



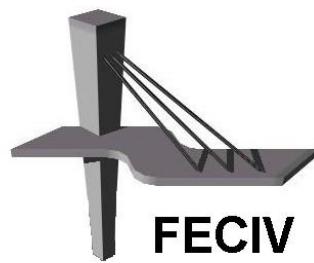
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTIMATIVA DA POLUIÇÃO EMITIDA PELOS  
ÔNIBUS DE LINHAS TRONCAIS DA CIDADE DE  
UBERLÂNDIA, MG**

**MELISSA MARIANA FERREIRA SILVA**

**UBERLÂNDIA, 09 DE MARÇO DE 2016**



**FECIV**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**Melissa Mariana Ferreira Silva**

**ESTIMATIVA DA POLUIÇÃO EMITIDA PELOS  
ÔNIBUS DAS LINHAS TRONCAIS DA CIDADE DE  
UBERLÂNDIA, MG**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. José Aparecido Sorratini**

Uberlândia, 09 de março de 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S586e      Silva, Melissa Mariana Ferreira, 1991-  
2016      Estimativa da poluição emitida pelos ônibus das linhas troncais da  
                cidade de Uberlândia, MG / Melissa Mariana Ferreira Silva. - 2016.  
                78 f. : il.

Orientador: José Aparecido Sorratini.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Transportes coletivos - Teses. 3.  
Transporte urbano - Aspectos ambientais - Uberlândia - Teses. 4.  
Transporte urbano - Uberlândia - Teses. I. Sorratini, José Aparecido. II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ATA Nº: 154/2016

**CANDIDATO:** Melissa Mariana Ferreira Silva

**Nº. Matrícula:** 11412ECV016

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. José Aparecido Serratini

**TÍTULO:** "Estimativa da poluição emitida pelos ônibus de linhas troncais da cidade de Uberlândia/MG".

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**LINHA DE PESQUISA:** Planejamento e Infraestrutura Urbana e de Transportes

**PROJETO DE PESQUISA:** Modelagem e Avaliação de Sistemas de Transportes

**DATA DA DEFESA:** 09 de março de 2016

**LOCAL:** Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvea, bloco 1Y.

**HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO:** 08h45 - 11h10

Reuniu-se na **Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvea, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGEC, assim composta: Professores Doutores: **José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU; Gustavo Peixoto Silva – ICEB/UFOP e José Aparecido Serratini** orientador da candidata. Ressalta-se que o **Prof. Dr. Gustavo Peixoto Silva** participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Ouro Preto (MG) e os demais membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Dr. José Aparecido Serratini** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou a candidata APROVADA. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

José A. Serratini

Professor Orientador: **Prof. Dr. José Aparecido Serratini – FECIV/UFU**

Maria Lúcia

Membro externo: **Prof. Dr. Gustavo Peixoto Silva – ICEB/UFOP**

José Eduardo Alamy Filho

Membro interno: **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU**

Uberlândia, 09 de MARÇO de 2016.

# **A GRADECIMENTOS**

---

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para o êxito do meu trabalho.

À Deus por estar sempre presente na minha vida, guiando meus passos.

Aos meus pais, Carlos Alberto e Rosângela Maria, pelo amor incondicional, ensinamentos, conselhos e suporte. À minha irmã, Clarissa Vitória, pelo amor, companheirismo e cumplicidade. Mesmo longe vocês foram essenciais.

Aos meus tios e primos (mesmo os postiços) pela torcida, orações, momentos de diversão e compreensão nas minhas ausências.

À todos os meus amigos, os que estão distante fisicamente e os de Uberlândia, que me foram proporcionados por eu ter feito a graduação e o mestrado na UFU. Obrigada pela amizade e por dividir também a família de vocês quando a minha estava longe.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. José Aparecido Sorratini, pela disponibilidade, orientação e oportunidades desde a graduação. Aos professores Dra. Camilla Carrara, Dr. José Alamy Filho e Dr. Gustavo Peixoto Silva (ICEB/UFOP) pelos contributos na qualificação e defesa da dissertação. Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da FECIV-UFU que contribuíram com conhecimentos ou informações.

Aos colegas do PPGEC que nas disciplinas cursadas ou nas conversas de corredor fizeram parte desta fase da minha vida. Às colegas e amigas Laila, Lorena e Karoline pelo apoio quando precisei. Às colegas Vanilze e Rosângela que foram uma ponte para que eu conseguisse muitos dados junto a Prefeitura Municipal de Uberlândia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudo que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. E à FAPEMIG pelo auxílio financeiro para participação no 29º Congresso da Anpet.

**SILVA, M. M. F.** Estimativa da poluição emitida pelos ônibus de linhas troncais da cidade de Uberlândia, MG. 78 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

## RESUMO

---

O transporte de pessoas e de mercadorias contribui na deterioração do meio ambiente nos centros urbanos, associado à geração de alguma forma de poluição, seja atmosférica, sonora, do solo e da água ou intrusão visual. Os veículos pesados, que utilizam óleo diesel como combustível, são os principais responsáveis pela emissão de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e material particulado (MP), contribuindo para a participação do setor de transportes na poluição atmosférica. Além disso, há a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e o seu principal componente, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Na maioria das grandes cidades, o transporte coletivo por ônibus é muitas vezes considerado uma alternativa menos poluente comparada aos veículos particulares, tendo em vista o potencial de reduzir, por passageiro, as emissões de GEE e poluentes atmosféricos. A área de estudo foi a cidade de Uberlândia e os objetos de estudo foram as linhas troncais do Sistema Integrado de Transporte (SIT). Foram quantificadas as emissões de  $\text{NO}_x$ , MP e  $\text{CO}_2$  por meio da abordagem *bottom-up* em que foi utilizado o trajeto de cada linha de ônibus e também o consumo de combustível obtido por meio de simulação no *software* TSIS. O *software* possui algumas limitações quanto aos resultados e não informa no relatório a emissão de poluentes por ônibus, além de não se poder alterar especificações quanto ao combustível utilizado na frota. Com os resultados obtidos nos cálculos de emissões de poluentes e GEE pela abordagem *bottom-up* observou-se que, ao utilizar o consumo de combustível obtido em simulação, a emissão resultou maior que ao utilizar a distância. Conclui-se, também, que levando em conta os combustíveis e as distâncias percorridas há uma redução nas emissões ao se utilizar o etanol quando comparadas ao óleo diesel.

**Palavras-chave:** Transporte coletivo por ônibus, emissão de poluentes, TSIS, simulação, Uberlândia.

**SILVA, M. M. F.** Estimation of pollution emitted by buses in trunk lines of the city of Uberlândia, MG, Brazil. 78 p. MSc. Thesis, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2016.

## ABSTRACT

---

The transport of people and goods contributes to the deterioration of the environment in urban areas because of the generation of pollution, such as, air, noise, soil, water or visual degradation. The heavy vehicles that use diesel as fuel are mainly responsible for the emission of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) and particulate matter (PM), contributing to participation of the transport sector in air pollution. In addition, there is emission of Greenhouse Gas (GHG) whose main component is carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ). In most major cities, public transportation is often considered as a less polluting alternative compared to the private vehicle, in view of the potential to reduce, per passenger, the emissions of GHG and air pollutants. The study area was the city of Uberlândia and the objects of study were the trunk lines of the Sistema Integrado de Transporte (SIT). The emissions of  $\text{NO}_x$ , PM and  $\text{CO}_2$  were estimated through the bottom-up approach which used the route of each bus line and also fuel consumption obtained through simulation from the TSIS software. The software has some result limitations, there are no report about the emission of pollutants by bus, and it is not able to change specifications for the fuel used by the fleet. The results obtained through calculations of pollutants and GHG emission by the bottom-up approach show that the emission is higher when using fuel comsuption obtained in simulation than using distance. For the results considering fuel and distance there was a reduction in emissions comparing ethanol and diesel.

**Keywords:** Public transportation by bus, pollutant's emissions, TSIS, simulation, Uberlândia.

# SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

---

## SÍMBOLOS

CH<sub>4</sub> – Metano  
CO – Monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
dB – Decibel  
F – Número de veículos  
HC – Hidrocarbonetos  
km – Quilômetro  
kW – Quilowatt  
m – Metro  
NO<sub>2</sub> – Dióxido de Nitrogênio  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio  
O<sub>3</sub> – Ozônio (Oxidante Fotoquímico)  
S – Enxofre  
SO<sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre

## SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social  
CNT – Confederação Nacional do Transporte  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito  
COV – Compostos Orgânicos Voláteis  
EPA – Agência de Proteção Ambiental dos EUA  
EU – União Europeia  
EUA – Estados Unidos da América  
FHWA – *Federal Highway Administration*  
GEE – Gases do Efeito Estufa  
GNV – gás natural veicular  
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
MERCOSUL – Mercado Comum do Sul  
MG – Minas Gerais  
MP – Material Particulado  
NMHC – Hidrocarbonetos não-metano  
OSL – Ordem de Serviço da Linha  
PBT – Peso Bruto Total  
PMU – Prefeitura Municipal de Uberlândia  
PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores  
PTS – Partículas Totais em Suspensão  
SIT – Sistema Integrado de Transporte  
TSIS – *Traffic Software Integrated System*

