – População por local do posto de trabalho

Moradia -	Local de Trabalho					
	Plano Piloto	São Sebastião	Lago Sul	Tororó	Jardim Botânico	Jardim ABC
Plano Piloto	86.764	211	780	0	0	0
São Sebastião	15.337	13.768	4.805	148	721	0
Lago Sul	8.998	56	2.118	4	19	0
Tororó	1.509	155	119	72	353	0
Jardim Botânico	7.352	756	579	353	1.721	0
Jardim ABC	1.209	545	917	23	113	1.263

Fonte: CODEPLAN, 2014 e CODEPLAN, 2013.

É recomendável que os dados de emprego sejam discretizados por tipo. Por não ser possível a obtenção de dados discretizados, realizou-se a divisão entre empregos de serviços e empregos governamentais. Os valores relativos aos tipos empregos podem ser verificados na Tabela 16.

Tabela 16 – Tipo de emprego por Região Administrativa

RA	Empregados		%	
	Serviços	Governamental	Serviços	Governamental
Tororó	1.409	997	59%	41%
Jardim Botânico	6.869	4.859	59%	41%
Lago sul	7.104	4.948	59%	41%
São Sebastião	35.106	4.700	88%	12%
Jardim ABC	3.172	20	99%	1%
Plano Piloto	45.243	48.869	48%	52%

Fonte: CODEPLAN, 2014 e CODEPLAN, 2013.

Assim, para determinar a quantidade de postos de trabalho por Região Administrativa multiplicou-se as porcentagens de cada tipo de setor pelas quantidades de empregos em cada região. Os valores utilizados podem ser verificados na Tabela 17.

Tabela 17 – Quantidade de emprego de cada tipo por Região Administrativa

RA	Serviços	Governamental
	Tororó	405
Jardim Botânico	1.974	953
Lago sul	7.181	2137
São Sebastião	13.352	2139
Jardim ABC	1255	8
Plano Piloto	66932	54.237

Fonte: Elaboração própria.

O modelo também exige a área existente, discriminada por atividades e a área prevista de expansão. Para determinar a quantidade de solo utilizada para cada atividade foi encontrada primeiro a área de cada zona com auxílio da ferramenta *QGIS*. Entretanto, para a correta análise do solo é necessário que seja feita uma classificação entre área construída e área a construir, dentro de cada zona, como mostra a Tabela 18. Assim, para encontrar a densidade populacional mínima e máxima dividiu-se o valor de área construída pela quantidade de habitantes e vagas de emprego de cada zona. Os valores relativos a essa etapa podem ser verificados na Tabela 19.

Tabela 18 - Áreas consideradas

Id	Zona	Área total (ha)	Área construída (ha)	Área a construir (ha)
1	Jardim ABC	2591,20	284,12	1.046,22
2	São Sebastião 3	2075,02	409,48	604,92
3	São Sebastião 2	2485,22	629,02	704,98
4	São Sebastião 1	2259,48	324,09	497,52
5	Jardim Botânico 1	901,86	456,23	16,52
6	Jardim Botânico 2	1209,07	88,50	389,19
7	Jardim Botânico 3	1673,90	747,59	467,49
8	Lago sul 1	1772,86	1.323,41	103,64
9	Lago Sul 2	1515,26	789,32	194,90
10	Plano piloto	6893,66	6.384,26	111,53
11	DF 140 4	4034,19	82,99	1.898,20
12	DF140 1	4159,92	252,67	1.231,87
13	DF 140 2	2510,49	231,03	890,29
14	DF 140 3	4604,88	82,01	1.626,45

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 19 – Densidade de cada Zona por atividade (m²/pessoa)

Id	Zona	Serviços	Governamental	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta
1	Jardim ABC	584.22	11457.33	438.74	952.41	0,00
2	São Sebastião 3	263.38	205.76	291.97	236.42	203.38
3	São Sebastião 2	263.38	205.60	291.99	236.35	203.18
4	São Sebastião 1	263.41	205.81	292.01	236.43	203.43
5	Jardim Botânico 1	944.54	942.11	944.91	941.68	945.73
6	Jardim Botânico 2	944.63	944.70	945.77	946.82	947.71
7	Jardim Botânico 3	943.30	941.40	944.49	941.38	945.91
8	Lago sul 1	1000.90	1542.71	1446.35	1446.35	962.56
9	Lago Sul 2	1001.17	1542.74	1443.87	1443.87	962.58
10	Plano piloto	324.49	183.59	212.95	217.14	526.67
11	DF 140 4	2344.73	2303.21	2325.00	2326.14	2320.75
12	DF140 1	2318.99	2306.73	2317.83	2314.46	2315.94
13	DF 140 2	2311.86	2323.20	2313.90	2312.80	2315.87
14	DF 140 3	2317.16	2370.97	2329.14	2345.70	2323.05

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, é necessário encontrar informações sobre crescimento populacional e de empregos. A partir destes dados o modelo será capaz de prever mudanças na demanda do uso do solo e no sistema de transportes.

As informações relativas à essas taxas foram coletadas junto ao IBGE, para os próximos 10 anos, tendo como data de início 2015. Por falta de um detalhamento maior dos números foi

considerado que todas as classes de renda crescem de maneira uniforme, ou seja, com taxas idênticas de crescimento. Essas informações podem ser conferidas na Tabela 20.

Tabela 20 - Taxas de Crescimento populacional até 2025

Ano	Classe Baixa	Classe Média	Classe Alta
2015	2,19%	2,19%	2,19%
2016	2,14%	2,14%	2,14%
2017	2,09%	2,09%	2,09%
2018	2,03%	2,03%	2,03%
2019	2,08%	2,08%	2,08%
2015-2019	2,08%	2,08%	2,08%
2020	1,97%	1,97%	1,97%
2021	1,92%	1,92%	1,92%
2022	1,85%	1,85%	1,85%
2023	1,79%	1,79%	1,79%
2024	1,73%	1,73%	1,73%
2025	1,68%	1,68%	1,68%
2020-2025	1,46%	1,46%	1,46%

Fonte: IBGE, 2018.

Não foi possível encontrar dados relativos à taxa de crescimento de emprego para os próximos 10 anos junto aos órgãos oficiais. Assim, foi considerado um cenário otimista no qual o DF apresentará as mesmas taxas de crescimento daquelas observadas no período compreendido entre 2001 e 2011. Durante esse período, o país se recuperava de uma crise econômica e o Distrito Federal passava por um crescimento populacional elevado. Caso um cenário semelhante venha a acontecer a demanda do sistema viário seria ainda maior, o que configuraria um cenário crítico. As taxas foram levantadas pela CODEPLAN e podem ser verificadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Série Histórica de Taxas de Crescimento de empregos

Anos	Taxa de crescimento setor privado	Taxa de crescimento setor público
2001	8,82%	1,79%
2002	5,41%	-2,19%
2003	1,14%	0,45%
2004	7,04%	4,02%
2005	10,53%	0,86%
2006	5,00%	0,00%
2007	3,63%	0,85%

Anos	Taxa de crescimento setor privado	Taxa de crescimento setor público
2008	10,72%	5,06%
2009	6,13%	3,21%
2010	9,87%	3,89%
2011	3,73%	1,50%

Fonte: CODEPLAN, 2014.

3.3 *MODELAGEM NO TRANUS*

Neste tópico serão discutidos quais os *inputs* utilizados pelo TRANUS e como deve ser realizado o ajuste de dados para obter a melhor representação da realidade.

3.3.1 *Desenho da rede*

A rede do TRANUS possui dois elementos básicos, nós e links. Os nós possuem um número de identificação, um nome (opcional) e uma breve descrição. Além disso, os nós são caracterizados por coordenadas UTM de suas localizações no mundo real. Uma característica importante do TRANUS é que este desconsidera pontas secas, caracterizada, por exemplo, por uma rua sem saída, de maneira que é necessário evitar esse tipo de situação.

Existem também nós especiais, que são chamados de centroides de zonas. Esses nós serão utilizados pelo programa como pontos de origem ou de destino das viagens. A posição geográfica deles pode ser encontrada pelo centroide geométrico da zona de tráfego, que será melhor abordado no item a seguir.

Os *links*, em geral, representam as vias em que os veículos podem trafegar. Assim como os nós, eles possuem um campo de número de identificação, um nome (opcional) e uma breve descrição (opcional). Entretanto, eles não são definidos pelas coordenadas geográficas e sim pelos nós de origem e destino.

Como são representações de vias, os links devem conter mais informações que os nós. É necessário informar para o programa a direção do *link*, se é mão única ou mão dupla, o tipo do *link* (equivalente ao tipo e capacidade da via). Além disso, caso seja criada uma faixa com características especiais, como uma faixa exclusiva de ônibus, desenha-se links adicionais aos existentes e proíbe-se o seu uso por automóveis de passeio.

Como dados de rede opcionais, o TRANUS oferece a possibilidade de incluir informações de linhas e suas respectivas rotas de transporte público. Para usar essa função deve-se indicar para o programa quem opera a linha, as frequências mínimas e máximas da

linha, sua ocupação desejada e a frota de veículos circulando, bem como todos os nós que são utilizados na rota e se os links possuem parada ou não.

Para desenhar a rede em si, utilizou-se o *software* gratuito *QGIS*, criando-se um novo projeto com as coordenadas UTM compatíveis com o TRANUS. Foi necessário instalar os complementos *OpenLayers* e *Aequilibrae*, também gratuitos e disponíveis no próprio *QGIS*. O primeiro disponibiliza uma *layer* de mapas disponíveis *on-line* para serem usados como base em projetos, enquanto o segundo permite a organização da rede em nós e links.

Nesta etapa, procurou-se compreender todas as vias de grande significância no que diz respeito ao tráfego e deslocamento de pessoas na região.

Inicialmente, desenhou-se as vias a serem estudadas em um arquivo do tipo *shapefile*, utilizando os mapas do *OpenLayers* como base. Com as linhas desenhadas, realizou-se a intersecção entre elas para criar os nós a serem lidos pelo TRANUS. Esses nós foram salvos em uma nova *layer*.

Esses dados foram exportados para uma planilha do tipo “Valores separados por vírgula” (tipo de arquivo .CSV). Para os links, foi necessário possuir os ID’s, os nós de origem e os nós do fim para cada um e a capacidade do link (via). Para os nós, foram atribuídos os ID’s e as coordenadas X e Y do nó, em UTM. A Figura 16 mostra os nós e links desenhados neste projeto.

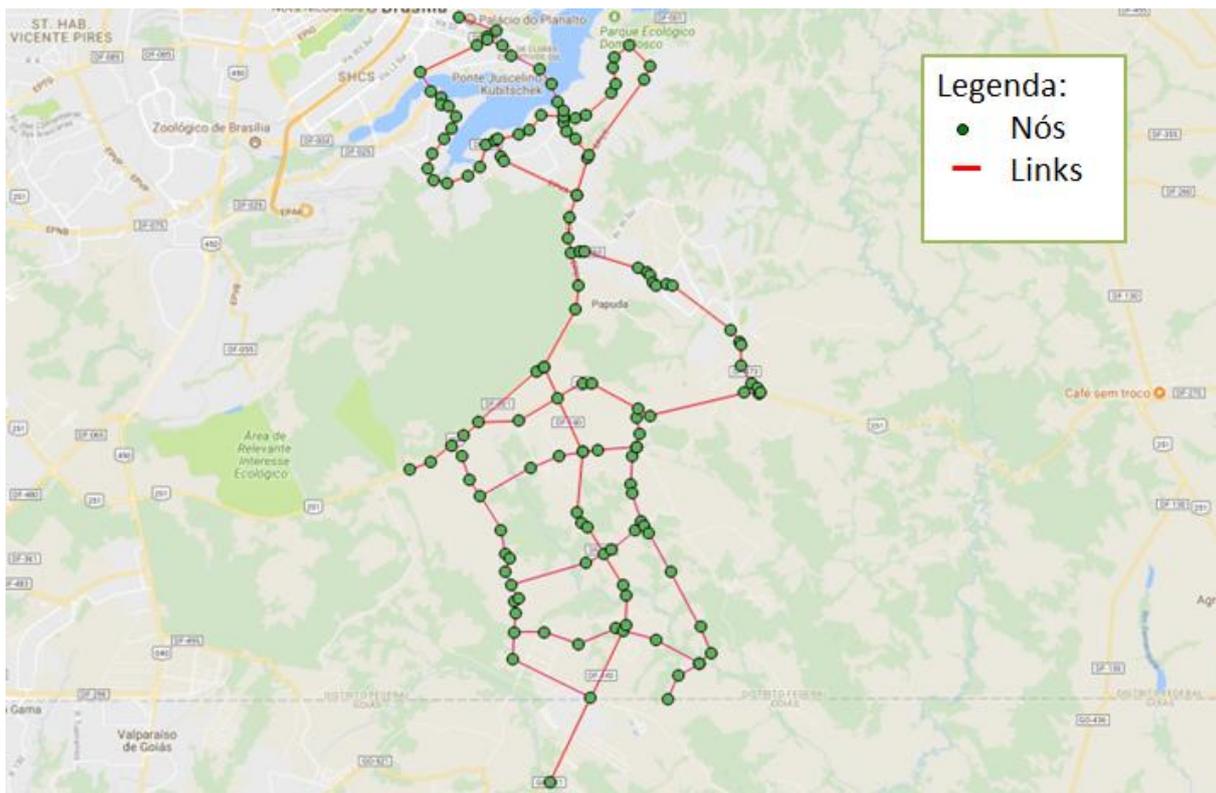


Figura 16 – Desenho da rede (Nós e Links).

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, as vias foram classificadas de acordo com o tipo, agrupando-as de acordo com sua velocidade máxima, redução de velocidade e modos que operam nela.

Tabela 22 – Tipo de cada via

Via	Velocidade (km/h)	Tipo
DF-140	60	2 - Coletora
DF-001	80	4 - Expressa
Vias Internas	40	3 - Arterial
DF - 025 (EPDB)	80	4 - Expressa
Ponte JK	60	2 - Coletora
Ponte Honestino Guimarães	60	2 - Coletora
BR - 251 (EPCT)	60	2 - Coletora
EPVA	80	4 - Expressa
EPJK	60	2 - Coletora
DF - 463	60	2 - Coletora
DF - 473	60	2 - Coletora
DF - 004	80	4 - Expressa

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Definição das zonas de tráfego

Como citado anteriormente, é necessário definir para o TRANUS quais são as zonas de tráfego. A delimitação pode seguir a divisão censitária já existente. É importante, entretanto, analisar se elas estão devidamente discretizadas.

Segundo NGUYEN-LUONG, 2008, é importante analisar os seguintes fatores para uma boa escolha de zonas:

- Disponibilidade da informação desagregada: dados de origem e destino;
- Distribuição de viagens: como o TRANUS não considera viagens internas, as zonas devem ser pequenas o suficiente para a simulação de todas as viagens relevantes a pesquisa;
- Quantidade e tipo da população e de empregos em cada área; e
- Rede de transportes principal, utilizada como fronteira entre as zonas.

Nesse estudo foram definidas 14 zonas de tráfego, distribuídas de acordo com os aglomerados de centros urbanos. Na região específica do DIUR, as zonas foram divididas de acordo com as possibilidades de centroides apresentados. Algumas Regiões Administrativas foram separadas em mais de uma zona de tráfego para distribuir melhor as viagens no modelo TRANUS. A Figura 17 mostra a divisão de zonas de tráfego utilizada no estudo.