# **LISTA DE FIGURAS**

---

Figura 1 – Emissão de poluentes por categoria de veículos, 2012 .....	20
Figura 2 – Emissões de CO <sub>2</sub> por categoria de veículo, 2012 .....	23
Figura 3 – Mapa das linhas troncais da cidade de Uberlândia .....	41
Figura 4 – Características e especificações de cada veículo .....	44
Figura 5 – Rede para inserção dos trajetos das linhas T131 e T132 na ferramenta TRAFED do TSIS .....	45
Figura 6 – Trajetos das linhas T131 (em azul) e T132 (em amarelo) na ferramenta TRAFVU do TSIS .....	46
Figura 7 – Gráfico de comparação entre as emissões de CO <sub>2</sub> obtidas por meio da distância percorrida e do consumo de combustível .....	53
Figura 8 – Gráfico de comparações entre as emissões de CO <sub>2</sub> obtidas com ônibus a óleo diesel e a etanol.....	55
Figura 9 – Gráfico de comparação entre as emissões de NO <sub>x</sub> obtidas com ônibus a óleo diesel e a etanol.....	55

# **LISTA DE QUADROS**

---

Quadro 1 – Poluentes atmosféricos: características e fontes de emissão .....	19
Quadro 2 – Efeitos sobre à saúde e ao meio ambiente provocados por poluição atmosférica .....	21
Quadro 3 – Ferramentas do <i>TSIS</i> e seus empregos.....	36

# **L**I**S**T*A* DE **T**ABE*L*AS

---

Tabela 1 – Limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores.....	24
Tabela 2 – Valores de concentrações estipulados pela OMS .....	26
Tabela 3 – Padrões nacionais de qualidade do ar .....	27
Tabela 4 – Padrão de qualidade do ar ambiente em vigor nos Estados Unidos .....	28
Tabela 5 – Padrão de qualidade do ar – Europa .....	29
Tabela 6 – Limites de emissões ao longo das fases do Proconve – veículos pesados.....	31
Tabela 7 – Extensão e tempo de viagem de cada linha troncal .....	42
Tabela 8 – Fatores de emissões de poluentes atmosféricos MP e NO <sub>x</sub> e o GEE CO <sub>2</sub> para o modo rodoviário e por tipo de combustível.....	47
Tabela 9 – Emissão de CO <sub>2</sub> , MP e NO <sub>x</sub> em uma viagem das linhas de ônibus.....	51
Tabela 10 – Emissão de CO <sub>2</sub> , MP e NO <sub>x</sub> em um ano.....	51
Tabela 11 – Emissão de CO <sub>2</sub> obtido a partir do consumo de combustível na simulação no TSIS .....	53
Tabela 12 – Emissão de CO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> com etanol como combustível .....	54

# SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 MODO DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO: ÔNIBUS .....	15
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS SISTEMAS DE TRANSPORTES.....	16
2.2.1 Poluição atmosférica .....	18
2.2.2 Emissões de gases de efeito estufa .....	22
2.2.3 Poluição sonora .....	23
2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR AMBIENTE.....	25
2.4 MEDIDAS MITIGADORAS .....	30
2.5 MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DE POLUENTES .....	33
2.5.1 Abordagem bottom-up.....	34
2.5.2 Programa Computacional Traffic Software Integrated System – TSIS .....	36
2.6 ESTADO DA ARTE .....	37
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	39
3.2 ESTRUTURA E METODOLOGIA DA PESQUISA .....	42
3.2.1 Elaboração e configuração da rede.....	43

3.3 PROCEDIMENTO TEÓRICO .....	46
3.3.1 Abordagem bottom-up utilizando a distância percorrida .....	47
3.3.2 Abordagem bottom-up utilizando consumo de combustível .....	48
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE 3.....</b>	<b>69</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

O processo de urbanização do Brasil teve início na primeira metade do século XX e foi acompanhado pelo crescimento desordenado da indústria e do êxodo rural. Na segunda metade do século, o processo se acelerou e os modos de transportes tiveram significativa contribuição para a expansão das cidades e o deslocamento nos centros urbanos. As consequências geradas são: congestionamentos, crescimento dos níveis de motorização, aumento dos problemas de saúde e deterioração da segurança e do meio ambiente das áreas centrais (FERNANDES, 2014).

Dentre as consequências, a deterioração do meio ambiente está vinculada a todos os tipos de poluição. E o transporte de pessoas e de mercadorias sempre esteve associado à geração de alguma forma de poluição, seja atmosférica, sonora, do solo ou pela intrusão visual nos centros urbanos, independente da modalidade predominante (CARVALHO, 2011). Na época do transporte com tração animal, nos centros urbanos havia sujeira e mau cheiro devido ao excesso de dejetos animais nas vias. Com o transporte motorizado e carbonizado, os diferentes níveis de poluição nas cidades são condicionados pelo nível de organização e controle das atividades dos transportes privado, público e de cargas e a intensidade de utilização do transporte individual pela população.

O transporte motorizado que utiliza a energia gerada pela queima de combustíveis fósseis é um dos grandes responsáveis pelo aumento da concentração de gases na atmosfera e pela queda da qualidade do ar nos centros urbanos. São resíduos emitidos na atmosfera pelos escapamentos dos veículos (poluição atmosférica), ruídos gerados pelos veículos (poluição sonora) e degradação da paisagem urbana (intrusão visual) que interferem na qualidade de vida e na saúde da população.

Segundo Brasil (2011), os fatores que influenciam as emissões de veículos são tecnologia do motor, porte e tipo de uso do veículo, idade do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação de combustível, tipo e qualidade do combustível, condições de manutenção e condução, além de fatores meteorológicos (pressão e temperatura ambientes).

O que ocorre com frequência é a associação da poluição nas ruas da cidade com a quantidade de veículos, incluindo a circulação dos veículos pesados e velhos. Em geral, esses veículos emitem mais material particulado, poluente mais visível no ambiente urbano, que os demais veículos. Segundo Carvalho (2011), no caso do transporte de passageiros, por exemplo, um ônibus que transporta 75 pessoas equivale a 50 automóveis nas ruas, deslocando-se com uma ocupação média de 1,5 pessoas por veículo, o que gera uma poluição por passageiro transportado muito menor no caso do transporte coletivo. Segundo Gallo (2016), na Região Metropolitana de São Paulo foram colocadas 48 pessoas em 40 automóveis, cuja ocupação média é de 1,2 pessoa por veículo, e concluiu-se que os automóveis ocupam 17 vezes mais o espaço na rua que um ônibus para transportar o mesmo número de pessoas.

Os veículos pesados são os grandes responsáveis pela participação do setor de transporte na poluição atmosférica, desempenham um papel importante para a sociedade na área de transportes de bens e materiais e são utilizados, basicamente, para o transporte de carga, em caminhões, e de passageiros, em ônibus (FIORAVANTE; DUTRA; FIGUEIREDO, 2009). Devido à grande utilização e funcionamento com óleo diesel, eles deterioram a qualidade do ar.

A poluição veicular é classificada em função da abrangência dos impactos causados pelos seus principais poluentes, que podem ser locais ou globais. Os poluentes locais causam impactos na área de entorno por onde é realizado o serviço de transporte e são os ruídos gerados pelos motores dos veículos e a fuligem expelida pelos escapamentos que se acomodam nas ruas, nos passeios e nas fachadas dos imóveis. São, ainda, os poluentes que se deslocam de uma região para outra pelas correntes de ar, no caso de gases que causam a chuva ácida e a formação de uma névoa densa devido à grande concentração de ozônio ( $O_3$ ) no ar. Os poluentes globais são gases que são expelidos para a atmosfera e impactam todo o planeta pelo aquecimento global, no caso da emissão de Gases de Efeito Estufa

(GEE). O principal poluente nesta categoria é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEE (CARVALHO, 2011).

Segundo Carvalho (2011) os ônibus (veículo automotor de transporte coletivo), que utilizam óleo diesel para o funcionamento são, muitas vezes, menos poluentes, do ponto de vista de emissão de GEE e de poluentes atmosféricos, do que viagens por automóvel e motocicleta. Isso se deve ao fato do transporte coletivo ter o potencial de reduzir as emissões por passageiro (ALAM; HATZOPPOULOU, 2014). No entanto, a mudança para um sistema de transporte público de baixa emissão é um desafio (NANAKI *et al.*, 2014).

Atualmente, a preservação ambiental é uma preocupação mundial. Busca-se, então, implementar políticas internacionais, nacionais, regionais e locais que visam à redução de práticas que venham degradar os recursos naturais (LEAL JUNIOR, 2010). Por isso, o poder público encontra alternativas, mediante assinatura de protocolos, proposição de legislação e acordos, para que ocorra a diminuição de emissão de poluentes e materiais nocivos à natureza. Ao mesmo tempo surgem estudos que visam o desenvolvimento econômico sustentável.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi estimar a emissão de poluentes por ônibus urbanos que compõem as linhas troncais do Sistema Integrado de Transporte (SIT) da cidade de Uberlândia, MG.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar o desempenho de simulador de tráfego TSIS (Traffic Software Integrated System) e a abordagem *bottom-up* na quantificação de alguns poluentes emitidos por ônibus urbanos;
- Comparar as emissões de poluentes emitidos pelo combustível utilizado na frota atual e combustíveis alternativos, como o etanol e o biodiesel;

## 1.2 Justificativa

O transporte público é importante para a sociedade, pois sua utilização é livre a qualquer cidadão que pague a tarifa e garante a locomoção de quem não dispõe de veículo privado ou não pode dirigir, além de se apresentar como alternativa de transporte para reduzir o número de viagens individuais no modo privado. Apesar dessa importância, apresenta efeitos ambientais negativos no meio urbano, o que justifica o conteúdo deste trabalho.