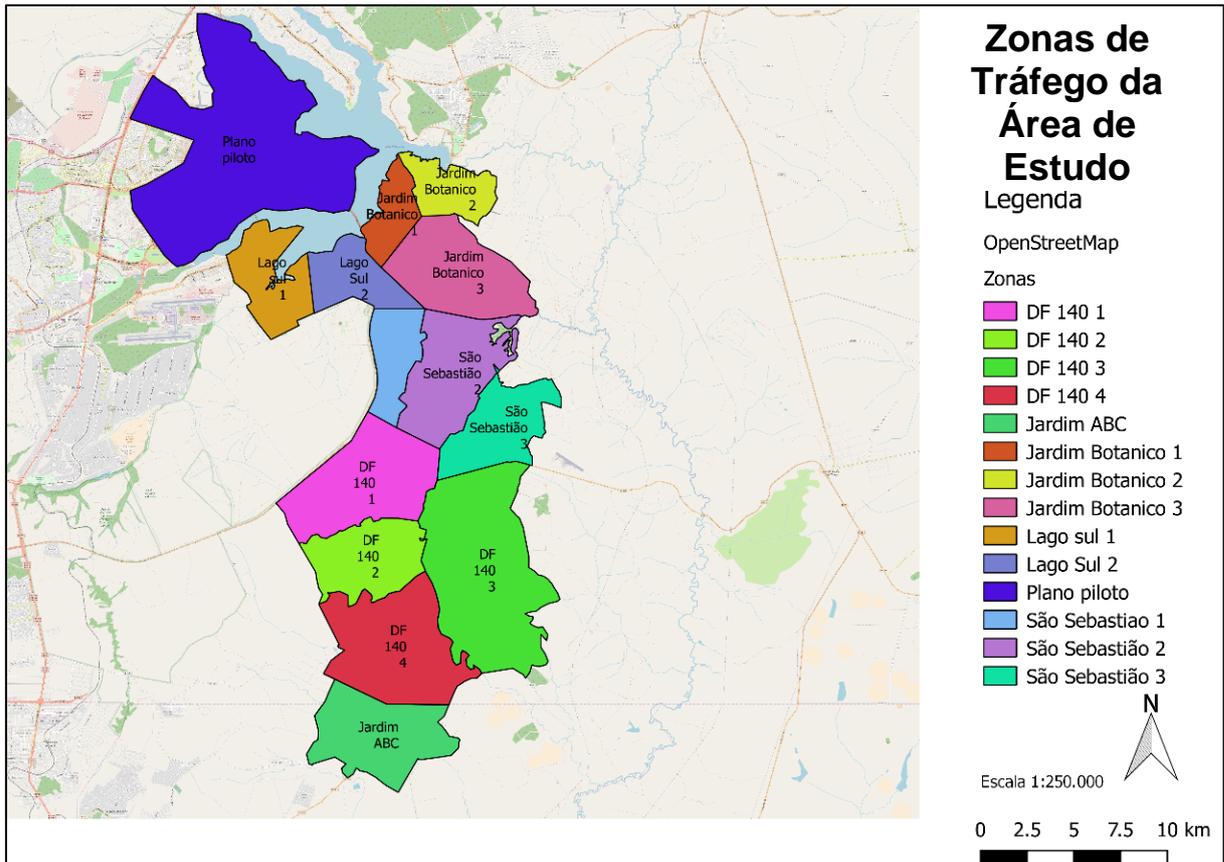


Figura 17 - Divisão de zonas de tráfego.
Fonte: Elaboração própria.

3.3.3 Inserção de dados

O TRANUS admite a inserção de alguns dados a partir de planilhas elaboradas pelo *Excel*. Para tanto, é preciso salvar as planilhas elaboradas no formato CSV (*Comma Separated Values*). Mesmo no formato certo é recomendada uma rápida aferição para conferir se os dados estão corretos. Para adequada inserção de dados no TRANUS devem ser importados primeiro os nós, depois os *links* e as rotas de transporte público.

Entretanto, a grande maioria dos dados deve ser inserida manualmente em cada informação. Na aba “*Transport→Categories*”, é importante criar as categorias dos extratos sociais a serem transportados. Para cada categoria é necessário definir o valor da viagem e o valor da espera, geralmente definidos como parcelas da renda familiar por hora.

Assim, foi adotado um valor de 1/3 da renda familiar por hora para o Valor do tempo, e 2/3 da renda familiar por hora para o valor do tempo de espera. Os valores de taxas de geração de viagem foram determinados por tentativa e erro na etapa de calibração. Os valores adotados no modelo podem ser conferidos na Tabela 23.

Tabela 23 – Características das Categorias criadas

Parâmetro	Classe		
	Alta	Média	Baixa
Valor do Tempo	R\$ 21,8	R\$ 10,8	R\$ 4,3
Valor do Tempo de espera	R\$ 43,6	R\$ 21,7	R\$ 8,7
Taxa mínima de geração de viagens	1,2	1	0,8
Taxa máxima de geração de viagens	2,2	2	1,8
Elasticidade de Demanda	0,003	0,003	0,003

Fonte: Elaboração própria.

Na aba “*Transport→Modes*” insere-se os dados do que é transportado. A simulação elaborada não deverá conter dados sobre produtos a serem transportados, de modo que a única categoria criada será a de passageiros. Ainda nessa aba, são determinados quantos percursos diferentes serão pesquisados, bem como a similaridade entre eles indicado por um fator chamado “*Overlapping Factor*”.

Além disso, o TRANUS necessita saber quem administra cada tipo de *link* criado nas etapas anteriores. Essa informação deve ser inserida na aba “*Transport→Administration*”. Por fim, em “*Transport→Operators*” deverão ser colocados os dados relativos a cada um dos modos de transporte a serem simulados, como tipo, custo de operação, tarifa dos passageiros e consumo de combustível.

Como mencionado anteriormente, o TRANUS utiliza dados do uso de solo para simular a geração de viagens na região. Em “*Sectors*”, são discretizados os tipos de emprego a serem considerados, os setores de renda da população e os outros tipos possíveis de uso do solo, como áreas residenciais e de uso misto. Para o modelo deste trabalho foram adotados seis setores econômicos. Os valores de elasticidade foram determinados por tentativa e erro na etapa de calibragem. A partir de valores inseridos inicialmente foram sendo testados novos valores até que o modelo correspondesse melhor a realidade.

Em “*Inter-sectors*” são transpostos dados do consumo de cada categoria criada em “*Sectors*” por outra categoria considerada. Para a geração destes foi utilizado o *Excel*, para realizar iterações, com o intuito de produzir dados mais próximos da realidade.

Em “*Economic Data*” são inseridos a quantidade de cada emprego ou número de moradores em cada setor. Além disso, é recomendado que o planejador insira dados sobre preço do m² de cada setor para criar uma melhor geração de viagens.

Caso não se deseje simular a geração de viagens a partir dos dados de Uso de Solo, o TRANUS permite a inserção de uma matriz Origem-Destino na Aba “*Transport→Exogenous Trips*”.

3.3.4 Calibração de dados base

A calibração dos dados deve ser realizada com o intuito de avaliar a confiabilidade destes na simulação do programa. Para realizar essa atividade comparam-se os dados de carregamento viário de veículos de passeio gerados pelo modelo com dados obtidos pelo DETRAN e pelo DER. Foram encontradas informações de apenas quatro radares dentro da área de estudo, identificados como pontos vermelhos na Figura 18.

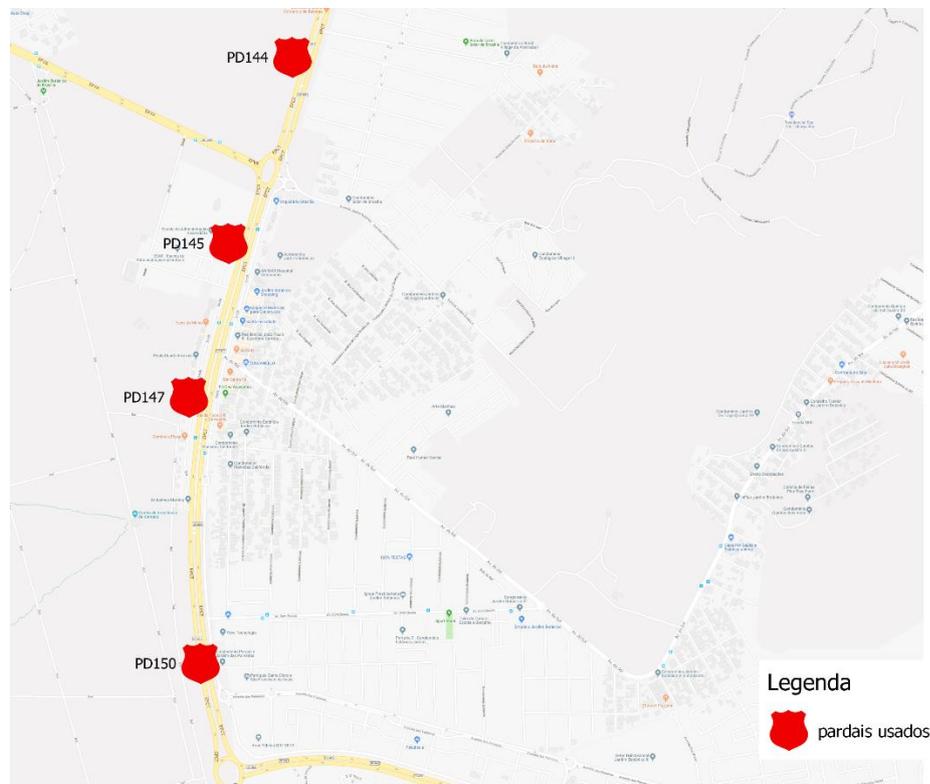


Figura 18 - Radares adotados.

Fonte: Elaboração própria.

Também serão comparados os tempos médios de viagem de cada zona com dados de tempo de viagem obtidos na ferramenta *Google Maps*. Então foi montada uma tabela, que contém os tempos de viagem entre cada zona. Esses valores podem ser conferidos no Apêndice A.

Caso os dados não se confirmem, é necessário alterar as entradas do programa até que o erro seja minimizado. Nessa fase é importante manter registro das alterações realizadas em cada etapa para que seja possível avaliar a influência de cada mudança.

3.3.5 *Simulações*

Na etapa de simulações, os dados serão processados, gerando resultados a respeito do uso de solo e transporte da área estudada em um horizonte de 10 anos. É recomendado que sejam realizadas simulações espaçadas no máximo cinco anos entre si.

A partir dos resultados obtidos com o Cenário Base, serão realizadas mudanças nos dados de entrada, tal como o uso do solo, além da criação de novas vias (links), da alteração das vias existentes (como por exemplo, transformar a via em faixa exclusiva para ônibus), a alteração do custo do combustível, a criação de linhas de ônibus, entre outros. Esse processo será repetido para verificar qual a influência destes fatores na rede de transporte.

Planeja-se realizar três cenários: o cenário “Tendência”, o cenário “Melhorias no Transporte” e o cenário “LUTI”. O primeiro cenário analisará o comportamento urbano se nada for feito enquanto a população da região cresce.

O segundo cenário mostrará a resposta da região com melhorias no setor de transportes. Assim, será simulada a resposta do sistema viário e do uso do solo pela duplicação da via DF-140, em conjunto com um aumento da frequência da linha de ônibus que passa pela região. Também será simulada uma nova linha de ônibus, que representa as linhas circulares propostas pela DIUR.

O cenário “LUTI” utilizará as mesmas melhorias do cenário anterior, somado a mudanças no uso do solo. Será considerado um aumento pontual de empregos, tanto de serviço público quanto privado, e, então, analisado a resposta do sistema de transporte e do preço do solo. Além disso, será adicionado um aumento da população da região, levando em conta o valor estimado para a população máxima dos condomínios localizados na região do Tororó (SEDHAB, 2010).

4 RESULTADOS

4.1 CENÁRIO BASE - 2015 (15A)

Destaca-se que a rede do TRANUS tem 151 nós e 352 *links*, que podem ser verificados na Figura 19. Os *links* definidos como conectores não representam alguma via real, apenas servem para transferir as pessoas das zonas para as vias.

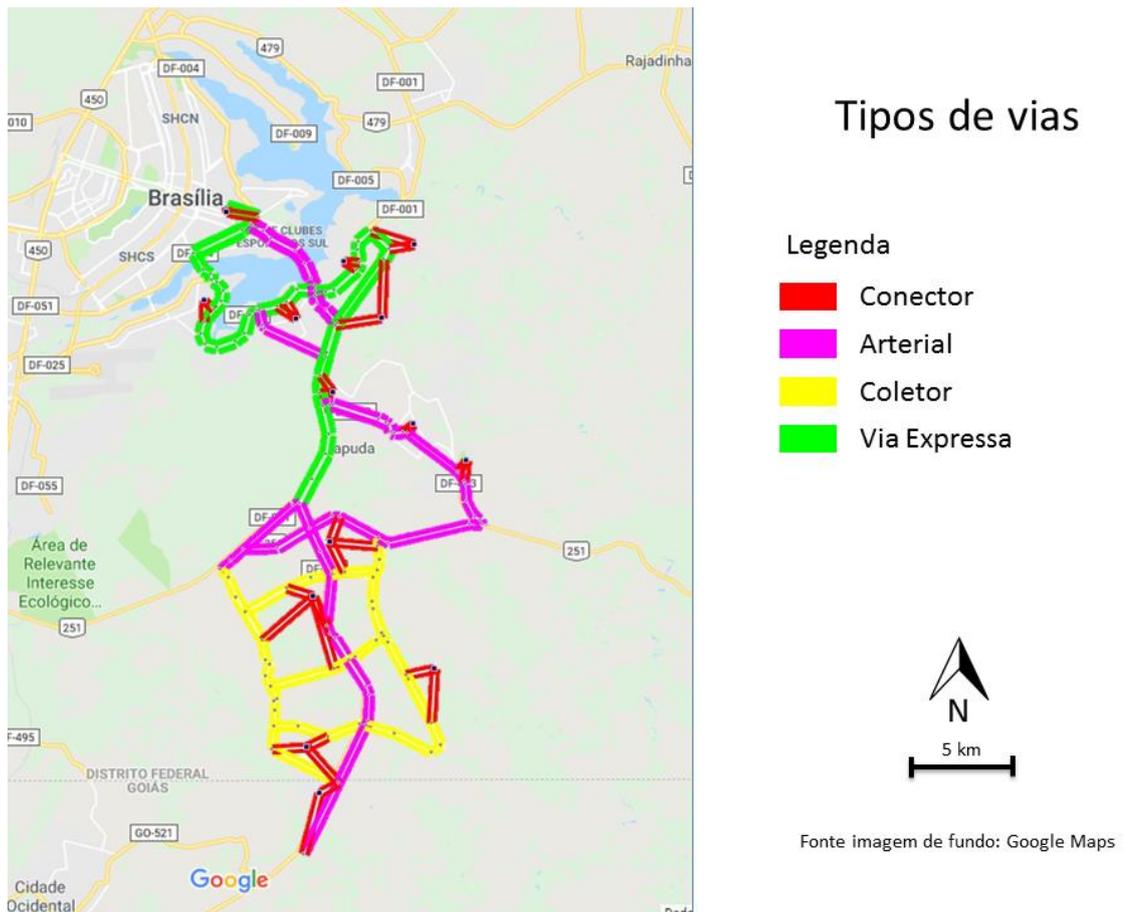


Figura 19 - Rede no TRANUS.
Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que é importante conferir se o modelo construído está condizente com a realidade. Assim, foram coletadas informações geradas pelo TRANUS, referentes ao volume de veículos em cada uma das vias que possuíam equipamentos de controle de tráfego. Essas informações podem ser conferidas na Tabela 24. Um outro dado utilizado para a calibragem do modelo é a matriz de tempo de viagem entre zonas. Esses valores podem ser conferidos na Tabela 28, Apêndice A.

Tabela 24 – Contagem de veículos gerada pelo TRANUS

ID do link	Contagem (TRANUS)
18	8663
19	4423
20	3491
21	8362

Fonte: Elaboração própria.

Assim, com informações de volumes de tráfego nas vias e suas devidas capacidades, o TRANUS é capaz de indicar os níveis de serviço das vias, que relacionam a velocidade medida com a velocidade de fluxo livre, como pode ser conferido na Figura 20.