Os ônibus, veículos utilizados no transporte público, emitem poluentes durante as operações que não são monitoradas. Por isso, uma estimativa das emissões é necessária para que se saiba os níveis de poluição no meio urbano, para que possam ser tomadas medidas que visem a proteção da saúde dos habitantes e melhora da qualidade do ar ambiente.

## 1.3 Estrutura do trabalho

Esse trabalho está dividido em cinco capítulos:

- Capítulo 1: apresenta a introdução, com uma síntese da poluição dos transportes no meio ambiente e os objetivos do trabalho.
- Capítulo 2: apresenta uma revisão bibliográfica sobre impactos ambientais causados pelos transportes, padrões de qualidade do ar, medidas mitigadoras, métodos para quantificar a poluição e um breve estado da arte sobre a emissão de poluentes.
- Capítulo 3: apresenta a metodologia utilizada no trabalho bem como a área de estudo.
- Capítulo 4: apresenta os resultados obtidos com uma breve discussão.
- Capítulo 5: são apresentadas as conclusões obtidas no trabalho.

## CAPÍTULO 2

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica constitui uma apresentação dos impactos ambientais causados por sistema de transportes, sobretudo o modo de transporte coletivo por ônibus, os diferentes tipos de poluição e poluentes, os padrões de qualidade do ar ambiente, as medidas mitigadoras, os métodos para quantificar e avaliar a poluição devido ao tráfego de veículos e um breve estado da arte sobre a emissão de poluentes.

### **2.1 Modo de transporte rodoviário: ônibus**

O transporte rodoviário é o mais usado nas cidades por ser de simples concepção, servir para distâncias curtas e requerer menor investimento para o transporte de volumes pequenos e médios de passageiros e cargas (D'AGOSTO, 2015). As vias são as ruas e avenidas e os veículos são os motorizados que se distinguem de acordo com a finalidade:

- Passageiros – ciclomotor, motoneta, motocicleta, automóvel, micro-ônibus e ônibus;
- Cargas – caminhonete, caminhão, caminhão-trator, reboque e semirreboque;
- Mistos – camioneta e utilitário.

Neste trabalho, o foco é o transporte coletivo urbano composto por ônibus, que é o veículo automotor com capacidade para mais de vinte passageiros (BRASIL, 1997). A maioria dos ônibus brasileiros é constituída de chassi e carroceria. O chassi suporta o peso da carroceria e dos componentes do veículo e a carroceria é destinada aos passageiros e ao motorista do veículo (D'AGOSTO, 2015). O terminal de passageiros é o local utilizado para embarque e desembarque de pessoas, podendo ser os pontos de ônibus, que são paradas ao longo da via, ou os terminais de ônibus, que são locais em que há integração física de passageiros.

Os ônibus têm motor de combustão interna de ignição por compressão em sistema de propulsão convencional ou híbrido e usam como combustível o óleo diesel, um produto resultante do refino do petróleo. É uma fonte convencional de energia, pois é utilizado na maior parte da frota de veículos de uma região.

Segundo D'Agosto (2015), as fontes alternativas que podem ser utilizadas como combustíveis para os ônibus são:

- Óleo diesel – processo petroquímico ou sínteses a partir de gás natural ou carvão mineral; síntese a partir de biomassa; inclui óleo diesel com baixo teor de enxofre;
- Óleos vegetais – extração de óleo a partir de biomassa oleaginosa;
- Biodiesel – conversão de óleo obtido a partir de biomassa oleaginosa.

Os óleos vegetais e o biodiesel são combustíveis biodegradáveis derivados de fontes renováveis, em que as reações químicas de óleos ou gorduras de origem vegetal são realizadas com álcool na presença de um catalisador (CNT, 2012). Apesar dos combustíveis alternativos emitirem menos poluentes que os combustíveis fósseis, nos ônibus não são usados por causa das limitações tecnológicas das frotas de transporte público por ônibus. Assim, são necessárias mudanças nas frotas e na matriz energética dos veículos.

## **2.2 Impactos ambientais causados pelos sistemas de transportes**

Impacto ambiental, segundo Fogliatti, Filippo e Goudard (2004), é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, provocada direta ou indiretamente por atividades humanas podendo afetar a saúde, segurança e/ou a qualidade dos recursos naturais.

Segundo Kawamoto (2004), um sistema de transporte é composto por vias, terminais e veículos e, assim, há fluxos de veículos, passageiros, cargas etc., e há insumos e produtos que entram ou saem do sistema. Entre os produtos há os poluentes que são emitidos do sistema para o ambiente como resultado da queima de combustível e os ruídos que são gerados pelos solavancos dos veículos, funcionamento dos motores e atritos de alguns

componentes do sistema. Entre os insumos há aqueles que não são transacionáveis no mercado e são importantes recursos da natureza, como a água, que é utilizada para arrefecer os motores, lavagem de veículos, terminais etc.

Quando se estuda os impactos ambientais causados por sistemas de transportes estudam-se os impactos que o sistema causa em tudo aquilo que o rodeia: poluição do ar, ruído, intrusão visual, efeitos sobre o solo etc.

A poluição atmosférica causada pelos transportes atinge níveis locais, regionais e globais, contribuindo para o aquecimento global e, consequentemente, para as mudanças climáticas (D'AGOSTO, 2015). Segundo EPA (2004), o setor de transportes contribui com 13% das emissões globais de GEE por causa da queima de combustíveis fósseis. Quase toda a fonte de energia de transportes do mundo, cerca de 95%, vem de combustíveis à base de petróleo: gasolina e diesel.

Quanto a poluição sonora, segundo D'Agosto (2015), os transportes são causadores de sons indesejáveis, os ruídos, o que influencia a qualidade de vida das pessoas que vivem em locais onde há intenso fluxo de veículos e exposição constante ao barulho que eles emitem quando estão em funcionamento. A poluição visual ou intrusão visual é causada pelos sistemas de transportes que, em sua implantação e operação, modificam e descaracterizam a paisagem local, impactando na vida não só das pessoas, mas da fauna e da flora existentes (D'AGOSTO, 2015). As intrusões visuais características do modo de transporte rodoviário são os congestionamentos nas cidades e a infraestrutura de vias e terminais de operação.

A operação de transportes gera, ainda, resíduos sólidos e líquidos que contribuem para a poluição do solo e da água, sendo prejudicial à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente. São pneus, plásticos provenientes de partes de veículos, peças de metal, borrachas, óleos lubrificantes descartados ou provenientes de vazamentos, graxas, combustíveis que vazam durante a operação dos veículos, e água resultante da lavagem dos veículos (D'AGOSTO, 2015). O controle da emissão de resíduos é benéfico ao meio ambiente em função do reaproveitamento e da sua destinação correta, já que muitos desses resíduos são de decomposição lenta na natureza, podendo levar dezenas ou centenas de anos para que ocorra.

Pela importância que os modos de transportes têm em relação à poluição existem regulamentações em níveis nacional e internacional, que visam diminuir a emissão de poluentes. No Brasil, referente à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, existe a Lei nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Relativo a poluição sonora, a Resolução Conama 204/2006 determina os limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores, e, em relação à poluição atmosférica, os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos na Resolução Conama 3/1990.

A seguir serão abordados dois tipos de poluição, a atmosférica e a sonora. Com a emissão de gases, de sólidos e/ou aerossóis líquidos a composição do ar atmosférico é modificada e, por isso, ocorre a poluição atmosférica. Com a propagação no ar de sons indesejáveis ocorre a poluição sonora. Tanto a poluição atmosférica como a sonora têm o ar como meio propagador da poluição.

### **2.2.1 Poluição atmosférica**

Os veículos automotores são fontes de poluição do ar por utilizarem como fonte de energia os combustíveis fósseis. Os gases e partículas emitidos pelo sistema propulsivo dos veículos na atmosfera causam graves problemas de degradação ambiental. O grande problema da poluição do ar é que os gases e as partículas lançados na atmosfera, além de lá permanecerem durante muito tempo e poderem ser transportados pelas correntes aéreas para outros lugares, têm o efeito cumulativo, ao contrário da poluição sonora que desaparece com a remoção da fonte de emissão (KAWAMOTO, 2004). Os poluentes atmosféricos também podem retornar à superfície, causando a poluição das águas, já que a chuva lava a atmosfera.

A poluição ocorre em diferentes escalas. Na escala local há a poluição nas cidades com a emissão constante de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), materiais particulados (MP) (fumaças) e óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ). Na escala regional ocorre a chuva ácida e, na global, há a intensificação do efeito estufa e o aquecimento global com a emissão constante de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e de metano ( $\text{CH}_4$ ).

A chuva ácida é definida como a precipitação em que o pH é mais ácido, com valores inferiores a 5,6, em que os gases que a formam podem ser transportados por até 3.000 km de distância (D'AGOSTO, 2015). O efeito estufa é necessário para manter a temperatura do planeta ideal para o equilíbrio das formas de vida do planeta, Porém há gases que potencializam esse efeito e provocam o aquecimento global.

Segundo D'AGOSTO (2015), os veículos movidos a óleo diesel contribuem para a emissão de NO<sub>x</sub> e MP, enquanto veículos movidos a álcool ou etanol e que utilizam motores do ciclo Otto são os principais responsáveis pela emissão de CO e NMHC (hidrocarbonetos não metano).