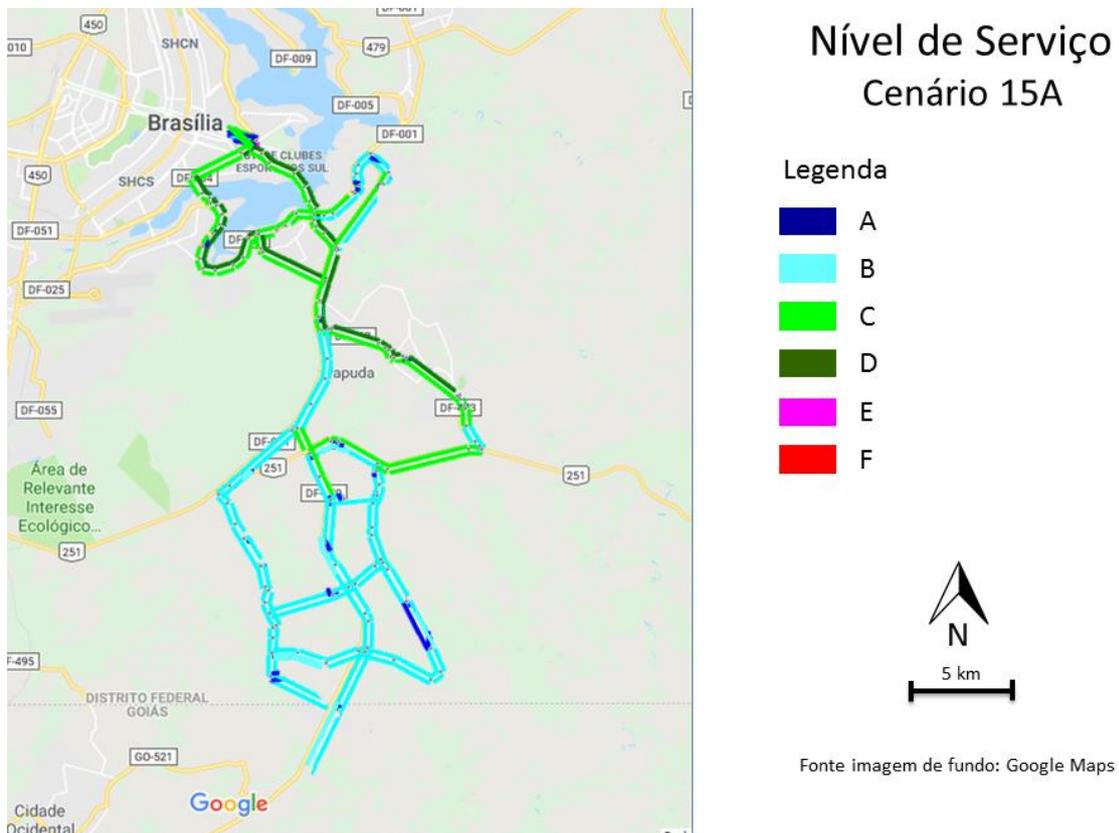


Figura 20 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 15A.

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se que a região ao longo da DF-140 possui um trânsito pouco volumoso, ao passo que as vias de São Sebastião e Lago Sul já demonstram problemas leves nos níveis de serviço.

Também foi possível obter outros indicadores do sistema de transportes, a exemplo de média de tempo de espera, que se traduz como o tempo que um indivíduo aguarda para trocar de um modal para outro; custo e distância de viagem, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25 – Indicadores de Transportes - Cenário 15A

Id	Nome	Distância (km)	Custo (R\$)	Tempo de viagem	Tempo de espera
1	Classe alta	19,45	4,79	0:29:23	00:00:00
2	Classe média	18,98	4,19	0:39:36	00:03:00
3	Classe Baixa	19,62	4,2	0:43:11	00:03:36

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que as distâncias de viagens são elevadas, estando próximo dos 20 km. Além disso, percebe-se que os tempos de deslocamentos entre as classes variam, mesmo com distâncias quase constantes, indicando variações nas escolhas modais.

Por fim, foram desenvolvidos mapas temáticos com as zonas com maiores concentrações de empregos e de população ocupada. Esses mapas podem ser observados na Figura 30 e na Figura 32.

4.2 SIMULAÇÕES

Nas simulações foram gerados cenários de cinco e dez anos, a partir do Cenário Base. No Cenário 2020 (20A), considerou-se um tempo de cinco anos decorridos a partir de 2015, sem mudança na simulação, além do crescimento populacional já discutido anteriormente. Ou seja, as vias, meios de transporte e rotas de ônibus permanecem os mesmos, “Nada a Fazer”. As mesmas considerações foram feitas para o Cenário 2025 (25A). A partir das iterações no modelo são calculadas novas relações entre zonas, tanto no transporte, quanto no uso do solo.

Para o Cenário 25B, “Transportes Total”, foram realizadas mudanças na rede de transporte, como, por exemplo, a duplicação das vias da DF-140, sem aumento de velocidade dela, maior frequência de ônibus e criação de uma nova linha alimentadora na região de expansão estudada.

No Cenário 25C, “LUTI”, considerou-se as mesmas mudanças do Cenário 25B, bem como a criação de novos empregos na região de expansão ao longo da DF-140. Essa alteração pode ser interpretada como a criação de novas zonas comerciais na região, como mercados e ruas comerciais.

Então, com informações de volumes nas vias e suas devidas capacidades, o TRANUS é capaz de calcular os níveis de serviço das vias para cada projeção, que podem ser conferidos da Figura 20 até a Figura 24.

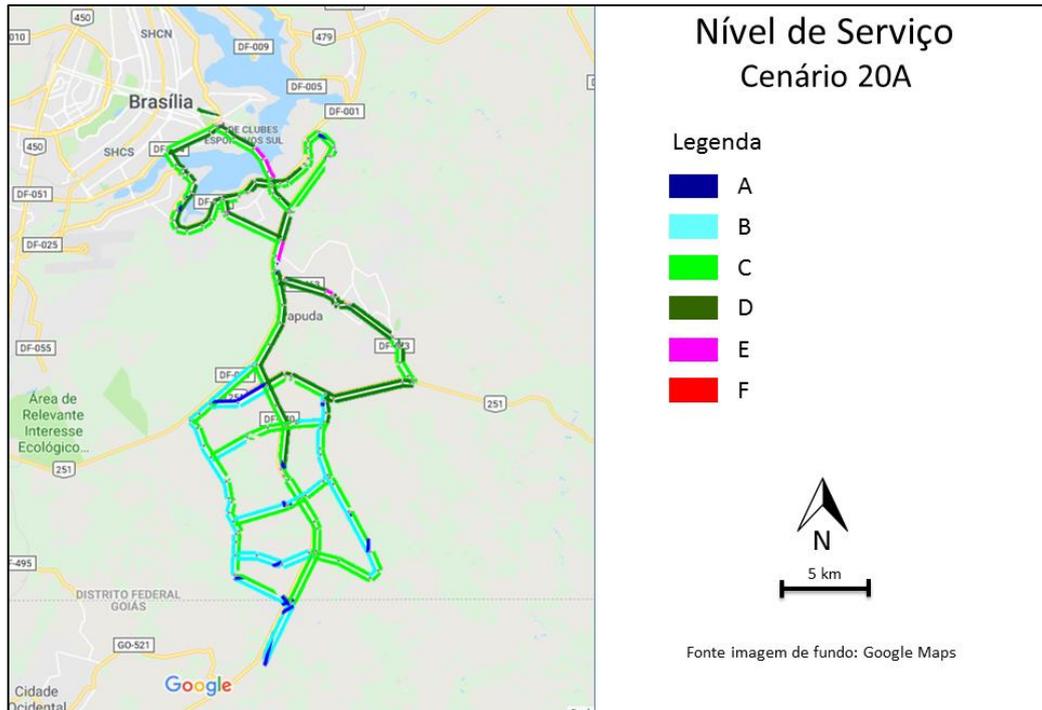


Figura 21- Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 20A.
Fonte: Elaboração própria.

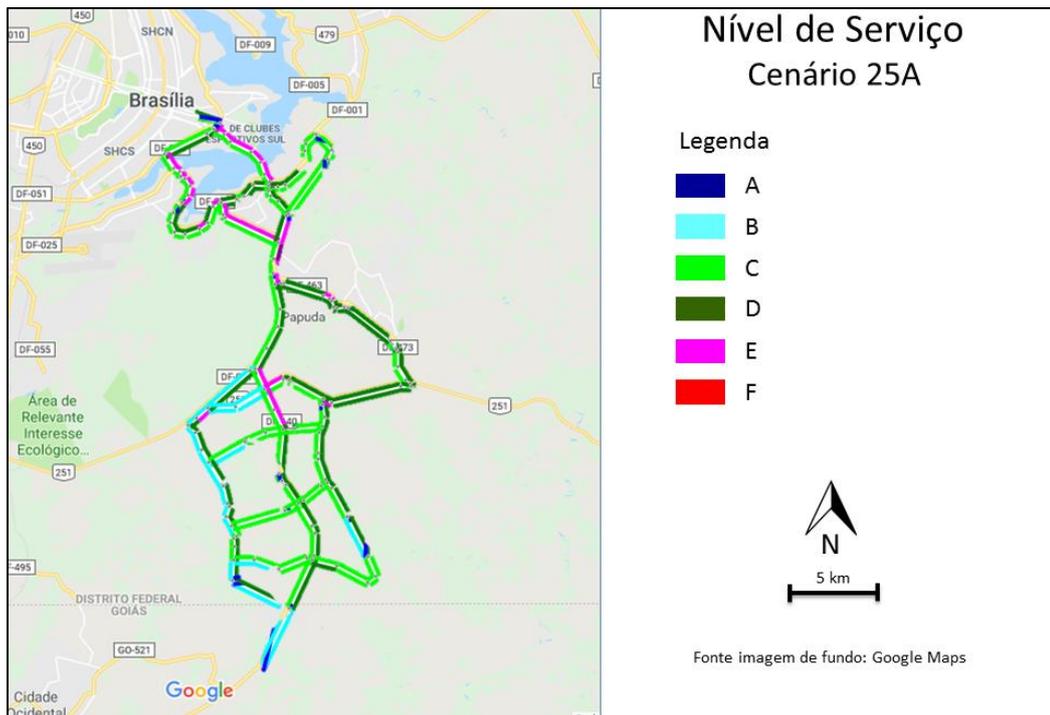


Figura 22 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25A.
Fonte: Elaboração própria.

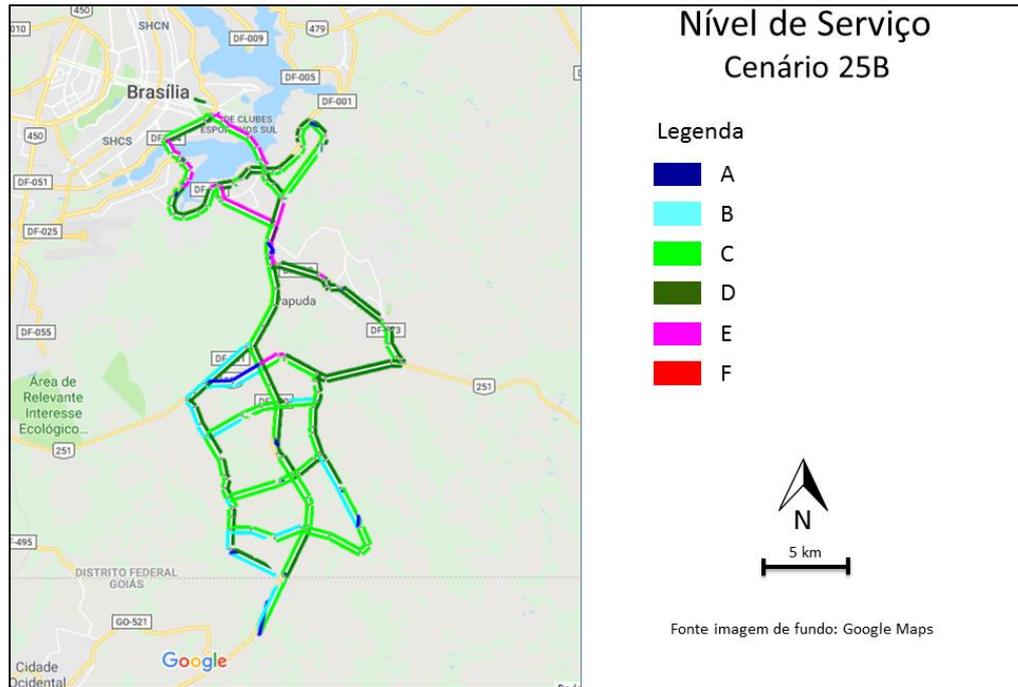


Figura 23 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25B.
Fonte: Elaboração própria.

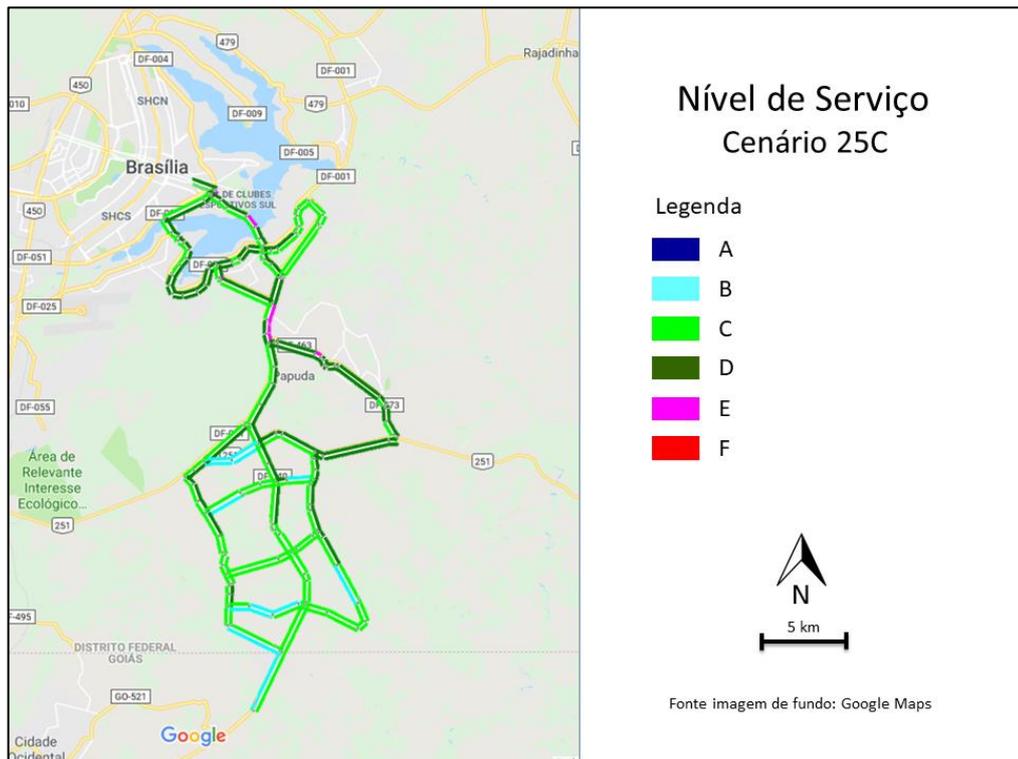


Figura 24 - Níveis de serviço das vias da região de estudo – Cenário 25C.
Fonte: Elaboração própria.

Em geral os cenários mostraram uma piora dos níveis de serviço com o passar do tempo, como visto nos Cenários 20A e 25A. Os Cenários 25B e 25C tiveram alguma melhora, mostrando que as intervenções propostas têm efeitos positivos na rede viária.

Outros indicadores de transporte como média de tempo, custo e distância de viagem estão presentes na Tabela 26.

Tabela 26 – Indicadores de transportes das simulações

Cenário	Nome	Distância (km)	Custo (R\$)	Tempo de viagem	Tempo de espera
2020	Classe alta	20,89	7,11	00:36:36	00:00:00
	Classe média	22,21	5,63	00:55:12	00:04:12
	Classe Baixa	22,81	5,37	01:00:00	00:04:48
2025A	Classe alta	21.25	7.11	00:45:00	00:00:00
	Classe média	22.92	6.29	01:04:12	00:03:36
	Classe Baixa	23.37	5.93	01:09:00	00:04:12
2025B	Classe alta	21.41	7.12	00:42:35	00:00:36
	Classe média	23.66	6.62	00:56:23	00:03:36
	Classe Baixa	24.18	6.19	01:02:24	00:04:48
2025C	Classe alta	19.93	6.62	00:36:00	00:00:36
	Classe média	22.13	6.2	00:47:24	00:06:00
	Classe Baixa	22.75	5.85	00:51:36	00:07:12

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que em geral houve aumento dos valores na maioria dos indicadores, refletindo o deslocamento de pessoas das zonas urbanas mais distantes para o Plano Piloto. Além disso, os custos de viagens cresceram significativamente, graças a aumentos do custo nas passagens de ônibus e nos combustíveis do Cenário Base para os demais cenários.

A Figura 25 mostra a comparação de volume de tráfego Cenários 15A, 20A e 25A para facilitar a análise, que será realizada no item 5.

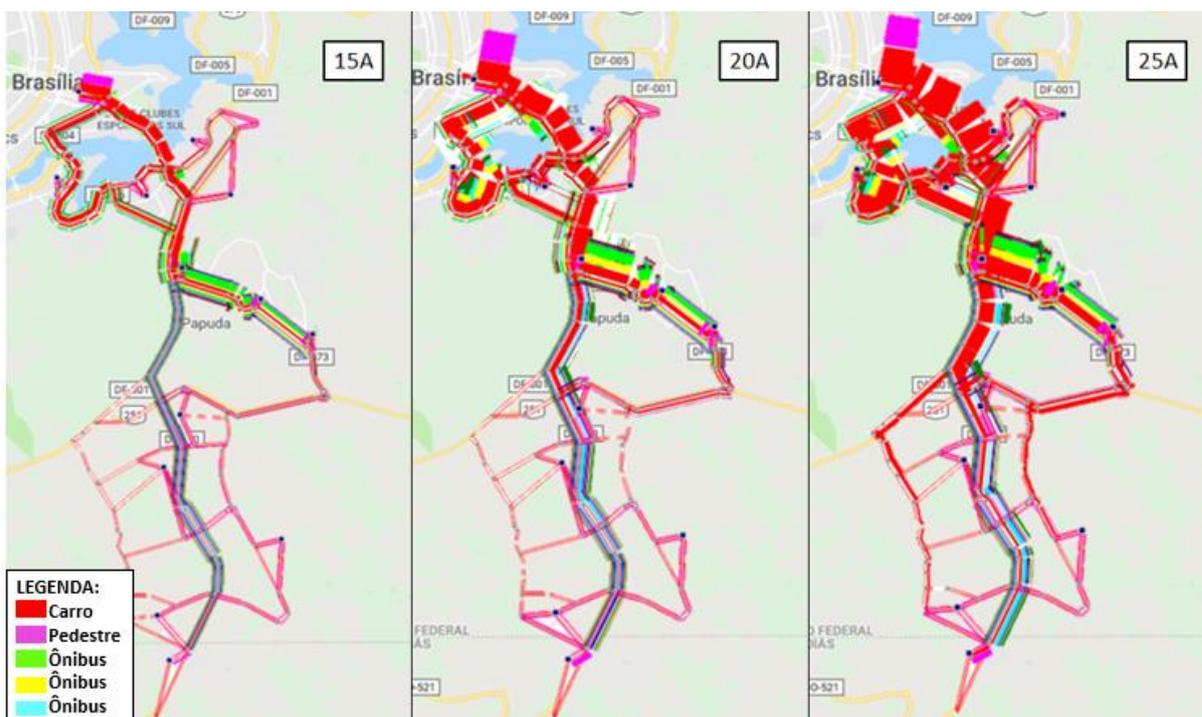


Figura 25 - Comparação de volume de tráfego nos Cenários 15A, 20A e 25A.
Fonte: Elaboração própria.

São utilizadas cores diferentes para ônibus porque o TRANUS identifica linhas com características diferentes como modos diferentes. A partir das figuras é possível perceber o acréscimo do número de carros com o passar dos anos. A quantidade de ônibus também aumentou, como forma de manter a coerência das simulações, mas foi visivelmente inferior à de carros.

A alta quantidade de pedestre mostrada na via de acesso ao Plano Piloto se dá pela não utilização dos links do tipo “Conectores” pelos ônibus. Sendo assim, todo usuário do transporte público deve descer do veículo e caminhar até o destino.

Além disso, é possível obter a matriz Origem/Destino, presente no Apêndice B. Para facilitar a análise de resultados foram montados mapas das regiões que mais geram e atraem viagens no modelo. Esses mapas podem ser verificados da Figura 26 até a Figura 29.

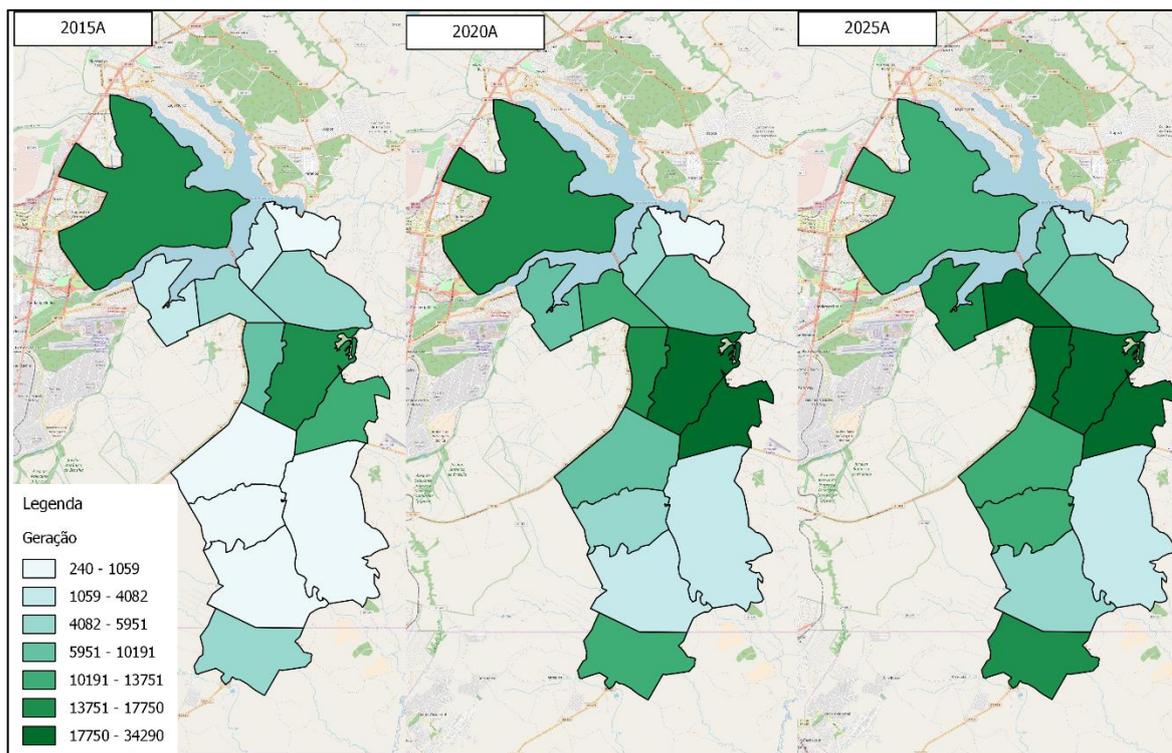


Figura 28 - Evolução da geração de viagens das zonas de 2015 até 2025.

Fonte: Elaboração própria.

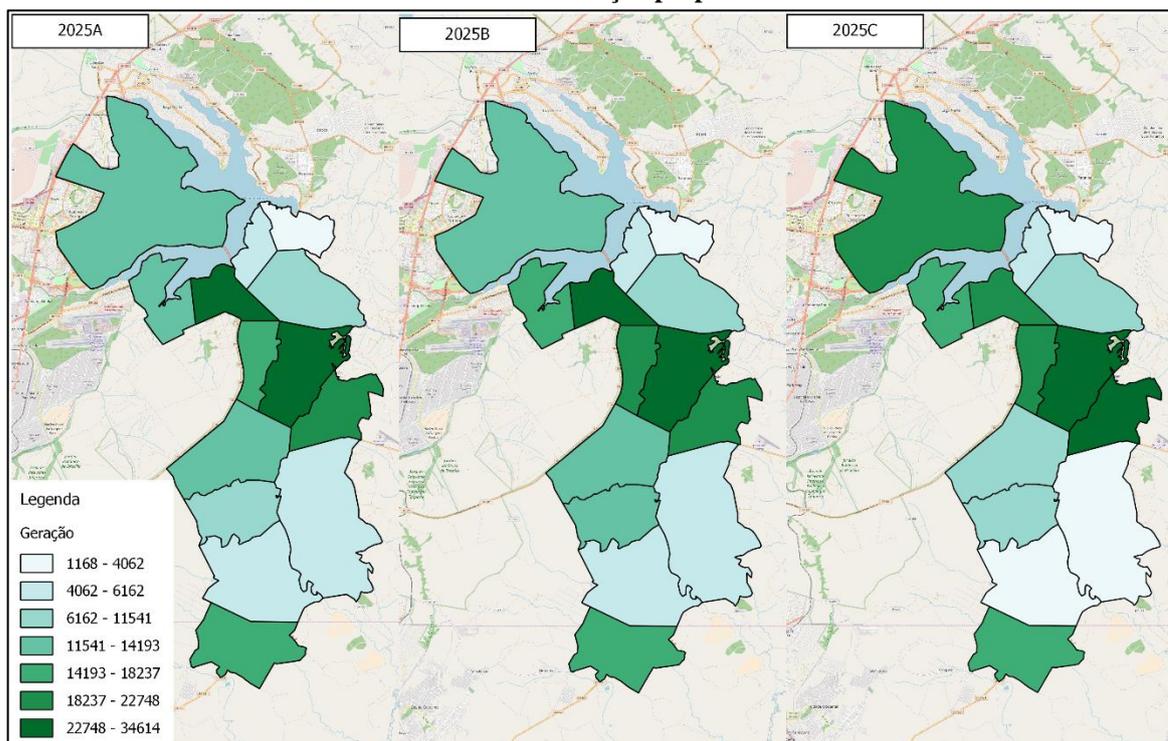


Figura 29 - Comparação da geração de viagens das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se que, enquanto o Plano Piloto se mantém como principal polo gerador e atrator de viagens, as outras regiões mostram um aumento do número de viagens atraídas e

geradas. Além disso, percebe-se que, comparando os Cenários 25A e 25B, não existem mudanças significativas.

A geração e a atração de viagens estão atreladas à localização de empregos e residências. Enquanto na modelagem do Cenário Base o TRANUS aceita os dados inseridos, para as demais simulações o programa tenta prever onde os empregos e a população estarão localizados.

Para melhor representar esses resultados, foram montados mapas temáticos com as zonas com maiores concentrações de empregos e de população ocupada. Esses mapas podem ser verificados na Figura 30 até a Figura 33.

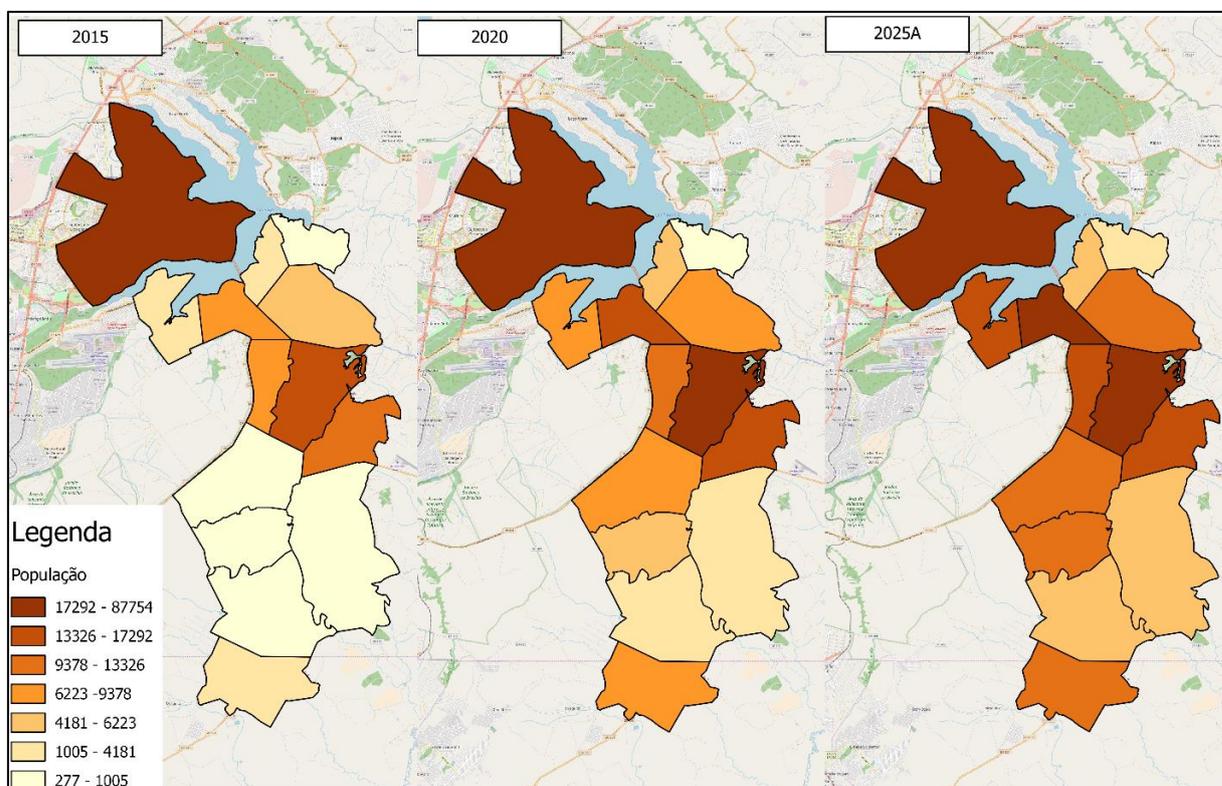


Figura 30 - Concentração populacional das zonas de 2015 até 2025.

Fonte: Elaboração própria.

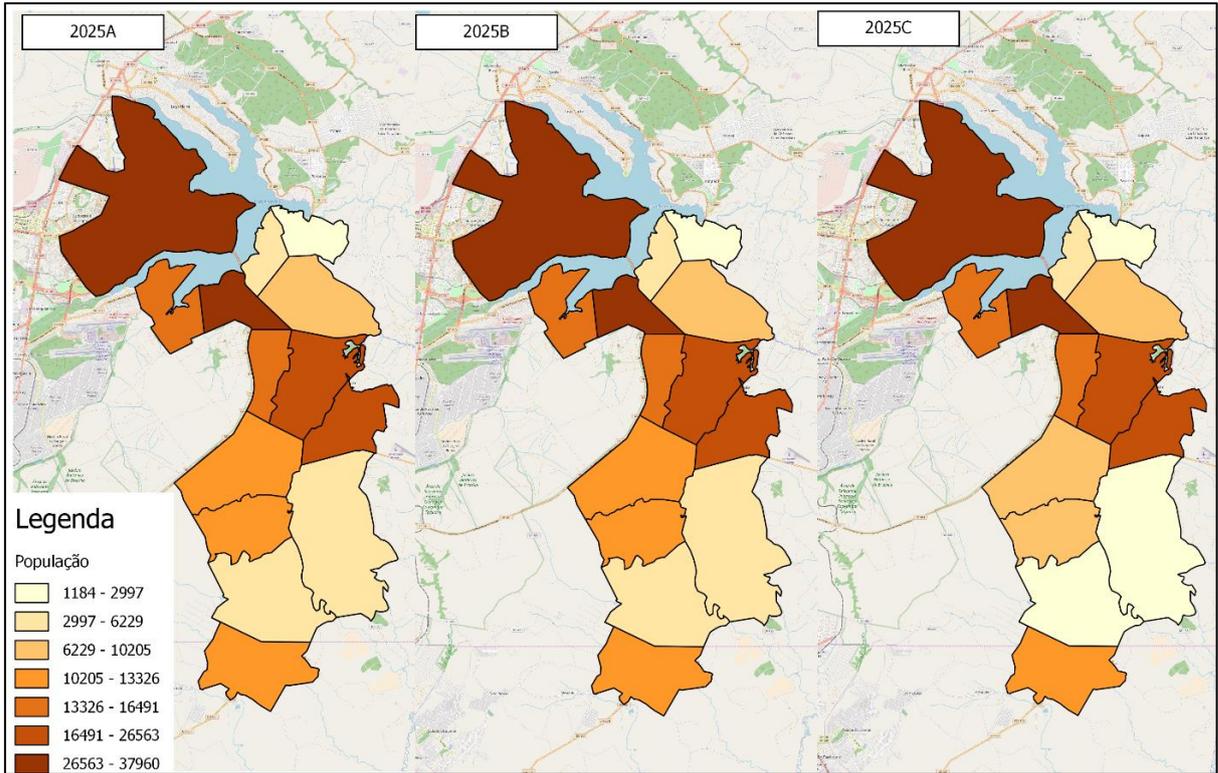


Figura 31 - Comparação da concentração populacional das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.
Fonte: Elaboração própria.