Cada poluente é produto da queima do combustível usado no veículo automotor. A característica e a fonte de emissão podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 – Poluentes atmosféricos: características e fontes de emissão

Poluente	Características	Fontes de Emissão
<b>Partículas Totais em Suspensão (PTS)</b>	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos de combustão (fuligem e partículas de óleo)
<b>Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça</b>	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Combustão incompleta de combustíveis fósseis, óleo lubrificante e resíduos oriundos do desgaste dos pneus, rodas e pavimentos
<b>Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)</b>	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO <sub>3</sub> , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Queima de combustíveis que contêm enxofre; processos biogênicos naturais.
<b>Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)</b>	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão; processos de descarga elétrica na atmosfera.
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Gás incolor, inodoro e insípido.	Processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis e outros materiais que contêm carbono.
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Oxidação do oxigênio que participa da combustão.
<b>Hidrocarbonetos (HC)</b>	São compostos orgânicos formados por átomos de carbono e hidrogênio.	Queima incompleta de combustíveis, evaporação de combustíveis, solventes orgânicos etc.

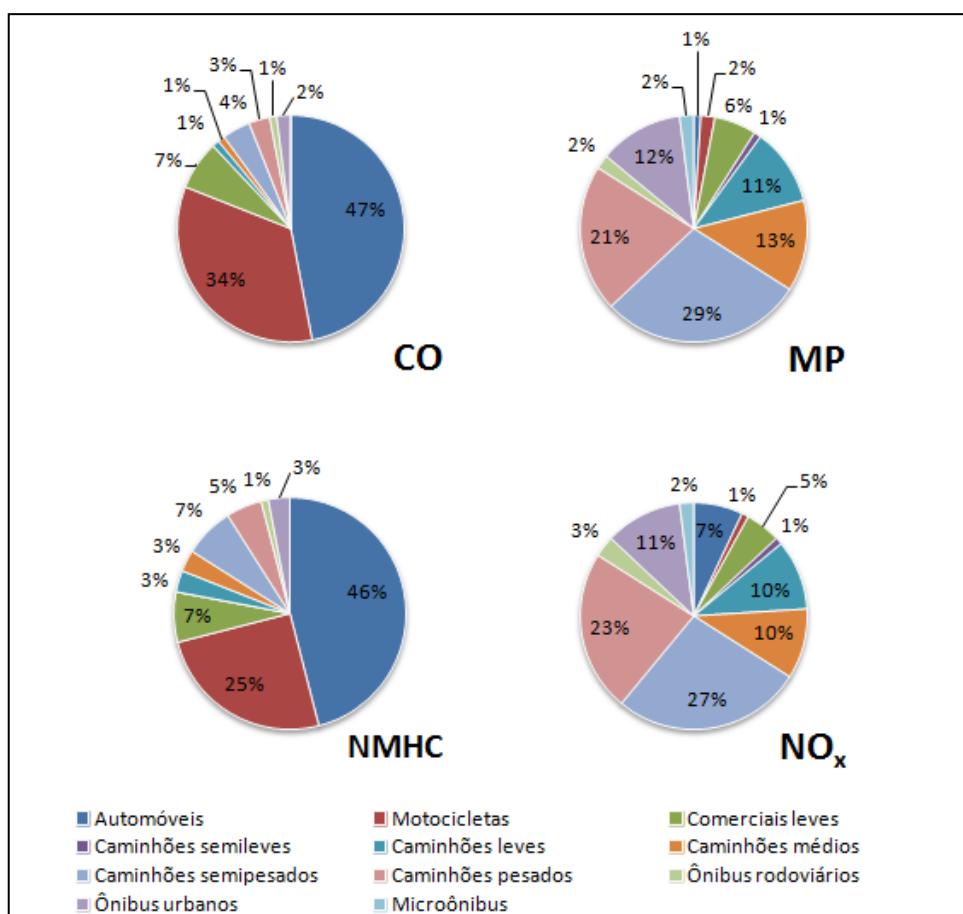
Fonte: D'Agosto (2015).

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (Ano-base 2012), os fatores de emissão de poluentes para ônibus urbanos que utilizam motores a óleo diesel foram (BRASIL, 2014):

- CO: 0,440 g<sub>poluente/km</sub>
- NO<sub>x</sub>: 2,103 g<sub>poluente/km</sub>
- NMHC: 0,033 g<sub>poluente/km</sub>
- MP<sub>combinado</sub>: 0,020 g<sub>poluente/km</sub>
- CH<sub>4</sub>: 0,060 g<sub>poluente/km</sub>

Ainda de acordo com o inventário, dentre todas as categorias de veículos analisadas, as emissões associadas a ônibus urbanos, em 2012, foram 2% de CO, 11% de NO<sub>x</sub>, 12% de MP por combustão, 3% de NMHC, 2% de CH<sub>4</sub> (BRASIL, 2014), conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Emissão de poluentes por categoria de veículos, 2012



Fonte: Brasil (2014).

Observando-se a Figura 1 e as porcentagens de cada poluente conclui-se que os veículos movidos à óleo diesel (caminhões e ônibus) são os maiores emissores de NO<sub>x</sub> e MP, sendo que os ônibus urbanos são os maiores responsáveis na categoria ônibus. Por isso, deve-se dar atenção às emissões de poluentes de ônibus urbanos.

Além do impacto ao ambiente, estudos mostram que, mesmo em pequenas concentrações, os poluentes atmosféricos estão associados com efeitos na saúde, como pode ser observado no Quadro 2. Nos grandes centros urbanos, como São Paulo, estudos mostram que os níveis de poluição são danosos à saúde da população. Com base nesses estudos, a Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo propôs o estabelecimento de vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica (FREITAS *et al.*, 2004).

**Quadro 2 – Efeitos sobre à saúde e ao meio ambiente provocados por poluição atmosférica**

Poluente	Efeitos gerais sobre a saúde	Efeitos gerais ao meio ambiente
<b>Partículas Totais em Suspensão (PTS)</b>	Quanto menor o tamanho da partícula, mais prejudicial será o efeito à saúde. Causam efeitos mais graves em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
<b>Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>) e Fumaça</b>	Causam agravamento de doenças respiratórias, podendo acarretar morte prematura	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
<b>Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)</b>	Causam desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamentos de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas do coração e pulmão são mais sensíveis a este poluente atmosférico.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
<b>Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)</b>	Provoca aumento da sensibilidade à asma e à bronquite e baixa a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Prejudica os reflexos, a capacidade de estimar intervalos de tempo, o aprendizado, o desempenho no trabalho e a acuidade visual.	
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>	Provoca irritação nos olhos e vias respiratórias e diminuição da capacidade respiratória. Exposições a altas concentrações podem resultar em sensação de aperto no peito, tosse e chiado na respiração.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.
<b>Hidrocarbonetos (HC)</b>	São gases considerados carcinogênicos e mutagênicos, provocando irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório.	

Fonte: Brasil (2014); D'Agosto (2015) (adaptada).

Segundo Carvalho (2011), as emissões de material particulado são especialmente importantes no monitoramento ambiental dos corredores de ônibus urbanos. Por serem mais densos, esses poluentes, em geral, não se espalham muito pela atmosfera, ficando

concentrados nas imediações da via. Isso causa grande degradação do ambiente em sua volta, principalmente nos imóveis adjacentes ao leito da via. Como nos corredores há uma grande concentração de veículos pesados emitindo fumaça, a situação negativa se potencializa, com fortes reflexos sobre a qualidade de vida da população em geral e nos motoristas e cobradores, e impactos, também, sobre o mercado imobiliário, já que há uma desvalorização dos imóveis localizados próximos aos corredores carregados.

Dessa forma, mesmo que o transporte público coletivo por ônibus emita menos poluentes por passageiro transportado do que os modos individuais, os gestores devem considerar como prioridade a busca de soluções para a redução das emissões absolutas de material particulado no sistema de transportes.

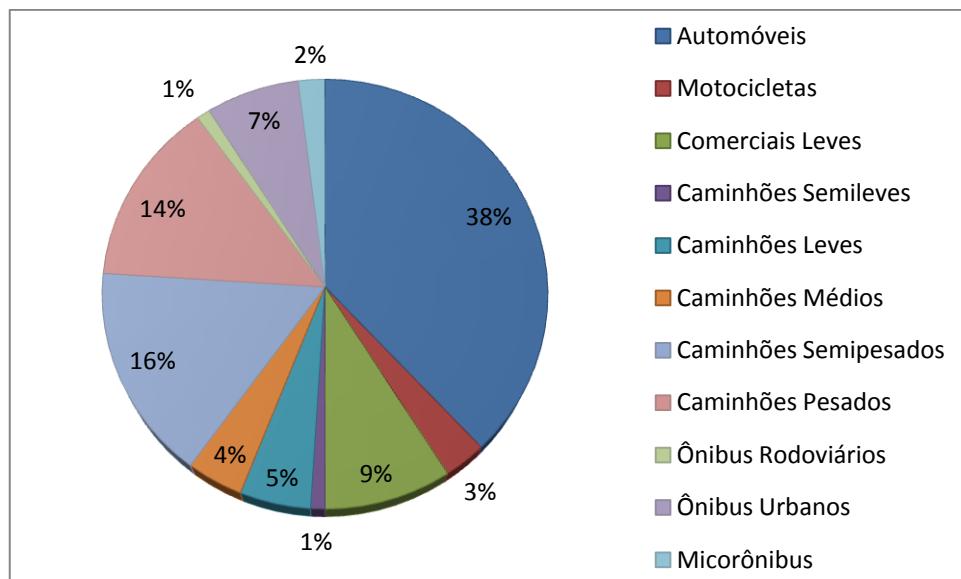
### **2.2.2 Emissões de gases de efeito estufa**

As emissões antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GEE) têm aumentado desde a era pré-industrial impulsionadas, em grande parte, pelo crescimento econômico e populacional (IPCC, 2014). Os GEE mais liberados são: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e clorofluorcarbonetos (CFC). Considerando-se os sistemas de transportes para a emissão de GEE, o  $\text{CO}_2$  é o principal componente e a maior parte das emissões se concentra em áreas urbanas. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o  $\text{CO}_2$  é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis, que correspondem a cerca de 25% desses gases em todo o planeta. No caso do  $\text{CO}_2$ , a emissão é calculada utilizando-se procedimento que considera o poder calorífico do combustível, em função do rendimento energético do veículo (ANTP, 2011).