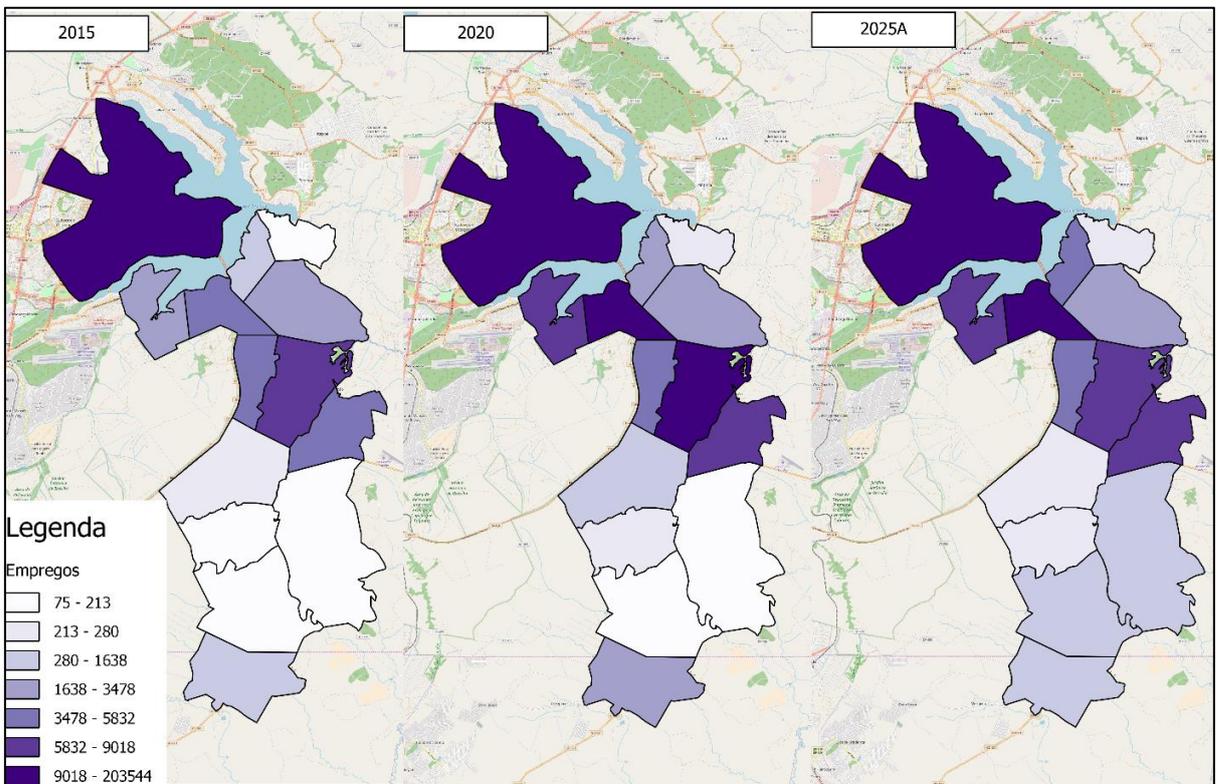


Figura 32 - Concentração de empregos das zonas de 2015 até 2025.
Fonte: Elaboração própria.

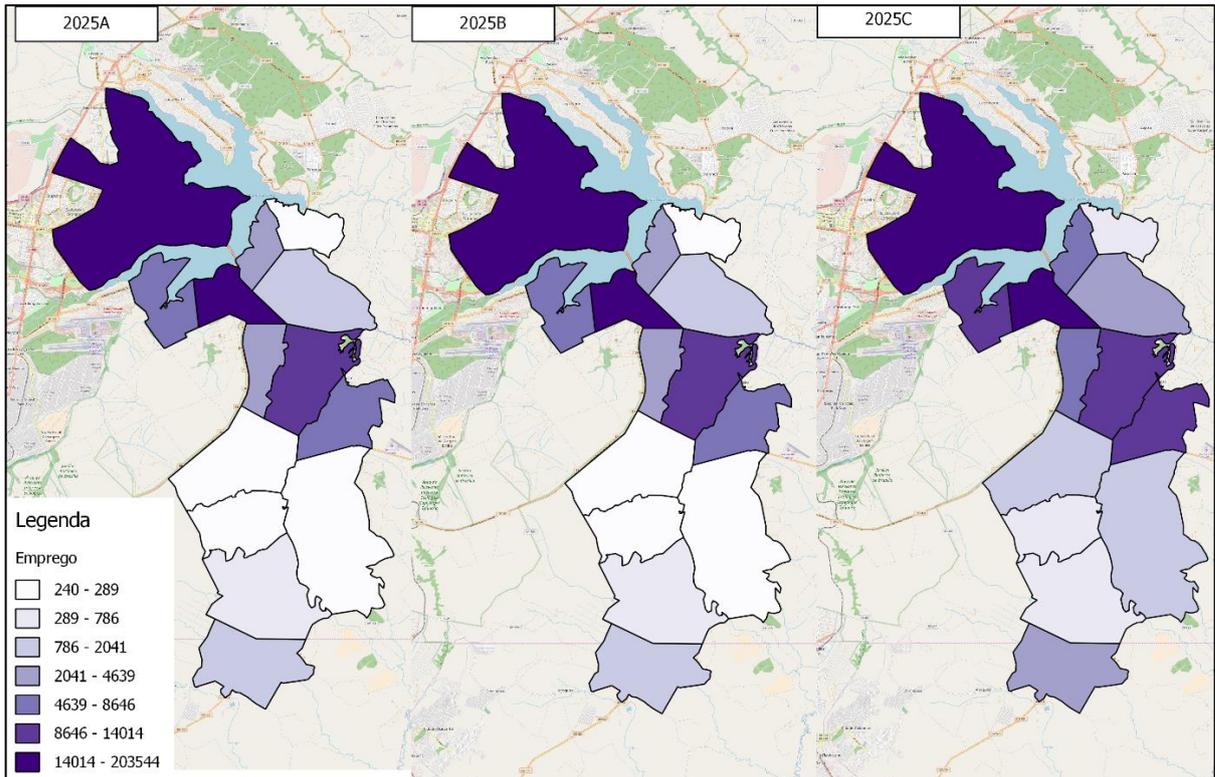


Figura 33 - Comparação da concentração de empregos das zonas entre Cenários 25A, 25B, 25C.

Fonte: Elaboração própria.

Assim, nos mapas de viagens geradas e atraídas observa-se que o Plano Piloto se mantém como zona de maior quantidade de moradores e postos de empregos. Outras regiões mostram aumento do número de empregos e população. Além disso, percebe-se que, comparando os Cenários 25A e 25B, não existem mudanças significativas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CALIBRAÇÃO DO CENÁRIO BASE

Como indicado no método, a calibração do Cenário Base foi realizada mediante a comparação entre tempos de viagem e contagem de veículos nas vias indicadas. O Cenário Base foi considerado calibrado tendo em vista que os valores de R^2 , o coeficiente de determinação, para os tempos de viagens entre as zonas e para as quantidades de veículos nas vias obtiveram os valores de 88% e 97%, respectivamente.

O erro médio do tempo de viagem entre zonas foi de seis minutos. Os tempos observados no *Maps* não levam em conta os períodos de pico, de forma que o erro médio encontrado foi considerado aceitável.

Em relação às contagens de veículos, não foi possível encontrar informações de radares de mais pontos, por falta de informações junto ao DETRAN e ao DER. Assim, apesar do trecho em questão possuir uma quantidade de fluxo veicular similar com a realidade, não é possível ter certeza que os valores nas demais vias estão adequados. Foi montado um gráfico comparativo na escala logarítmica entre a contagem de veículos por radares e gerados pelo TRANUS, observado no Gráfico 2.

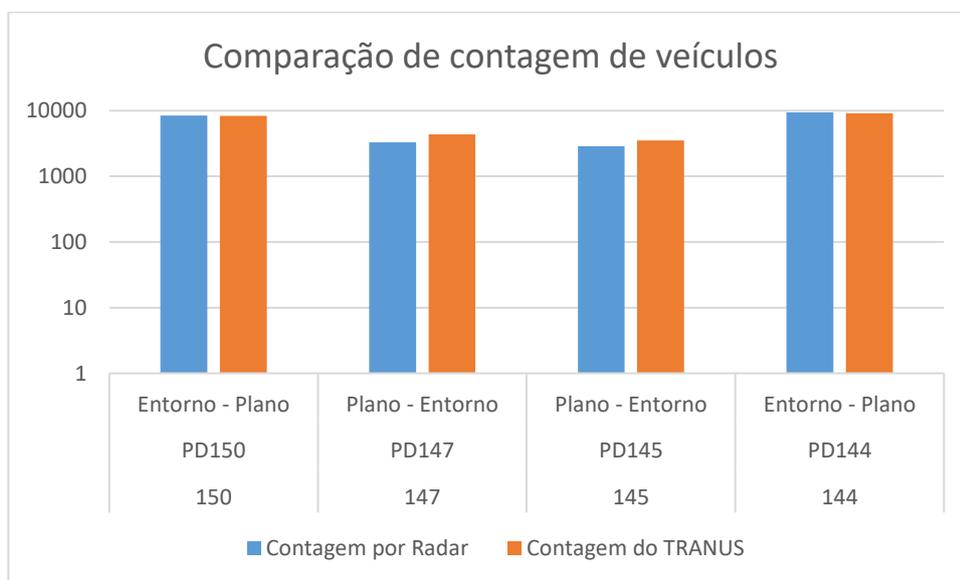


Gráfico 2 - Comparação de contagem de veículos
Fonte: Elaboração própria.

5.2 COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

Após o processamento de dados é possível realizar comparações de cenários, como mostrado a seguir.

O Gráfico 3 mostra a relação de distância média percorrida por classe, variando a cada cenário. Como é possível observar, em geral, a classe baixa percorre distâncias superiores para chegar ao seu destino. Além disso, para todos os cenários há um acréscimo deste parâmetro ao longo do tempo, com exceção do Cenário 25C, em que há uma redução significativa da distância média de viagem. Essa redução é provavelmente causada pelo aumento da oferta de empregos ao longo da DF - 140, como mostrado na Figura 33.

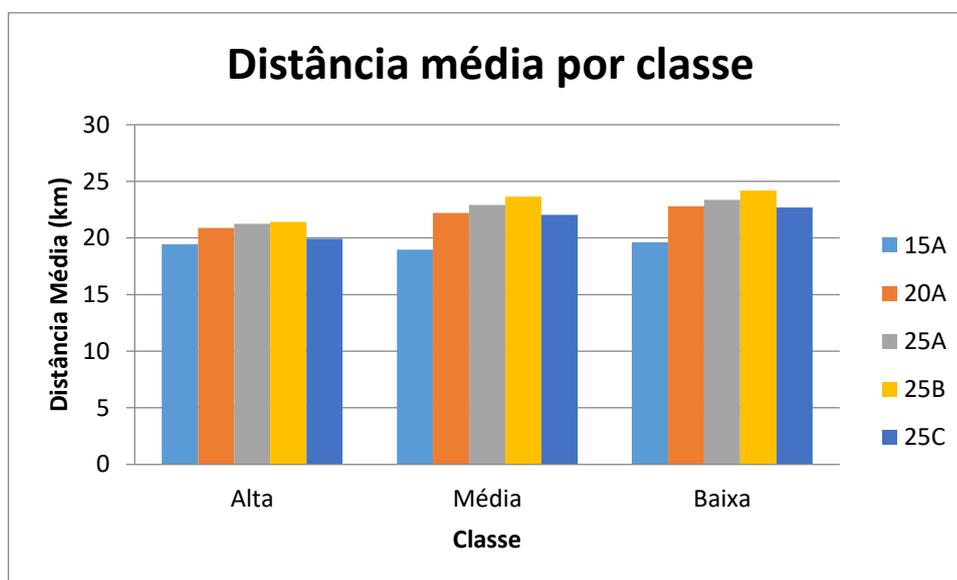


Gráfico 3- Comparação entre cenários de distância média.

Fonte: Elaboração própria.

Um comportamento semelhante foi observado no Gráfico 4, que descreve o custo de viagem médio por classe. Houve um crescimento inicial nos primeiros cenários, seguido por uma queda no Cenário 25C. Isso é uma consequência de menores distâncias de viagens, que implicam um custo menor em todos os modais de transporte e classes econômicas.

É interessante observar que, para a classe alta, houve um aumento na distância média de viagem nos cenários 20A, 25A e 25B. O incremento, no entanto, não foi tão significativo quanto o observado para as outras classes. Isso ocorre porque, à medida que a população cresce, o terreno mais atrativo encarece. Como o modelo criado considera apenas a distância viajada ao trabalho, terrenos mais próximos dos centros de trabalho se valorizaram, de modo a estimular uma migração de outras classes para regiões mais distantes.

Além disso, é possível observar que, em média, os custos de viagem da classe alta são superiores aos das classes média e baixa, explicado pela pequena taxa de ocupação dos veículos no DF, altas distâncias e alto custo de combustível. Esta taxa de ocupação corresponde a um número superior de veículos por residência, que, alinhado com grandes distâncias e o alto custo de combustível, aumenta o custo de uma residência de classe alta com transporte.

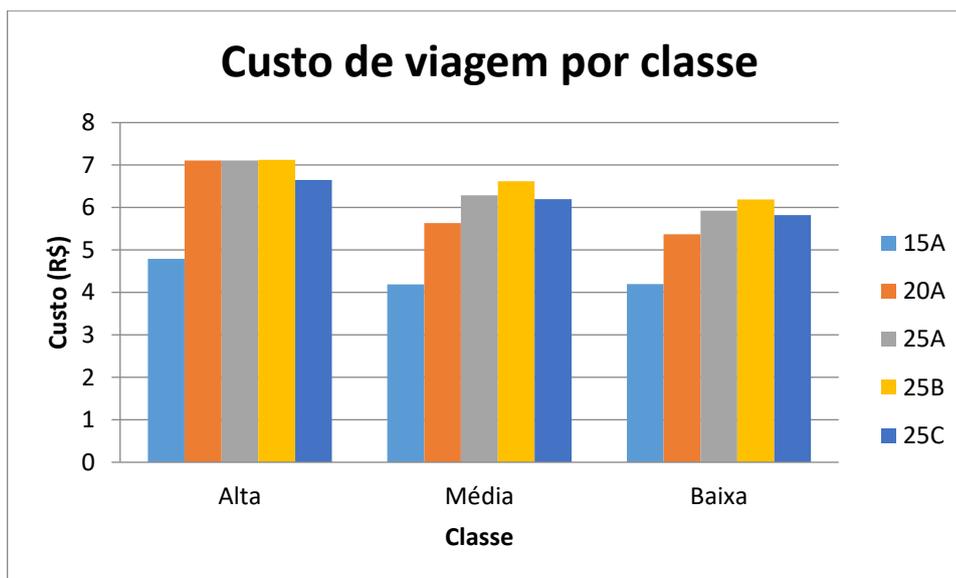


Gráfico 4- Comparação entre cenários de custo de viagem.
Fonte: Elaboração própria.

Já o tempo de viagem médio, presente no Gráfico 5, indica mudanças no padrão. Neste, é possível perceber um declínio a partir do Cenário 25B, em que são realizadas mudanças nas vias de estudo, com duplicação e pavimentação de vias da região do Tororó e aumento da frequência dos ônibus. Dessa maneira, uma mudança na rede de transporte melhorou os tempos de viagens, mesmo que os custos de viagem tenham aumentado ao mesmo tempo. Ocorreu outra diminuição no Cenário 25C, tal como o esperado, e de acordo com os resultados anteriores.

Vale a pena observar que a classe baixa apresentou um tempo de viagem bem superior quando comparado com a classe alta, justificada pelo tempo de espera em filas de ônibus e transição de veículos, além da caminhada realizada pelas pessoas de suas residências ao ponto de ônibus. Outro motivo para o tempo de viagem superior pode ter sido o adensamento do Jardim ABC. Com a população mais longe do grande centro de empregos, os tempos de viagem naturalmente aumentam.