Segundo Carvalho (2011), vários fatores influenciam a participação de cada modalidade na matriz de emissão de  $\text{CO}_2$ , entre os quais se destacam a composição da matriz modal de deslocamentos das cidades, principalmente em relação à participação do transporte individual motorizado, que é o mais poluente, e a distância média das viagens motorizadas realizadas pela população. Quanto maior for a distância, maior será a quantidade de GEE lançada na atmosfera. Os veículos movidos a diesel emitem mais  $\text{CO}_2$  por unidade de volume ou peso de combustível em relação aos demais modos motorizados, mas a emissão

pelos ônibus corresponde à menor porcentagem dentre todas as modalidades, o que pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Emissões de CO<sub>2</sub> por categoria de veículo, 2012



Fonte: Brasil (2014).

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (Ano-base 2012), do total de emissões de CO<sub>2</sub> do transporte rodoviário em 2012, 49% foi da queima de óleo diesel de origem fóssil, 33% da gasolina, 14% do etanol, 2% do biodiesel e 2% do gás natural veicular (GNV) (BRASIL, 2014).

### 2.2.3 Poluição sonora

A poluição sonora é causada por sons indesejáveis, e a maioria dos sons emitidos pelo sistema de transportes (motores e trânsito em geral) é indesejável porque prejudica o bom desempenho de algumas atividades humanas e, às vezes, pode prejudicar a audição das pessoas.

Uma significativa forma dos ruídos liberados é associada ao funcionamento dos motores de combustão interna e do sistema de transmissão (descarga dos gases queimados, vibrações das peças, acionamento dos sistemas de ventilação, o fluxo de fluidos, atrito de componentes mecânicos), atrito roda com a via (pneu-pista), frenagem, troca de marcha e

buzinas (D'AGOSTO, 2015), além dos ruídos associados à operação de veículos e a equipamentos e máquinas em terminais de passageiros e cargas. Os ruídos podem ser amplificados por alguns fatores como volume de tráfego, velocidade dos veículos e idade da frota dos veículos (quanto maior a idade, maior a contribuição para o aumento de ruído).

No Brasil o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA e o Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN estabelecem os níveis de ruído aceitáveis para veículos de carga e passageiros. Segundo o CONAMA, por meio da Resolução 272/2000, no Art. 1º, são definidos os limites máximos de emissão de ruídos para veículos automotores em aceleração, de acordo com o exposto na Tabela 1.

Segundo o CONTRAN, por meio da Resolução 204/2006, no Art. 1º, a utilização, em veículos de qualquer espécie, de equipamento que produza som só será permitida, nas vias terrestres abertas à circulação, em nível de pressão sonora não superior a 80 decibéis – dB(A), medido a 7 m de distância do veículo. A unidade padrão para medir sons é o decibel (dB), definido de acordo com a percepção humana.

Tabela 1 – Limites máximos de emissão de ruído para veículos automotores

	Descrição	Nível de ruído dB(A)			
		Ciclo Otto	Diesel		
			Injeção Direta	Injeção Indireta	
a	Veículo de passageiros até nove lugares	74	75	74	
b	Veículo de passageiros com mais de nove lugares	PBT até 2.000 kg	76	77	76
	Veículo de carga ou de tração e veículo de uso misto	PBT entre 2.000 kg e 3.500 kg	77	78	77
c	Veículo de passageiro ou de uso misto com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 150kW (204 cv)	78	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204 cv)	80	80	80
d	Veículo de carga ou de tração com PBT maior que 3.500 kg	Potência máxima menor que 75 kW (102 cv)	77	77	77
		Potência máxima entre 75 kW (102 cv) e 150 kW (204 cv)	78	78	78
		Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204 cv)	80	80	80

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA nº 272 de 2000.

Quanto à utilização de buzinas e equipamentos similares, a Resolução 35/1998 do CONTRAN estabelece que o nível máximo permitível de pressão sonora emitida é:

- 104 dB(A) – Veículos automotores, nacionais ou importados, produzidos a partir de 01/01/1999;
- 93 dB(A) – Veículos automotores, nacionais ou importados, produzidos a partir de 01/01/2002.

Segundo Carvalho (2011), de acordo com estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS), a exposição contínua de uma pessoa a ruídos acima de 75 dB podem causar danos à saúde, principalmente problemas auditivos irreversíveis. É muito frequente nos grandes centros urbanos a ocorrência de ruídos com intensidade superior a 75 dB em vários pontos, principalmente nas áreas comerciais e corredores de transporte, onde há uma grande concentração de veículos motorizados. Nas vias de trânsito local o problema é minimizado. Segundo D'AGOSTO (2015), um ônibus acelerando a 5 m do receptor emite ruídos de 110 a 130 dBA e causa a sensação de desconforto alto, atingindo limiar da dor e o trauma de surdez instantânea.

Ações mitigadoras para os ruídos oriundos dos sistemas de transportes, sobretudo no transporte rodoviário, que é o modo que mais contribui para a poluição sonora nos centros urbanos, são ações nos próprios veículos e implementação de barreiras sonoras naturais (vegetação nativa ou plantada) ou artificiais (barreiras sólidas). Mas, na maior parte dos centros urbanos, não é possível implantar barreiras sonoras por falta de espaço físico.

### **2.3 Padrões de qualidade do ar ambiente**

O que define a qualidade do ar em uma localidade ou região é a interação entre as fontes de poluição e as condições atmosféricas. A combinação, entretanto, varia no espaço e no tempo. Segundo Szwarcfiter (2004), a concentração dos poluentes no ar depende tanto dos mecanismos de dispersão como de sua produção e remoção.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a saúde e o bem estar das pessoas (SZWARCFITER, 2004). Para a Organização Mundial da Saúde, os padrões de qualidade do ar devem ser considerados como o nível máximo de concentração (ou de deposição) de um poluente atmosférico permitido por uma autoridade regulatória (WHO, 2005).

O padrão de qualidade do ar determinado pela OMS são apresentados em *guidelines* com concentração ambiental relacionada a um tempo médio de exposição e expressos na forma de valores numéricos, denominados valores de referência ou valores-guia (AQG) (SANTANA *et al.*, 2012). Esses valores-guia são recomendados para serem alcançados em todos os lugares do mundo a fim de reduzir significativamente os efeitos adversos à saúde causados pela poluição (WHO, 2005). Esses valores podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores-guia de concentrações estipulados pela OMS

Poluente	Exposição média	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>MP<sub>2,5</sub></b>	24 horas	25
	Anual	10
<b>MP<sub>10</sub></b>	24 horas	50
	Anual	20
<b>Monóxido de carbono</b>	1 hora	30.000
	8 horas	10.000
<b>Ozônio</b>	8 horas	100
<b>Dióxido de nitrogênio</b>	1 hora	200
	Anual	40
<b>Dióxido de enxofre</b>	24 horas	20
	10 minutos	500

Fonte: Adaptado de WHO (2005).

Os valores-guia observados na Tabela 2 foram mensurados por meio de condução de estudos epidemiológicos estabelecidos de funções dose-resposta e suas correlações com indicadores de morbidade e mortalidade na população suscetível; mas não há níveis seguros de concentração de poluentes no ar ambiente para a saúde humana (VORMITTAG, 2013). Alguns dos fundamentos para as concentrações indicadas segundo a WHO (2005) são:

- Os AQG anuais de MP são os mais baixos níveis para os quais a mortalidade aumenta, com 95% de confiança de resposta de longo prazo de exposição ao MP<sub>2,5</sub>.
- Os AQG diários de MP são baseados na relação entre as concentrações de 24 horas e anual; corresponde ao percentil 99 (3 dias/ano).
- Os AQG de ozônio, cuja máxima concentração média de 8 horas proporciona proteção adequada à saúde pública, embora possa ocorrer algum efeito abaixo deste nível. A exposição neste nível é associada com:
  - Um aumento estimado de 1 a 2% na mortalidade diária (baseado em estudos de séries temporais diárias);
  - Extrapolação de estudos de laboratório e de campo baseada na probabilidade de repetição da exposição na vida real, considerando que os estudos de laboratório excluem sujeitos altamente sensíveis ou clinicamente comprometidos, ou crianças;
  - Probabilidade de que o ozônio ambiente seja um marcador de outros oxidantes associados.