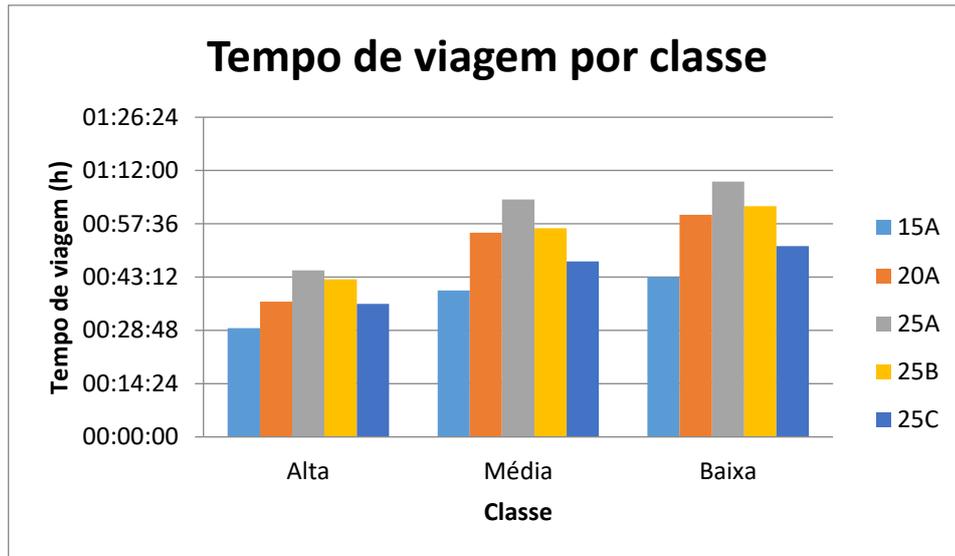


Gráfico 5- Comparação entre cenários de tempo de viagem médio.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 34 compara a evolução do nível de serviço em cenários nos quais não são realizadas alterações na rede de transporte ou no uso de solo, ou seja, caso a região cresça livremente de acordo com o previsto neste trabalho. Como é possível observar pela imagem, ocorre uma deterioração gradual no nível de serviço, em especial das vias expressas que levam ao Plano Piloto, como a EPJK, EPVA e EPDB.

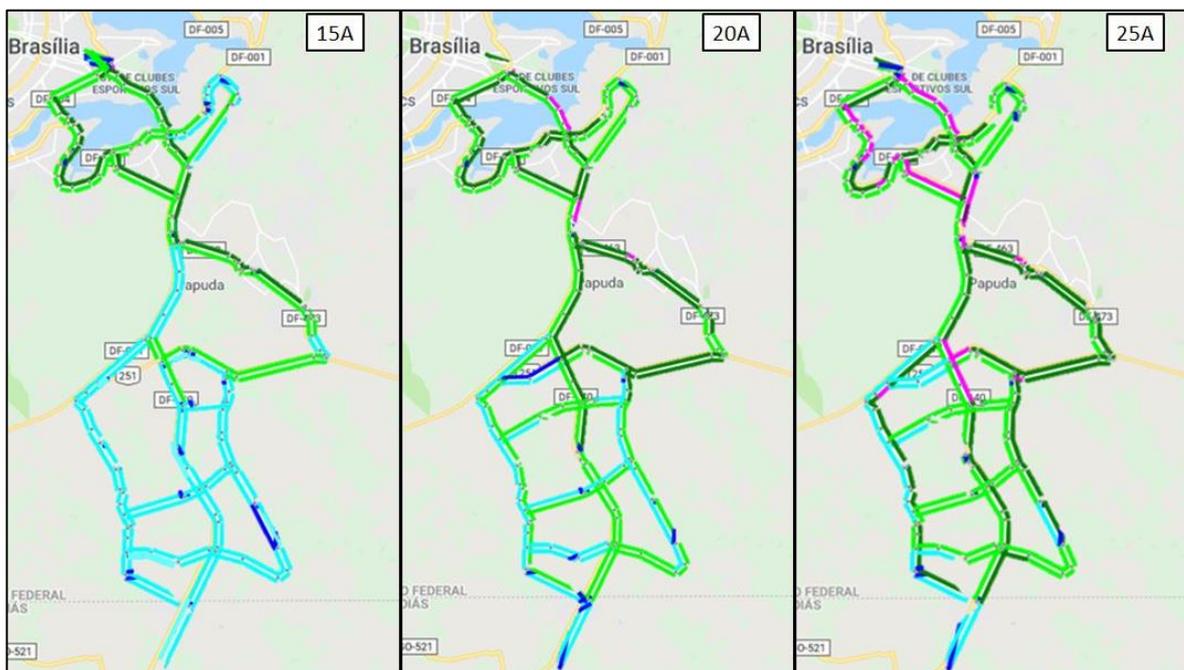


Figura 34 - Comparação entre níveis de serviço - Cenários 15A, 20A e 25A.
Fonte: Elaboração própria.

Também se pode perceber que na área de estudo, ao longo da DF-140, também ocorreu uma piora no nível de serviço, sendo, em alguns trechos, até o nível E (rosa). Internamente, as vias ficam consideravelmente congestionadas.

A Figura 35 compara o nível de serviço do Cenário 25A, sem mudanças, com o nível de serviço dos Cenários 25B e 25C, com alterações realizadas.

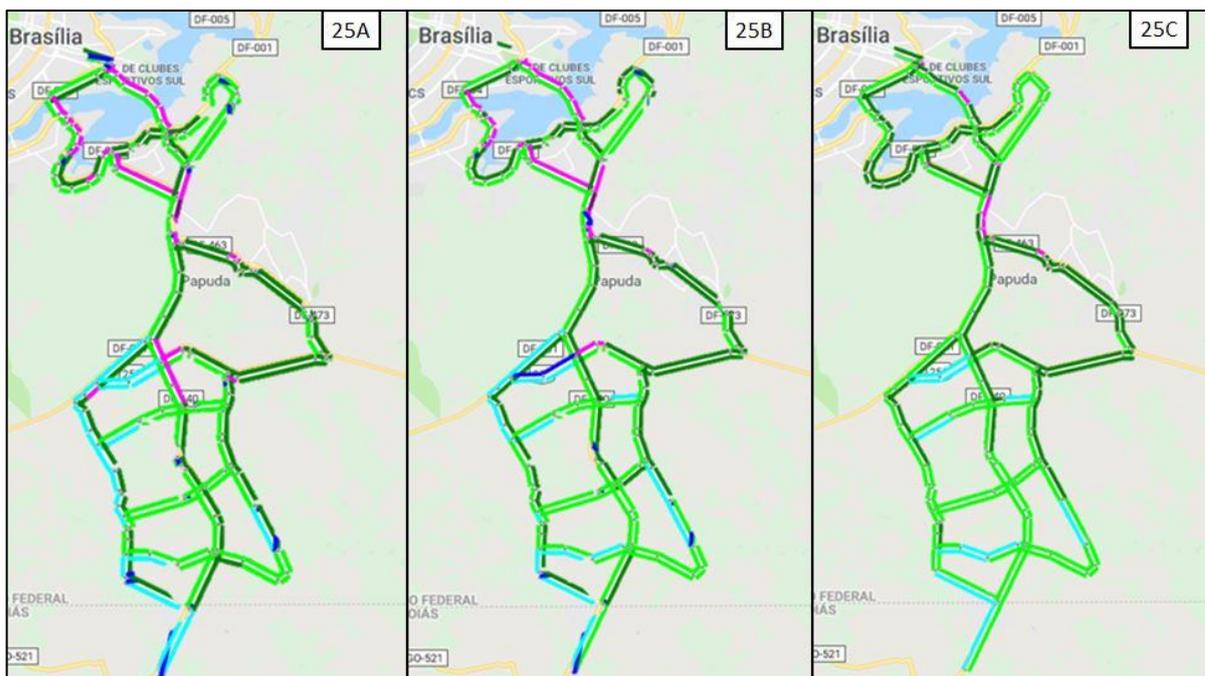


Figura 35 - Comparação entre níveis de serviço - Cenários 25A, 25B e 25C.
Fonte: Elaboração própria.

Do Cenário 25A para o 25B é possível notar uma leve melhora nos níveis de serviço em alguns trechos, principalmente nas vias perpendiculares e paralelas à DF-140. Isso se deve à pavimentação de algumas destas vias, aumentando assim a capacidade delas.

Do Cenário 25B para o 25C são realizadas mudanças no uso de solo, com o intuito de descentralizar os empregos no Plano Piloto. Como é possível observar, houve um leve agravamento nos níveis de serviço nas vias contra o fluxo, de maneira a aumentar os deslocamentos nesse sentido no horário de pico. Também ocorreu uma piora no início da DF-463, que liga São Sebastião à DF-001. Entretanto, houve melhorias nas vias internas à região da expansão abordada neste trabalho. Também se observou melhora em uma pequena região do Lago Sul.

A Figura 36 e a Figura 37 apresentam detalhamentos das mudanças dos níveis de serviço na evolução do modelo com “Nada feito”, nas entradas de São Sebastião e Tororó, respectivamente. Ambos os modelos se comportam como o esperado, com os níveis de

serviço piorando gradativamente do D ao F. Vale a pena ressaltar que essa mudança foi mais significativa no sentido do fluxo do horário de pico. O contra fluxo permaneceu com poucas diferenças.



Figura 36 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada de São Sebastião - Cenários 15A, 20A e 25A.
Fonte: Elaboração própria.

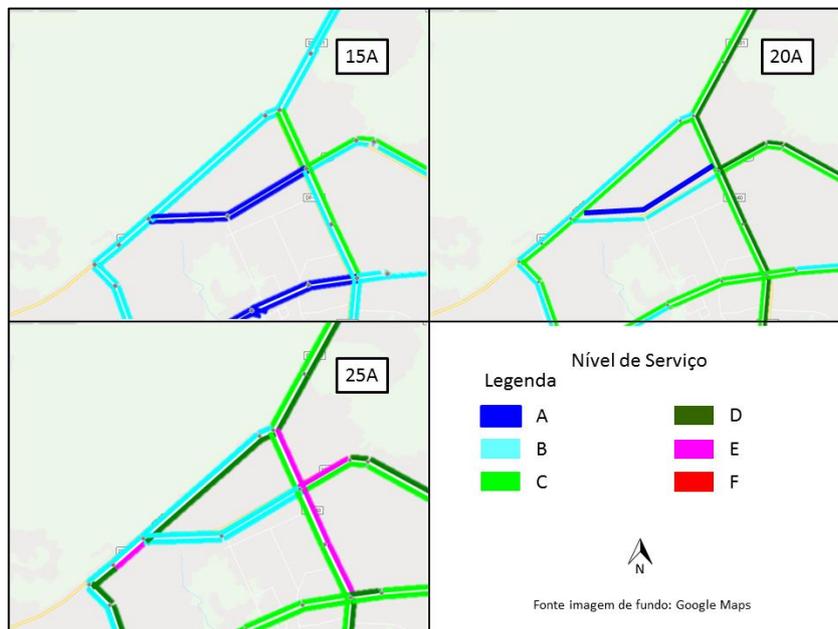


Figura 37 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada da DF140 - Cenários 15A, 20A e 25A.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 38 apresenta detalhamento das mudanças dos níveis de serviço na entrada de São Sebastião a partir do Cenário 25A, com alterações na rede de transporte (25B) e no LUTI (25C). Como é possível observar, não houve mudanças significativas entre os Cenários 25A e 25B. Entretanto, pode-se notar uma melhora significativa entre os Cenários 25A e 25C.



Figura 38 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada de São Sebastião - Cenários 25A, 25B e 25C.

Fonte: Elaboração própria.

Já a Figura 39 faz um detalhamento da comparação de níveis de serviço na entrada da DF-140 a partir do cenário 25A, com as mudanças programadas para a área de transporte (25B) e LUTI (25C). Como é possível observar comparando o Cenário 25A com o 25B, o nível de serviço nessa região melhora em diversos trechos, sendo o mais significativo o início da DF-140, que sai do nível E para o D no sentido de fluxo do horário de pico.

Comparando-se o nível 25A com o 25C, percebe-se uma melhora do nível de serviço em vias do sentido do fluxo, e um agravamento no sentido de contra fluxo do horário de pico. Essa piora ocorre devido a uma geração maior de empregos na região, causada por mudanças no uso de solo na simulação, de maneira que mais pessoas viajam até essa área para trabalhar. Vale a pena ressaltar que, apesar do resultado no nível de serviço no contra fluxo, este ainda se encontra dentro de padrões aceitáveis para uma mobilidade urbana com qualidade.

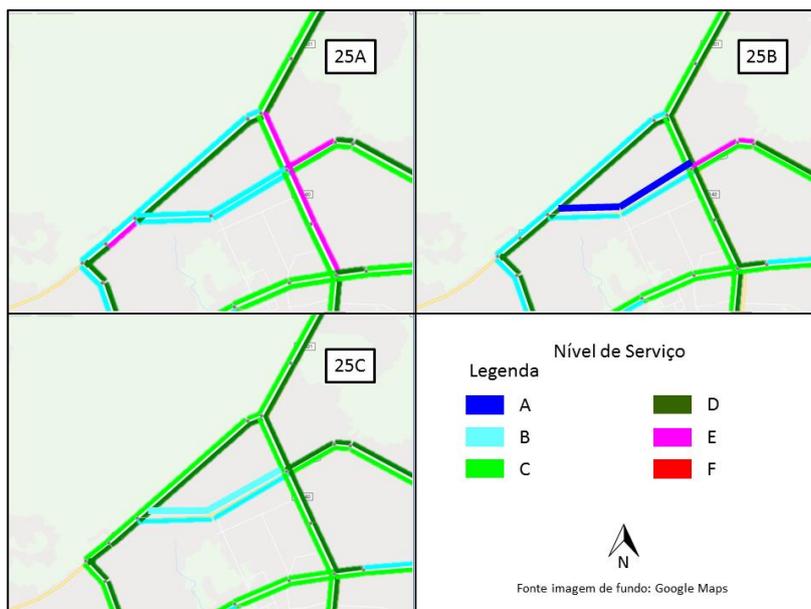


Figura 39 - Comparação entre níveis de serviço em trecho de entrada da DF - 140 - Cenários 25A, 25B e 25C.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao uso do solo, é possível visualizar na Figura 30 e na Figura 31 que em todas as simulações o Plano Piloto se manteve como zona com maior quantidade de pessoas. Além disso, percebe-se que, entre 2015 a 2025, a quantidade de pessoas no Lago Sul, São Sebastião e Jardim ABC aumentou de forma notável. Um aumento similar acontece na região da expansão Sul/Sudeste, com um crescimento maior nas zonas mais consolidadas.

De forma similar, o Plano Piloto se manteve como maior detentor de postos de empregos na região estudada em todos os cenários, como pode ser visto na Figura 32 e Figura 33. Apesar da distribuição de empregos no Lago Sul e em São Sebastião se comportarem de maneira similar a população na análise do cenário de 2020, percebe-se uma descentralização de empregos no Cenário 25A.

Também se nota que, para 2025, as regiões mais ao sul da DF-140 concentram uma quantidade maior de empregos. Esse resultado se mostra improvável, devido à existência da região mais consolidada ao norte. Isso pode ter acontecido pela grande quantidade de áreas livres nessas regiões.

É possível observar também a relação entre empregos e atração de viagens. As figuras Figura 26 e Figura 32 possuem quase as mesmas intensidades de cores em cada zona. Porém, é possível notar que na região ao longo da DF-140 existe uma atração de viagens maior que

números de empregos, mantidas as proporções de cada mapa. Isso acontece porque o crescimento populacional não foi capaz de atender a demanda por mão de obra na região.

Uma relação similar existe entre a Figura 28 e a Figura 30, onde os mapas evoluem de forma parecida. Zonas mais ocupadas geram uma quantidade maior de viagens do que zonas com menor ocupação. Um detalhe interessante no mapa da Figura 28 para geração de viagens é que o Plano Piloto gera menos viagens com o passar do tempo. Isso acontece porque mais pessoas realizam viagens internamente, diminuindo, assim, a quantidade de viagens contabilizadas para outras localidades.