Segundo Brasil (2010), os padrões de qualidade do ar variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas, além de vários outros fatores políticos e sociais, que dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar, segundo publicação da Organização Mundial da Saúde em 2005. No Brasil, os atuais padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Na Tabela 3 consta uma lista dos padrões nacionais de qualidade do ar ambiente, fixados na resolução CONAMA nº. 3, de 28 de junho de 1990 (BRASIL, 1990). Os padrões de qualidade do ar estão divididos em:

- Primários: se ultrapassadas as concentrações de poluentes pode-se afetar a saúde da população;
- Secundários: as concentrações de poluentes são abaixo daquelas que causam um efeito mínimo adverso sobre o bem-estar da população, mínimo dano à fauna, flora, materiais e meio ambiente em geral.

Tabela 3 – Padrões nacionais de qualidade do ar

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>(4)</sup> )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>(4)</sup> )
<b>Partículas totais em suspensão</b>	24 horas <sup>(1)</sup>	240	150
	MGA <sup>(2)</sup>	80	60
<b>Fumaça</b>	24 horas <sup>(1)</sup>	150	100
	MAA <sup>(3)</sup>	60	40
<b>Partículas inaláveis</b>	24 horas <sup>(1)</sup>	150	150
	MAA <sup>(3)</sup>	50	50
<b>Dióxido de enxofre</b>	24 horas <sup>(1)</sup>	365	100
	MAA <sup>(3)</sup>	80	40
<b>Monóxido de carbono</b>	1 hora <sup>(1)</sup>	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas <sup>(1)</sup>	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
<b>Ozônio</b>	1 hora <sup>(1)</sup>	160	160
<b>Dióxido de nitrogênio</b>	1 hora <sup>(1)</sup>	320	190
	MAA <sup>(3)</sup>	100	100

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média Geométrica Anual (MGA)

(3) Média Aritmética Anual (MAA)

(4) A condição de referência para as concentrações é de 25 °C e pressão de 760 mmHg (1.013,2 milibares)

Fonte: Brasil, 1990.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) tem como atribuições específicas: a definição dos padrões de qualidade do ar no nível nacional, a gestão da qualidade do ar, o acompanhamento das políticas estaduais, elaboração de estudos, coleta e sistematização de dados, definição de diretrizes e regras de atendimento mínimo etc. (SANTANA *et al.*, 2012). Os padrões de qualidade do ar foram aprovados em 1971 e são revisados periodicamente. Esses valores podem ser observados na Tabela 4. O padrão primário deve permitir proteção à saúde pública, inclusive a população sensível, como as crianças, idosos e pessoas com asma. O padrão secundário deve ser adequado à proteção do bem-estar público, compreendendo os efeitos sobre a vegetação, colheitas, solos, águas, fauna, materiais sintéticos e a visibilidade.

Tabela 4 – Padrão de qualidade do ar ambiente em vigor nos Estados Unidos

<b>Poluente</b>	<b>Tempo de amostragem</b>	<b>Padrão primário</b>	<b>Padrão secundário</b>	<b>Observação</b>
<b>CO (2011)</b>	8h	9 ppm	–	Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano
	1h	35 ppm	–	
<b>NO<sub>2</sub> (2010)</b>	1h	100 ppb	53 ppb	Percentil 98 sobre médias de 3 anos Média anual
	Annual	53 ppb		
<b>O<sub>3</sub> (Ozônio – 2008)</b>	8h	0,075 ppm	0,075 ppm	Quarta maior máxima média diária de 8 horas anual sobre médias de 3 anos
<b>MP<sub>2,5</sub> (2006)</b>	Anual	15 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	Média anual sobre médias de 3 anos
	24h	35 µg/m <sup>3</sup>	35 µg/m <sup>3</sup>	Percentil 98 sobre médias de 3 anos
<b>MP<sub>10</sub> (2006)</b>	24 h	150 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>	Não deve ser excedido mais de uma vez por ano sobre médias de 3 anos
<b>SO<sub>2</sub> (2010)</b>	1 h	75 ppb	0,5 ppm	Percentil 99 das máximas de 1h diária(s), média de 3 anos
	3 h			Não deve ser excedido mais de uma vez por ano

Fonte: EPA (2011) (adaptada).

Na União Europeia – EU, a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, estabelece medidas destinadas a definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente destinadas a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente na sua globalidade (UNIÃO EUROPEIA, 2008). Os padrões são formalizados como:

- “valores-limite”: são de atendimento obrigatório a partir da data em que entram em vigor;

- “valores-alvo”: devem ser atendidos na medida do possível até a data estipulada para atendimento. Têm o caráter de metas, inexistindo penalidades caso não sejam atingidos no prazo de atendimento.

Na Tabela 5 são estabelecidos os valores limites para MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e os valores alvo para MP<sub>2,5</sub> e O<sub>3</sub>.

Tabela 5 – Padrão de qualidade do ar – Europa

Poluente		Valor limite		Valor alvo		Período de amostragem	Ultrapassagens anuais permitidas	Margem de tolerância
	Concentração	Data de atendimento	Concentração	Data de atendimento				
MP <sub>2,5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2015	25 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2010	1 ano			20% até 11/06/2008, a reduzir gradativamente até atingir 0% em 1/1/2015.
	20 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2020	-	-	-	-	-	-
MP <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2005			24 h	35	50%	
	40 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2005			1 ano		20%	
SO <sub>2</sub>	350 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2005			1 ano	24	150 µg/m <sup>3</sup> (43%)	
	125 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2005			24 h	3		
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2010			1 h	18		50% em 19/07/1999, a reduzir gradativamente até atingir 0% em 1/1/2010.
	40 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2010			1 ano		50% em 19/07/1999, a reduzir gradativamente até atingir 0% em 1/1/2010.	
CO	10 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2005	120 µg/m <sup>3</sup>			Média máxima diária por períodos de 8 h		60%
O <sub>3</sub>		120 µg/m <sup>3</sup>	1/1/2010			Média máxima diária por período de 8 horas	25 dias em média por ano, num período de 3 anos	
		18000 µg/m <sup>3</sup> ×h	1/1/2010			Maio a julho, período de 5 anos		

Fonte: Santana *et al.* (2012) (adaptada).

O sistema de gestão da qualidade do ar da União Europeia busca compatibilizar as diferentes realidades econômicas, sociais, políticas e culturais de cada Estado-membro,

criando uma série de mecanismos de flexibilidade no cumprimento das regras e obrigações comunitárias (SANTANA *et al.*, 2012).

Os padrões de qualidade do ar exercem papel essencial na gestão da qualidade do ar e devem ser periodicamente atualizados, devido os riscos e impactos da poluição atmosférica incorrerem sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Os limites máximos para a concentração de poluentes na atmosfera permitidos pela OMS, EUA e da União Europeia são menores que os do Brasil. Desde que foram estabelecidos, em 1990, os padrões brasileiros de qualidades do ar nunca sofreram atualizações, o que torna necessária uma revisão por parte do CONAMA. Uma das recomendações da OMS é considerar as diferentes regiões do país em termos econômicos, sociais e políticos para que haja a definição de novos padrões nacionais (SANTANA *et al.*, 2012).

## **2.4 Medidas mitigadoras**

Há muitas maneiras de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa no ambiente. Uma delas consiste em melhorar os sistemas de transporte público coletivo, criar ambiente favorável para aumento de viagens não motorizadas e programas de inspeções veiculares periódicos que abranjam, principalmente, a frota de veículos que utilizam diesel para seu funcionamento.

Segundo Carvalho (2011), as políticas de mitigação das emissões veiculares adotadas no Brasil se concentram, basicamente, no estabelecimento de limites máximos de emissões dos veículos automotores e nas medidas de melhoria dos combustíveis pela redução dos teores dos elementos químicos poluidores ou mistura com bicompostíveis, que são mais limpos e apresentam características renováveis.

O CONAMA instituiu, no Brasil, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que tem por objetivo reduzir a contaminação atmosférica por veículos automotores mediante fixação dos limites máximos de emissão e prazos para atendimento, induzindo o desenvolvimento tecnológico da indústria

automotiva e a melhoria da qualidade dos combustíveis comercializados (FIOVARANTE; DUTRA; FIGUEIREDO, 2009).

O PROCONVE estabeleceu os limites adequados dos índices de emissões veiculares que devem ser alcançados por meio de implantação progressiva de fases que, de forma gradativa, obrigam a indústria automobilística a reduzir as emissões nos veículos que serão colocados no mercado (CNT; SEST; SENAT, 2012). A evolução desses limites para os veículos pesados pode ser observada na Tabela 6. Atualmente, o Brasil está na fase P7, em que as emissões dos veículos brasileiros equivalem às emissões dos veículos de países europeus, a fase Euro 5.

Tabela 6 – Limites de emissões ao longo das fases do Proconve – veículos pesados

Proconve	Euro	CO (g/kW·h)	HC (g/kW·h)	NO <sub>x</sub> (g/kW·h)	MP (g/kW·h)	Norma (Conama)	Vigência	Teor de S (ppm)
Fase P1	-	14,00	3,50	18,00	-	Res. 18/85	1989 1993	a -
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60	Res. 08/93	1994 1995	a 3.000 10.000
Fase P3	Euro 1	4,90	1,23	9,00	0,40 ou 0,70	Res. 08/93	1996 1999	a 3.000 10.000
Fase P4	Euro 2	4,00	1,10	7,00	0,15	Res. 08/93	2000 2005	a 3.000 10.000
Fase P5	Euro 3	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13	Res. 315/02	2006 2008	a 500 2.000
Fase P6	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	Res. 315/02	2009 2012	a 50
Fase P7	Euro 5	1,50	0,46	2,00	0,02	Res. 403/08	A partir de 2012	10

Fonte: CNT; SEST; SENAT (2012).