Quanto à comparação entre cenários, percebe-se que as alterações nos transportes do Cenário 25A para o 25B não foram suficientes para gerar mudanças significativas no uso do solo. Isso pode ter acontecido pelo fato de a zona não contar com uma boa integração com zonas que não as limítrofes, São Sebastião e Jardim ABC. A única via de acesso dessas três regiões com a parte norte da área de estudo apresenta os piores níveis de serviços em todas simulações, o que diminui a acessibilidade, e, por conseguinte, a atratividade da zona para expansões.

Como esperado, a indução de empregos na região resultou em um número maior de viagens atraídas, em relação aos outros cenários. Além disso, essa indução atraiu também mais empregos para a região mais ao leste de São Sebastião e no Jardim ABC.

Entretanto, ao contrário do que se esperava, a indução de novos empregos resultou uma quantidade inferior de habitantes na região de expansão. Um motivo para isso ter acontecido é que o aumento do preço no solo na região do Tororó diminuiu a atratividade residencial da região.

Como não foram definidos mais setores de solo, como residencial, comercial e misto, todos os setores econômicos competiram pelo mesmo espaço. Assim, o modelo não prevê com precisão peculiaridades locais da região, como a baixa disponibilidade de áreas de emprego novas no Lago Sul e Jardim Botânico.

Além disso, outra maneira de antecipar a alocação de pessoas no espaço é a utilização de atração entre setores. Como os setores econômicos utilizados foram apenas dois, não foi possível estabelecer relações de atração claras entre eles e as classes econômicas, deixando assim a simulação um pouco mais imprecisa.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi simulada a relação entre a área de estudo do DIUR (sul/sudeste) com regiões próximas nos quesitos de transporte e uso de solo. Apesar do foco maior dado aos locais próximos a DF-140 (Tororó), foi possível também constatar efeitos nas áreas do Jardim Botânico, Jardim ABC, Lago Sul, Plano Piloto e São Sebastião.

Um fator que deve ser levado em consideração, é que tais Regiões Administrativas foram segregadas das demais para realizar este estudo, uma vez que realizar o modelo para todo o Distrito Federal seria inviável para o tempo disponível. Tendo isso em vista, a separação dessas regiões, em especial do Plano Piloto, pode ter causado algumas discrepâncias no modelo. Ainda assim, pode-se afirmar que tal modelo, em geral, encontra-se coerente com o observado na realidade.

No que diz respeito ao estudo da área em si, foi possível realizar uma pesquisa abrangente e esclarecedora dos principais fatores que afetam o desenvolvimento urbano de uma região. A primeira constatação relevante é que o crescimento urbano quando desalinhado de medidas de planejamento de transporte e de uso de solo prévios irá sobrecarregar o sistema viário, agravando a situação já existente e elevando ainda mais os tempos de transporte e de espera e, conseqüentemente, uma piora da qualidade de vida das pessoas que vivem naquelas regiões.

Observou-se também que somente medidas de melhorias no sistema de transporte não são suficientes para provocar uma mudança significativa nos parâmetros utilizados na verificação da rede viária, apesar destas medidas terem melhorado ligeiramente tais valores. Além disso, as mudanças na rede de transporte provocaram pequenas alterações no uso de solo. Isso é justificado pelo fato de não haver uma integração muito boa entre a região da DF-140 e as demais regiões nesse aspecto.

Entretanto, ao adicionar mudanças no uso de solo notou-se uma melhora significativa no modelo, de maneira que a descentralização de empregos melhorou significativamente os parâmetros do transporte. Constata-se que, no geral, tais mudanças provocaram um leve agravamento no nível de serviço no contra fluxo, explicado pela melhor distribuição de empregos. Tal agravamento, porém, ainda está dentro de padrões adequados para um bom fluxo de veículos na via.

Por fim, foram feitas diversas observações em relação ao uso do TRANUS neste trabalho, com o intuito de auxiliar outros pesquisadores e de promover melhorias ao modelo e interface.

O primeiro ponto a ser levantado é que não foi possível realizar todas as simulações em um nível de detalhamento adequado. Isso se deve ao fato que o aprendizado para o correto uso da ferramenta TRANUS se mostrou mais demorado do que o planejado. Muitos dos parâmetros que o modelo exige não são calculados de forma intuitiva e rápida, obrigando os pesquisadores a procurarem em diversas literaturas o significado e modo de cálculo dessas variáveis.

Cumprir reiterar que alguns dos parâmetros são obtidos por tentativa e erro, procedimento que demanda um tempo considerável. Para contornar isso, várias pesquisas internacionais publicam procedimentos sobre como a calibragem no TRANUS deve ser realizada.

Entretanto, as calibrações recomendadas geralmente servem para apenas uma maneira de inserção de dados, que foi diferente da escolhida na pesquisa. Assim, para pesquisas futuras que utilizem essa ferramenta recomenda-se a procura de dados socioeconômicos que possam ser facilmente manuseados por alguma metodologia já definida.

Além disso, não existe um catálogo de erros indicando significado, possível causa e possível solução. A cada erro novo que surge no modelo é necessário realizar uma pesquisa no fórum oficial do TRANUS para entender melhor a situação. Sugere-se em pesquisas futuras, a montagem de um breve índice de erros mais comuns, com o intuito de agilizar o aprendizado.

Por ser um primeiro contato com o modelo e o tempo ser reduzido, optou-se por uma maior simplificação do sistema viário e das características do uso do solo. Graças a isso, o Cenário Base pôde ser calibrado a níveis aceitáveis com certa agilidade.

Essa redução, entretanto, gerou alguns empecilhos à pesquisa. A simplificação em apenas seis setores econômicos impediu uma avaliação precisa dos tipos de emprego e sua localização. É importante que os tipos de setores da economia agrupem um maior número de categorias, de acordo com suas características.

Além disso, a não discretização em mais tipos de solo, como área residencial, área comercial e área mista resultou em um aumento do trabalho para a etapa de calibragem.

Assim recomenda-se que para realizar uma análise mais precisa do uso solo seja usada alguma metodologia de classificação de imagens. O adequado uso de ferramentas GIS pode auxiliar não só a classificação do solo existente como prever as áreas mais prováveis de crescimento em um horizonte de tempo próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, J.; GARRY, G.; HUNT, J.; BROWNLEE, A. **Incremental Modeling Developments in Sacramento, California: Toward Advanced Integrated Land Use-Transport Model**. Transportation Research Record, v. 1898, n. 1, p. 108–113, 2004.
- ALLAN, G. J. **The Regional Economic Impacts of Biofuels: A Review of Multisectoral Modelling Techniques and Evaluation of Applications**. Regional Studies, v. 49, n. 4, p. 615–643, 2015.
- ANP; IBAMA; INMETRO; PETROBRAS; COPET. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>>.
- ARRUDA, F. S. **Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do uso e transportes no contexto brasileiro**. São Carlos, 2005. 199 f. Tese (Doutorado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- BANDEIRA, J. F. M. **Modelo de uso do solo de Aveiro: impacto na mobilidade e qualidade do ar**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. 2009.
- BHTRANS; BATES, J. **History of Demand Modelling**. Handbook of Transport Modelling, v. 1, 2007.
- CAPELLE, T.; STURM, P.; VIDARD, A.; MORTON, B. J. **Calibration of the Tranus land use module: Optimisation-based algorithms, their validation, and parameter selection by statistical model selection**. Computers, Environment and Urban Systems, 2016.
- CLAY, M. J. **Developing an integrated land-use/transportation model for small to medium-sized cities: Case study of Montgomery, Alabama**. Transportation Planning and Technology, v. 33, n. 8, p. 679–693, 2010.
- CODEPLAN. **Pesquisa metropolitana por amostra de domicílios - PMAD - 2013 Cidade Ocidental**. Brasília, 2013.
- _____. **Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF 2013**. p. 228, Brasília, 2014.

____. **Pesquisa distrital por amostra de domicílios - Distrito Federal - PDAD/DF 2015.** Brasília, 2016.

COSTA, L. **Memória Descritiva do Plano Piloto.** Brasília: ArPDF, CODEPLAN, DePHAN, 1995.

DFTRANS. **DFnoPonto.** 2018. Disponível em: <<https://www.sistemas.dftrans.df.gov.br/horarios/>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

ECHENIQUE, M. **Land use/transport models and economic assessment.** Research in Transportation Economics, v. 31, n. 1, p. 45–54, 2011.

ECHENIQUE, M. H.; FLOWERDEW, A. D. J.; HUNT, J. D.; MAYO, T. R.; SKIDMORE, I. J.; SIMMONDS, D. C. **The Meplan models of Bilbao, Leeds and Dortmund: Foreign summaries.** Transport Reviews, v. 10, n. 4, p. 309–322, 1990.

FEUDO, F. LO; MORTON, B.; CAPELLE, T.; PRADOS, E.; FEUDO, F. LO; MORTON, B.; CAPELLE, T.; PRADOS, E.; URBAN, M. **Modeling Urban Dynamics using LUTI Models : Calibration Methodology for the Transus-Based Model of the Grenoble Urban Region.** HKSTS 2017 - 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies. Hong Kong, 2017

GDF. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal: documento técnico Brasília Diário Oficial do Distrito Federal,** 1997. Disponível em: <<http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Diario/dc6e7e6b-7427-377b-b977-dbf40115ac07/035e8ab4.pdf>>

____. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal: documento técnico Brasília.** Diário Oficial do Distrito Federal, 2009. Disponível em: <http://www.segeth.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>

____. **Plano Diretor De Transporte Urbano E Mobilidade Do Distrito Federal – PDTU / DF Relatório Do Comitê De Revisão.** Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.segeth.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>>

GOOGLE. **Google Maps.** 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 11 mar. 2018

HENSHER, D. A.; BUTTON, K. J.; HAYNES, K. E. **Handbook of Transport Geography.** Third ed. Bingley: Emerald Group, 2008.

- IACONO, M.; LEVINSON, D.; EL-GENEIDY, A. **Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory**. Journal of Planning Literature, v. 22, n. 4, p. 323–340, 2008.
- IBGE. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=530010>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- IPEA/UNB/UFRJ. **Instrumentos de Planejamento e Gestão Urbana: Brasília e Rio de Janeiro**. Brasília, IPEA, 254p, 2002.
- KAKARAPARTHI, S. K.; KOCKELMAN, K. M. **An Application of UrbanSim to the Austin, Texas Region: Integrated-Model forecasts for the year 2030**. Journal of Urban Planning and Development, v. 137 (3), n. September, p. 238–247, 2011.
- KNEIB, E. C. **Subcentros urbanos: contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes**. Tese de Doutorado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2008.
- LA BARRA, T. DE. **Formulación matemática de TRANUS**. p. 54, 2012.
- LA BARRA, T. DE. **Modelación integrada de usos del suelo y transporte. Cadenas de decisión y jerarquías**. p. 1–201, 2014.
- LOWRY, I. S. **A model of metropolis**. Washington, Rand Corporation, 1964.
- MANKIW, N. G. **Introdução à economia**. São Paulo: Cengage, 2005.
- MCFADDEN, D. **Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side A 30-Year Retrospective. Travel behaviour research : the leading edge**, v. 2000, n. July, p. 17–64, 2001.
- MCFADDEN, D.; DOMENCICH, T. A. **Urban travel demand: A behavioral analysis**. 2. ed. New York: North-Holland Publishing Company, 1996. v. 10
- 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.

MIYAMOTO, K.; SATO, K.; TSUKAHARA, T.; OFFICIALS, H. **Significance and Uncertainty of Land-Use Model in Travel Demand Forecast: An Empirical Study With Transus Sapporo**. p. 3–6, 2000.

MODELÍSTICA. **TRANUS, Description General**. p. 1–36, 2011a.

____. **Programas Transus**, 2011b.

____. **Manual de usuario Interfaz Gráfica y Base de Datos de TRANUS - TUS**. n. 4, p. 83, 2012.

MORAES, A. C.. **Contribuições para a gestão costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Ed. Annablume, 2007.

MOURA, A. M. DE. **Planejamento Urbano & Planejamento de Transporte: uma relação desconexa?** Tese de Doutorado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2017.

MICROSOFT Office. Version 13. [S.l.]: Microsoft Corporation, 2013.

NGUYEN-LUONG, D. **An integrated land use- transport model for the Paris Region (SIMAURIF) : Ten lessons learned after four years of development**. Technical report, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France, Paris, 2008

OLIVEIRA, G. S. DE; ORRICO FILHO, R. D.; **Análise do consumo de combustível de ônibus urbano**. XVIII ANPET, 2004, Florianópolis. ANAIS DO XVIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. Florianópolis: Lagoa Editora, 2004. v. 2. p. 1479-1491.

ORTÚZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. **MODELLING TRANSPORT**. Fourth ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

PARR, J. B. **Overlooked Aspects of the von Thünen System**. *Spatial Economic Analysis*, v. 10, n. 4, p. 471–487, 2015.

PARTRIDGE, M. D.; RICKMAN, D. S. **Computable general equilibrium (CGE) modelling for regional economic development analysis**. *Regional Studies*, v. 44, n. 10, p. 1311–1328, 2010.

PEREIRA, L. DOS S. F.; OLIVEIRA, L. K. DE. **Metodologia para estimativa de fluxos de carga a partir de dados secundários: uma aplicação em Belo Horizonte**. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 4, p. 279–315, 2014.

- PESCATORI, C. **Cidade compacta e cidade dispersa, ponderações sobre o projeto do Alphaville Brasília.** Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, vol. 17, núm. 2, mayo-agosto, pp. 40-62, 2015.
- PEYER, S.; RAUTENBACH, D.; VYGEN, J. **A generalization of Dijkstra's shortest path algorithm with applications to VLSI routing.** Journal of Discrete Algorithms, v. 7, n. 4, p. 377–390, 2009.
- PUPIER, N. **Construction and Calibration of a Land-Use and Transport Interaction Model of a Brazilian City.** Conclusão de Curso ed. Stockholm: KTH Architecture and the Built Environment, 2013.
- QUANTUM GIS: Las Palmas.** Version 2.18.14. [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2018. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em: 08/01/2018.
- RODRIGUE, J.-P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems.** New York, Routledge, 2017.
- ROGER P. ROESS, ELENA S. PRASSAS, W. R. M. **Traffic engineering.** 2011.
- SEDHAB. **Quadro de Detalhamento da Situação Fundiária, Urbanística e Ambiental dos Parcelamentos.** p. 3–6, 2010.
- SEGETH. **GEOPORTAL.** 2018. Disponível em: <<https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/#>>. Acesso em: 23 fev. 2018.
- _____. **Diretrizes Urbanísticas: Região Sul/Sudeste.** Brasília: 2013.
- SIMMONDS, D. C. **The design of the DELTA land-use modelling package.** Environment and Planning B: Planning and Design, v. 26, n. 5, p. 665–684, 1999.
- SINGLETON, P. A. **A Theory of Travel Decision-Making with Applications for Modeling Active Travel Demand.** [s.l.] Portland State University 2013, 2013.
- TIMMERMANS, H. **The saga of integrated land use-transport modeling: how many more dreams before we wake up?**, Moving through nets: The physical and social dimensions of travel 10th International Conference on Travel Behaviour Research Lucerne, 10-15. August 2003

____. **Modelling land use and transportation dynamics: Methodological issues, state of the art, and applications in developing countries.** Discussion Paper Series Vol.2006-06 v. 2006, n. November 2006, p. 1–24, 2006.

TRANUS. Version 12.10.1. [S.l.]: Modelistica, 2012. Disponível em: <<http://www.tranus.com/tranus-english/download-install>>. Acesso em: 08 out. 2017

VANDERLEI, R. G. **Modelo Integrado e Uso do Solo e Transporte para o Aprimoramento das Previsões de Demanda: uma Aplicação do TRANUS em Brasília - DF.** Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília: UnB, 2016.

VELDHUISEN, J.; TIMMERMANS, H.; KAPOEN, L. **RAMBLAS: a regional planning model based on the microsimulation of daily activity travel patterns.** Environment and Planning A, v. 32, n. 3, p. 427–443, 2000.

WADDELL, P. **UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning.** Journal of the American Planning Association, v. 68, n. 3, p. 297–314, 2002.

WADDELL, P.; GUDMUNDUR. **Introduction to urban simulation: design and development of operational models.** International review for spatial planning and sustainable development, SPSD, v. 40, n. 3, p. 366, 2015.

WEGENER, M. **Overview of Land-Use Transport Models.** In: Hensher, D.A., Button, K.J. (Eds.): Transport Geography and Spatial Systems. Handbook 5 of Handbook in Transport. Kidlington, UK: Pergamon/Elsevier Science, p. 127-146, 2004.

____. **The IRPUD Model.** Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research, n. December, p. 1–56, 2011.

WERNECK, L. F. **Contribuição de um Modelo Luti para o Planejamento Integrado em Transportes e Uso do Solo na Região Metropolitana de Belo Horizonte.** Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 2015.

WU, C.; PEI, Y.; GAO, J. **Model for Estimation Urban Transportation Supply-Demand Ratio.** Mathematical Problems in Engineering, v. 2015, 2015.

YU, H. **A review of input–output models on multisectoral modelling of transportation–economic linkages.** Transport Reviews, v. 1647, n. November, p. 1–24, 2017.

ZHONG, M.; HUNT, J. D.; ABRAHAM, J. E. **Design and Development of a Statewide Land Use Transport Model for Alberta.** Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, v. 7, n. 1, p. 79–89, 2007.

ZIO, S. DI; MONTANARI, A.; STANISCIA, B. **Simulation of urban development in the City of Rome: Framework, methodology, and problem solving.** Journal of Transport and Land Use, v. 3, n. 2, p. 85–105, 2010.

Apêndice A – Tempos de Viagem entre Zonas

Tabela 27 – Tempos de viagem entre as zonas gerado pelo *Google Maps*

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3
Jardim ABC	0:00:00	0:40:00	0:38:45	0:33:45	0:46:15	0:50:00	0:45:00	0:40:00	0:51:15	0:50:00	0:11:15	0:25:00	0:22:30	0:27:30
São Sebastião 3	0:38:45	0:00:00	0:12:30	0:21:15	0:35:00	0:37:30	0:33:45	0:28:45	0:40:00	0:37:30	0:41:15	0:22:30	0:26:15	0:31:15
São Sebastião 2	0:38:45	0:12:30	0:00:00	0:13:45	0:26:15	0:30:00	0:25:00	0:20:00	0:32:30	0:30:00	0:41:15	0:22:30	0:26:15	0:36:15
São Sebastião 1	0:33:45	0:25:00	0:16:15	0:00:00	0:18:45	0:22:30	0:17:30	0:12:30	0:23:45	0:22:30	0:36:15	0:17:30	0:21:15	0:35:00
Jardim Botânico 1	0:43:45	0:33:45	0:25:00	0:18:45	0:00:00	0:18:45	0:20:00	0:12:30	0:23:45	0:18:45	0:46:15	0:27:30	0:31:15	0:45:00
Jardim Botânico 2	0:47:30	0:37:30	0:28:45	0:22:30	0:16:15	0:00:00	0:17:30	0:18:45	0:31:15	0:26:15	0:50:00	0:31:15	0:35:00	0:48:45
Jardim Botânico 3	0:43:45	0:32:30	0:23:45	0:17:30	0:17:30	0:18:45	0:00:00	0:15:00	0:27:30	0:22:30	0:46:15	0:26:15	0:30:00	0:43:45
Lago Sul 2	0:38:45	0:28:45	0:20:00	0:12:30	0:12:30	0:18:45	0:16:15	0:00:00	0:15:00	0:16:15	0:41:15	0:21:15	0:26:15	0:38:45
Lago Sul 1	0:48:45	0:38:45	0:30:00	0:23:45	0:25:00	0:31:15	0:28:45	0:16:15	0:00:00	0:12:30	0:51:15	0:32:30	0:36:15	0:50:00
Plano Piloto	0:46:15	0:36:15	0:27:30	0:20:00	0:17:30	0:25:00	0:21:15	0:15:00	0:13:45	0:00:00	0:48:45	0:28:45	0:32:30	0:46:15
DF-140 4	0:11:15	0:42:30	0:40:00	0:35:00	0:47:30	0:51:15	0:47:30	0:42:30	0:53:45	0:51:15	0:00:00	0:27:30	0:23:45	0:28:45
DF-140 1	0:25:00	0:21:15	0:21:15	0:16:15	0:28:45	0:32:30	0:27:30	0:22:30	0:33:45	0:31:15	0:27:30	0:00:00	0:11:15	0:27:30
DF-140 2	0:20:00	0:25:00	0:25:00	0:18:45	0:32:30	0:36:15	0:31:15	0:26:15	0:37:30	0:35:00	0:22:30	0:11:15	0:00:00	0:23:45
DF-140 3	0:27:30	0:31:15	0:36:15	0:33:45	0:46:15	0:50:00	0:45:00	0:40:00	0:51:15	0:48:45	0:30:00	0:27:30	0:23:45	0:00:00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 28 – Tempos de viagens entres as zonas gerados pelos TRANUS Cenário 15A

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3
Jardim ABC	0:00:00	0:48:00	0:50:24	0:48:00	1:00:00	0:59:24	0:55:12	0:58:12	1:07:12	1:10:48	0:01:48	0:24:00	0:19:48	0:22:12
São Sebastião 3	0:46:12	0:00:00	0:08:24	0:22:12	0:36:36	0:36:00	0:27:36	0:33:00	0:40:12	0:44:24	0:43:48	0:16:48	0:30:00	0:31:48
São Sebastião 2	0:48:00	0:07:12	0:00:00	0:12:36	0:29:24	0:30:00	0:16:48	0:22:12	0:31:12	0:34:48	0:43:48	0:21:00	0:30:00	0:38:24
São Sebastião 1	0:44:24	0:18:36	0:10:48	0:00:00	0:13:48	0:12:36	0:06:00	0:10:48	0:18:36	0:22:48	0:40:12	0:17:24	0:23:24	0:37:48
Jardim Botânico 1	0:55:12	0:33:00	0:27:00	0:13:12	0:00:00	0:04:12	0:06:00	0:07:48	0:19:12	0:21:00	0:51:00	0:30:36	0:39:00	0:49:48
Jardim Botânico 2	0:55:48	0:33:00	0:27:36	0:12:00	0:04:12	0:00:00	0:02:24	0:10:12	0:21:00	0:19:48	0:51:36	0:28:48	0:34:12	0:48:36
Jardim Botânico 3	0:52:12	0:24:36	0:15:00	0:05:24	0:06:00	0:02:24	0:00:00	0:09:36	0:18:36	0:20:24	0:45:36	0:25:12	0:33:36	0:45:00
Lago Sul 2	0:54:00	0:28:12	0:19:48	0:09:36	0:08:24	0:10:12	0:09:00	0:00:00	0:10:12	0:16:12	0:49:48	0:28:12	0:36:36	0:46:12
Lago Sul 1	1:02:24	0:34:12	0:27:36	0:16:12	0:18:00	0:19:48	0:17:24	0:09:36	0:00:00	0:13:48	0:58:12	0:36:00	0:45:00	0:54:00
Plano Piloto	1:04:12	0:37:48	0:30:00	0:19:12	0:18:36	0:17:24	0:18:00	0:13:48	0:12:00	0:00:00	1:00:00	0:39:00	0:46:48	0:57:00
DF-140 4	0:01:48	0:45:00	0:45:36	0:43:12	0:55:12	0:54:36	0:49:48	0:53:24	1:03:00	1:06:00	0:00:00	0:26:24	0:14:24	0:17:24
DF-140 1	0:21:36	0:16:48	0:21:36	0:18:36	0:33:00	0:31:12	0:27:36	0:31:12	0:39:36	0:43:48	0:24:36	0:00:00	0:08:24	0:19:48
DF-140 2	0:18:36	0:30:36	0:30:36	0:25:12	0:40:48	0:37:12	0:36:00	0:39:00	0:45:36	0:51:36	0:13:12	0:08:24	0:00:00	0:15:36
DF-140 3	0:21:00	0:33:36	0:40:48	0:41:24	0:54:00	0:52:12	0:48:00	0:50:24	0:59:24	1:04:48	0:16:48	0:21:36	0:16:12	0:00:00

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice B – Matrizes Origem/Destino

Tabela 29 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 15A

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3	Total
Jardim ABC	0	180	274	146	33	7	55	204	124	3331	3	7	7	3	4373
São Sebastião 3	142	0	753	379	90	17	143	544	317	7944	6	20	18	7	10380
São Sebastião 2	210	726	0	566	131	25	211	808	472	12507	9	29	27	9	15730
São Sebastião 1	110	367	569	0	68	13	115	415	240	6343	5	16	14	5	8280
Jardim Botânico 1	41	142	213	111	0	5	45	165	96	2770	2	6	6	2	3603
Jardim Botânico 2	8	27	42	22	5	0	9	32	19	531	0	1	1	0	698
Jardim Botânico 3	69	237	361	192	45	9	0	279	162	4312	3	10	9	3	5693
Lago Sul 2	64	218	343	176	45	9	73	0	161	4560	3	9	9	3	5673
Lago Sul 1	38	131	201	106	26	5	43	162	0	2735	2	6	5	2	3459
Plano Piloto	851	2787	4417	2272	573	108	916	3439	2057	0	43	128	120	38	17750
DF-140 4	3	10	15	8	2	0	3	11	7	205	0	0	0	0	265
DF-140 1	9	34	50	26	6	1	10	36	21	561	0	0	1	0	757
DF-140 2	8	29	44	23	6	1	9	34	20	554	0	1	0	0	730
DF-140 3	3	10	14	8	2	0	3	10	6	183	0	0	0	0	240
Total	1558	4897	7296	4035	1031	201	1636	6139	3703	46535	77	234	218	72	77631

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 30 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 20A

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3	Total
Jardim ABC	0	418	640	338	142	15	119	648	416	9078	11	18	16	11	11869
São Sebastião 3	225	0	1163	594	264	26	219	1236	721	15714	19	31	28	19	20259
São Sebastião 2	349	1171	0	926	400	40	338	1911	1065	24317	30	46	44	28	30664
São Sebastião 1	182	597	934	0	209	21	182	989	575	12502	15	25	22	16	16268
Jardim Botânico 1	56	188	287	148	0	7	58	319	185	4228	5	8	7	5	5500
Jardim Botânico 2	11	36	55	28	13	0	11	61	35	803	1	1	1	1	1059
Jardim Botânico 3	89	306	467	246	108	11	0	522	301	6895	8	13	12	8	8984
Lago Sul 2	150	493	772	396	179	18	156	0	512	11010	13	21	19	12	13751
Lago Sul 1	90	298	458	237	106	11	91	513	0	6624	8	12	12	7	8467
Plano Piloto	711	2326	3592	1845	824	84	725	3948	2392	0	61	95	92	56	16750
DF-140 4	24	73	112	60	25	3	22	122	75	1604	0	3	3	2	2127
DF-140 1	71	233	351	183	81	8	67	385	209	4350	6	0	9	6	5958
DF-140 2	65	210	323	167	71	7	59	343	204	4482	5	9	0	5	5951
DF-140 3	22	73	107	60	25	2	21	111	66	1421	2	3	3	0	1917
Total	2045	6421	9262	5228	2446	253	2067	11108	6756	103028	184	28 4	268	175	14952 5

.Fonte: Elaboração própria.

Tabela 31 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25A

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3	Total
Jardim ABC	0	513	784	402	342	18	139	1214	676	12509	27	21	20	26	16691
São Sebastião 3	210	0	1079	541	464	23	200	1619	942	17239	34	30	26	35	22441
São Sebastião 2	320	1096	0	853	704	36	311	2524	1371	26880	54	44	41	55	34290
São Sebastião 1	169	557	870	0	375	19	168	1329	767	13882	28	23	21	28	18237
Jardim Botânico 1	50	167	255	132	0	6	52	418	238	4701	8	7	6	8	6050
Jardim Botânico 2	10	32	49	25	22	0	10	80	45	889	2	1	1	2	1168
Jardim Botânico 3	79	271	415	218	187	10	0	684	388	7890	14	11	10	14	10191
Lago Sul 2	206	671	1052	545	475	25	214	0	1022	18474	34	29	26	34	22808
Lago Sul 1	121	407	624	322	280	15	125	1036	0	11190	21	17	16	20	14193
Plano Piloto	392	1327	2050	1067	922	49	423	3331	2006	0	67	56	53	65	11808
DF-140 4	39	122	184	97	82	4	36	299	181	3287	0	5	5	6	4349
DF-140 1	119	384	580	292	253	13	107	929	490	9385	19	0	15	20	12605
DF-140 2	109	349	534	262	232	12	96	825	449	8623	18	15	0	18	11541
DF-140 3	38	120	190	98	79	4	35	288	161	3051	6	5	5	0	4082
Total	1861	6018	8668	4855	4417	235	1916	14577	8736	138000	333	265	246	329	19045 4

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 32 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25B

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3	Total
Jardim ABC	0	514	785	414	344	18	144	1217	726	13558	27	22	20	26	17814
São Sebastião 3	207	0	1081	543	468	24	204	1641	957	17472	35	29	26	35	22723
São Sebastião 2	320	1095	0	854	712	37	316	2549	1392	27149	53	44	41	53	34614
São Sebastião 1	169	558	869	0	379	19	169	1334	771	14083	28	23	21	27	18451
Jardim Botânico 1	50	167	255	132	0	6	52	418	239	4705	8	7	6	8	6053
Jardim Botânico 2	10	32	49	25	22	0	10	80	45	890	2	1	1	2	1169
Jardim Botânico 3	79	272	415	219	187	10	0	685	389	7897	14	11	10	14	10202
Lago Sul 2	206	670	1053	542	475	25	214	0	1023	18500	34	29	26	34	22831
Lago Sul 1	123	406	623	323	280	15	126	1037	0	11201	20	17	16	20	14205
Plano Piloto	401	1323	2044	1056	923	50	424	3331	2005	0	67	57	51	64	11796
DF-140 4	39	120	185	97	81	4	36	300	178	3201	0	5	5	6	4258
DF-140 1	117	388	587	302	256	13	109	940	525	9856	20	0	15	20	13147
DF-140 2	109	346	533	276	233	12	97	849	461	8892	18	15	0	18	11858
DF-140 3	38	122	182	95	84	4	35	304	169	3063	6	5	5	0	4111
Total	1867	6012	8662	4876	4445	236	1935	14685	8879	140467	332	267	244	326	19323 2

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 33 - Matriz Origem/Destino de total de viagens Cenário 25C

	Jardim ABC	São Sebastião 3	São Sebastião 2	São Sebastião 1	Jardim Botânico 1	Jardim Botânico 2	Jardim Botânico 3	Lago Sul 2	Lago Sul 1	Plano Piloto	DF-140 4	DF-140 1	DF-140 2	DF-140 3	Total
Jardim ABC	0	849	1303	685	574	29	248	2024	1237	10709	54	60	60	107	17940
São Sebastião 3	353	0	1801	908	787	39	331	2781	1621	13995	70	80	80	143	22990
São Sebastião 2	540	1813	0	1430	1197	60	520	4303	2381	21654	107	119	122	221	34465
São Sebastião 1	285	934	1443	0	632	32	274	2250	1304	11256	57	63	64	113	18706
Jardim Botânico 1	86	283	434	225	0	10	85	712	412	3824	17	20	20	35	6162
Jardim Botânico 2	17	55	84	43	38	0	17	136	78	727	3	4	4	7	1212
Jardim Botânico 3	140	463	709	371	319	17	0	1173	671	6375	28	32	32	58	10387
Lago Sul 2	354	1160	1789	926	813	41	352	0	1751	15191	71	81	82	145	22759
Lago Sul 1	212	698	1058	556	478	24	208	1763	0	9157	43	48	49	85	14377
Plano Piloto	700	2285	3523	1803	1594	81	700	5702	3444	0	140	159	166	280	20578
DF-140 4	45	142	219	114	96	5	41	341	210	1824	0	10	10	18	3076
DF-140 1	135	444	674	345	295	15	125	1082	613	5450	27	0	30	56	9290
DF-140 2	125	402	617	317	274	13	112	995	550	4829	25	28	0	51	8338
DF-140 3	43	137	206	109	96	5	38	348	202	1766	9	10	10	0	2978
Total	3036	9665	13859	7831	7193	371	3052	23610	14476	106756	652	714	728	1318	193261

Fonte: Elaboração própria.