Uma melhoria expressiva que ocorreu para os sistemas de ônibus urbanos foi a utilização de combustíveis mais limpos, como a mistura de diesel/biodiesel. Desde 2008, em função da Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, todo óleo diesel nacional disponível ao consumidor final é acrescido de biodiesel e, em janeiro de 2005 alcançou-se a mistura de 5%. Essa mistura é denominada óleo diesel B5. O óleo diesel B5, além de corrigir a lubricidade do óleo diesel, reduz os níveis de emissão de poluentes dos veículos (CNT, 2012).

Além disso, nos veículos a diesel, os filtros podem reduzir a emissão do material particulado e os catalisadores podem reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>. Entretanto, para o uso da tecnologia, é necessária a oferta de diesel com baixo teor de enxofre (menor que 50 ppm)

devido ao fato deste poluente danificar os sistemas de controle, reduzindo a eficiência de filtros e catalisadores (SZWARCFITER, 2004).

Diversos países desenvolvidos têm os teores de enxofre no diesel reduzidos. Nos países da União Europeia, desde 2005, o diesel comercializado tem concentração máxima de enxofre de 50 mg/kg (50 ppm), no Japão o teor máximo é de 10 mg/kg de enxofre e nos EUA, a concentração é de 15 mg/kg (CNT, 2012).

Quanto ao óleo diesel no Brasil, os combustíveis comercializados ao consumidor final possuem 50 mg/kg de enxofre ou S50, 500 mg/kg de enxofre ou S500 e 1.800 mg/kg de enxofre ou S1800. O teor de enxofre no diesel sofreu diminuições ao longo dos anos, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2012):

- Na década de 1980 não havia regulamentação, os veículos a diesel utilizavam óleo diesel com 13.000 mg/kg de enxofre;
- Em 1994 passaram a existir dois tipos de óleo diesel comercializados: o diesel metropolitano fornecido com menor teor de enxofre nas regiões metropolitanas, com grande concentração de pessoas e veículos e maiores problemas de poluição atmosférica; e o diesel interior fornecido com maior concentração de enxofre no interior do país;
- Em 2009, o diesel comercializado no interior passou a ter 1.800 mg/kg (S1800) e o metropolitano, no máximo, 500 mg/kg (S500). Em algumas regiões metropolitanas, existe a oferta do diesel com 50 mg/kg (S50), disponível à população ou, em certos casos, apenas às frotas de ônibus urbanos;
- Em 2012, em função da implementação da fase P7 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) houve aumento do número de cidades que passaram a comercializar o S50.

Conforme Resolução n. 65 de 9 de dezembro de 2011, da ANP, em 2013 o óleo diesel S50 foi substituído pelo óleo diesel S10 e, em 2014, o óleo diesel S1.800 de uso rodoviário foi substituído pelo óleo diesel S500 (ANP, 2011). Com intuito de diminuir a poluição nas regiões metropolitanas é obrigatória a comercialização de óleo diesel S10 para uso nas frotas cativas de ônibus urbanos (ANP, 2013).

O óleo diesel com baixo teor de enxofre e com biocombustível é de grande vantagem para frotas de ônibus que operam com grande frequência e que trafegam em corredores de transporte. Nesses corredores, a concentração de material particulado é muito alta, degradando e desvalorizando os imóveis adjacentes, o que pode ser amenizado com o uso do óleo diesel com baixo teor de enxofre.

Além de medidas quanto aos combustíveis é necessário que haja redução dos níveis de emissão de poluentes pelo escapamento e por evaporação, a promoção do desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia de projeto e fabricação como, também, em métodos e equipamentos para o controle de emissão de poluentes (BRASIL, 2002). Deve-se atentar às questões relacionadas às vias e terminais. Para que as medidas mitigadoras ocorram, deve haver uma atuação conjunta de governo, sociedade e entidades que utilizam e operam os transportes.

## 2.5 Métodos para estimativa de poluentes

Para o cálculo das emissões de poluentes são utilizadas abordagens metodológicas e simulações. As abordagens metodológicas são a *top-down* e *bottom-up* e a aplicação delas depende da qualidade e quantidade dos dados existentes. Segundo D'Agosto (2015), a abordagem *top-down* é menos intensiva em dados e de aplicação menos complexa e permite calcular as emissões de CO<sub>2</sub> a partir do consumo de energia observado em uma região. A abordagem *bottom-up* necessita de informações mais detalhadas que, muitas vezes, não estão disponíveis. Para uma determinada Região, Estado ou País é necessário conhecer o fluxo de tráfego, por tipo de veículo, ao longo de um período de tempo, o combustível que esses veículos consomem e os fatores de emissão (D'AGOSTO, 2015).

A simulação consiste em uma experimentação computacional em que é criado um modelo de um sistema real ou idealizado, a partir do qual são testadas diferentes alternativas operacionais com a finalidade de se encontrarem e proporem melhores formas de operação que visem a otimização do sistema como um todo (GOMES, 2008). O nível de detalhamento dos modelos depende dos níveis de representação: macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos.

Os modelos macroscópicos abordam as interações do tráfego com um baixo nível de detalhamento. A descrição do tráfego do sistema é baseada nas relações entre velocidade, fluxo e densidade e não conseguem representar as interações entre veículos (DIAS, 2014). São exemplos desses modelos o TransCAD e AIMSUM.

Os modelos mesoscópicos consideram os conjuntos de veículos agregados empregando a relação de velocidade-densidade junto a conceitos da teoria de filas (ALAM; HATZOPOULOU, 2014). Como exemplo desses modelos têm-se TRANSYT, TransCAD e AIMSUN.

Os modelos microscópicos descrevem os veículos e suas interações de forma individualizada e seus resultados de saída são os mais detalhados possíveis, por isso, exigem maior número de dados de entrada em relação aos outros modelos, maior aparato computacional e mais tempo para a realização da simulação (DIAS, 2014). Citam-se como exemplos: VISSIM, AIMSUM, NETSIM e CORSIM (ferramentas do *software* TSIS), DRACULA.

Os modelos de emissão integrados aos modelos de tráfego presentes nos programas computacionais são calibrados para a realidade em que são concebidos e não permitem o ajuste de parâmetros *default* do modelo (DIAS *et al.*, 2015). Então, ao se usar os programas, pode-se representar uma realidade distinta daquela em que os parâmetros foram ajustados.

Neste trabalho serão detalhadas a abordagem *bottom-up* e o programa computacional comercial TSIS. O programa está disponível para desenvolvimento de pesquisas no Laboratório de Transportes da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

### **2.5.1 Abordagem *bottom-up***

A abordagem *bottom-up* leva em conta as emissões de todos os gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO e NMHC). Neste caso, as emissões são quantificadas levando-se em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos (MATTOS, 2001).

Para aplicação da abordagem é necessário conhecer alguns dados da frota de ônibus que opera na cidade como: a quantidade de veículos; o consumo mensal da frota; a

quilometragem rodada; a idade média da frota e a periodicidade de manutenção dos motores.

Segundo Alvares Jr. e Linke (2001), o *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* recomenda a prática de cálculo das emissões de GEE pela abordagem *bottom-up* como procedimento adicional ao método *top-down*, para aferir os cálculos e consequente melhoria da qualidade da informação. O modelo geral de emissões pode ser observado na Equação 1 (MATTOS, 2001).

$$\text{Emissões}_i = \text{FE}_{iabc} \cdot \text{Atividade}_{abc} \quad (1)$$

Em que:

$\text{Emissões}_i$ : correspondem às emissões de um gás  $i$  (g/kW·h ou kg ou g);

$\text{FE}_i$ : fator de emissão do gás  $i$  (g/kW·h ou kg/L ou g/km);

Atividade: quantidade de energia consumida (kW·h ou L ou g) ou distância percorrida (km);

$i$ : tipo de poluente: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, Material Particulado (MP), N<sub>2</sub>O, Hidrocarbonetos (HC), Compostos Orgânicos Voláteis (COV), além de outros poluentes;

$a$ : tipo de combustível utilizado (querosene de aviação, gás natural, gasolina etc.);

$b$ : tipo de veículo (avião, automóvel, motocicleta etc.);

$c$ : tecnologia de controle de emissões.

A vantagem de utilizar a abordagem *bottom-up* se deve ao fato de servir para estimar a emissão de qualquer poluente tendo como dado a distância percorrida ou o consumo de combustível. A distância percorrida não retrata fielmente o consumo de combustível, já que não leva em conta as acelerações e desacelerações dos veículos, nem as paradas, sejam em semáforos, paradas obrigatórias ou para embarque e desembarque, no caso de ônibus, o que caracteriza uma desvantagem da abordagem.

### 2.5.2 Programa Computacional *Traffic Software Integrated System – TSIS*

O programa computacional *Traffic Software Integrated System – TSIS* foi desenvolvido pela estadunidense *Federal Highway Administration – FHWA* e é um ambiente de desenvolvimento integrado que permite aos usuários realizar análises de operações de tráfego. Desenvolvido usando componentes de arquitetura, contém ferramentas que permitem ao usuário definir e gerenciar projetos de análise de tráfego, definir redes e criar insumos para análise de simulação de tráfego, executar modelos de simulação e interpretar os resultados (TSIS, 2001). As ferramentas e seus empregos podem ser observados no Quadro 3.

Segundo Gomes (2008), o TSIS, como um programa de simulação com animação, permite, com base na Teoria dos Grafos, a criação da rede de tráfego constituída por nós (as interseções ou cruzamentos) e arcos (vias). O TSIS permite, por meio da geração de diferentes cenários, visualizar as condições operacionais da área de estudo e analisar os indicadores operacionais, como consumo de combustível, velocidade média, comprimento de fila, esperas médias, níveis de emissões produzidas de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

Quadro 3 – Ferramentas do *TSIS* e seus empregos

<b>Ferramenta do <i>TSIS</i></b>	<b>Emprego</b>
<i>TShell</i>	É a interface gráfica para o desenvolvimento integrado do ambiente no <i>TSIS</i> . Possibilita uma visão do projeto e facilita seu gerenciamento. Contém as ferramentas pré-configuradas.
<i>CORSIM</i>	É o conjunto integrado de dois modelos microscópicos de simulação ( <i>NETSIM</i> e <i>FRESIM</i> ) que representam o ambiente de tráfego como uma função do tempo. O <i>NETSIM</i> representa o tráfego urbano e o <i>FRESIM</i> , o tráfego em estradas. Simulações microscópicas modelam os movimentos individuais dos veículos, inclusive levando-se em conta o comportamento dos motoristas. Com isso, os efeitos, por exemplo, do reposicionamento de um ponto de ônibus, ou restrições de estacionamentos podem ser avaliados.
<i>TRAFED</i>	É um editor de interface gráfica que permite criar e editar as redes de tráfego e a inserção de dados de simulação para o modelo <i>CORSIM</i> . Gera o arquivo <i>*.tno</i> .
<i>TRAFFVU</i> (TRAF Visualization Utility)	É o gráfico que exibe as redes de tráfego, anima a simulação de operações de fluxo de veículos, anima e exibe o rendimento de medidas de efetividade da simulação e mostra as especificações de utilização dos parâmetros de entrada para a rede simulada.
<i>TSIS Text Editor</i>	É um editor de texto padrão que tem a capacidade adicional de “entender” o formato do <i>CORSIM TRF</i> .
<i>TSIS Script Tool</i>	É um editor de textos e uma ferramenta de execução de <i>Visual Basic</i> .
<i>TSIS Translator</i>	É um conversor de arquivo tipo <i>*.tno</i> para <i>*.trf</i> (tipo de arquivo usado no <i>CORSIM</i> e outras ferramentas).

Fonte: TSIS (2006) (adaptado).

As vantagens de se usar o TSIS consistem em perceber, por meio das simulações, como cada tipo de veículo, conversão e semáforos interferem no tráfego e observar como a viagem desejada é realizada em questão de tempo, consumo de combustível, formação de filas, emissão de poluentes etc. Uma desvantagem é que o *software* só calcula as emissões de poluentes de automóveis e caminhões. Outra desvantagem é que o *software* TSIS foi criado com base nos padrões dos Estados Unidos e, portanto, as análises ficam limitadas pelas diferenças nas regulamentações de trânsito e do meio ambiente. Um exemplo é o que ocorre com as diferenças, entre países, na geometria das vias e dimensões e tipos de veículos.

## 2.6 Estado da arte

Alguns estudos que abordam a emissão de poluentes e de GEE por veículos têm sido conduzidos. Alan e Hatzopoulou (2014) abordaram, no Canadá, a emissão de poluentes atmosféricos por ônibus de transporte coletivo urbano em que levaram em conta, simultaneamente, os efeitos dos combustíveis alternativos e operações de tráfego. Foi observado, por meio de simulação em corredor de ônibus, que ao usar gás natural como combustível há redução de emissão de GEE em comparação com o diesel. Pode-se observar, também, que com o tráfego congestionado e ao utilizar sinalização prioritária para ônibus também há redução.

No Brasil foi realizado um inventário da emissão de poluentes atmosféricos convencionais de transporte rodoviário para o Estado do Rio de Janeiro (SOUZA *et al.*, 2013). Foi utilizado o método *bottom-up* para estimar a quantidade de poluentes emitidos na atmosfera. Concluiu-se que, naquele Estado, a gasolina é responsável pela emissão de 74% de monóxido de carbono e o óleo diesel é responsável por 91% de material particulado. Dentre as estratégias para reduzir as emissões estão a redução da intensidade de uso de veículos movidos a combustíveis fósseis e utilizar biodiesel.

No Distrito Federal, Brasil, foi realizada uma avaliação das emissões de poluentes e GEE dos veículos nas principais vias de circulação e caracterização dos padrões espaciais (RÉQUIA; KOUTRAKIS; ROIG, 2015). O método *bottom-up* foi utilizado para prever emissões e, para caracterizar os padrões espaciais, foram utilizadas análises de

autocorrelação espacial e de alto/baixo *cluster*. Concluiu-se que a maior emissão foi de CO<sub>2</sub>.

NANAKI *et al.* (2014) realizaram um estudo para a cidade de Atenas, Grécia, que consistiu numa avaliação ambiental para observar as implicações ambientais do uso dos combustíveis alternativos (gás natural e biocombustíveis) em ônibus do transporte coletivo urbano. A metodologia utilizada levou em conta os combustíveis utilizados nos diferentes tipos de veículos, os padrões de emissão, as variações nacionais da Grécia referentes consumo de combustível, idade dos veículos, padrões de tráfego, alguns parâmetros de combustíveis, fatores de emissão e condições climáticas. Os resultados mostraram que substituir o óleo diesel por gás natural ou biodiesel B10 ou B100 diminui a emissão de poluentes e GEE.

Na China, estudos para a estimativa de consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> por passageiros do transporte urbano foram realizados por meio da metodologia *bottom-up* (HE *et al.*, 2013). A estimativa baseada no comportamento do passageiro nas cidades é diferente das estimativas que levam em conta somente os veículos. A previsão é que em 2030 haja redução de 21% de uso de energia no setor de transportes se houver a promoção de transporte coletivo urbano e limitação do uso de automóvel.

Na Tailândia, Ratanavaraha e Jomnonkawo (2015) realizaram um estudo para prever a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> oriundas do setor de transportes. Foram consideradas cinco variáveis independentes: população, Produto Interno Bruto – PIB, número de veículo de portes pequeno, médio e grande registrados para a previsão da emissão de CO<sub>2</sub>. Foram utilizadas quatro técnicas: regressão log-linear, análise de caminho, séries temporais e estimativa de curva. Os resultados podem ser utilizados pelos órgãos governamentais para que medidas mitigadoras para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> sejam implementadas.

Após breve apresentação da abordagem *bottom-up* e do software TSIS, os detalhes de como foram utilizados no trabalho e os dados pertinentes serão descritos no Capítulo 3.

# CAPÍTULO 3

## METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados a área e os objetos de estudo, os dados necessários e os métodos utilizados para a estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e GEE dos ônibus das linhas troncais da cidade de Uberlândia, MG.

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo foi a cidade de Uberlândia, que está localizada na mesorregião denominada Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no extremo oeste do estado de Minas Gerais. A área do município é de 4.115,206 km<sup>2</sup> e a população estimada em 2015 é de 662.362 habitantes (IBGE, 2014). A frota de veículos em Uberlândia, em agosto de 2015, era de 422.324 veículos, sendo 228.364 automóveis e 1.547 ônibus (DENATRAN, 2015).

O estudo considera os trajetos das linhas de ônibus troncais do Sistema Integrado de Transporte – SIT, que fazem a integração dos terminais urbanos de passageiros periféricos ao Terminal Central, além de outras áreas da cidade que não têm um terminal instalado.

Segundo a Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU, 2015b), o transporte coletivo urbano em Uberlândia é operado pelas empresas Cidade Sorriso de Minas, Autotrans (Turilessa) e São Miguel de Resende Ltda e os terminais são operados pela empresa Comtec. A frota é composta por 422 ônibus cuja idade média é de 5 anos. Os ônibus são submetidos à manutenção preventiva, conforme especificado pelo fabricante e para manter a garantia dos veículos por terem sido adquiridos por financiamento do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Os ônibus utilizam como combustível óleo diesel S10 ou S50 e o coeficiente de consumo de combustível é de 0,50 L/km para o ônibus mais representativo da frota, o pesado ou Padron (PMU, 2015b)

O SIT foi implantado em Uberlândia em julho de 1997 com o propósito de eliminar gastos excessivos para a população e agilizar a locomoção de um ponto para outro no município. Segundo a Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU, 2015), os objetivos do SIT consistem em eliminar os transbordos excessivos, racionalizar o sistema na busca de maiores produtividade e qualidade e agilizar o serviço de transporte urbano. Nos terminais, o usuário do SIT se desloca para qualquer ponto da cidade pagando somente uma tarifa e mudando de ônibus nos terminais ou estações.

Os ônibus que trafegam nas linhas troncais são identificados pela cor amarela e sua nomenclatura é dada por quatro dígitos, sendo o primeiro a letra T, de troncal, o segundo indica o terminal de origem da linha, o terceiro o terminal de destino e o quarto o número da linha. As linhas a serem estudadas neste trabalho são:

- T101 – Morumbi – Terminal Central
- T102 – Canaã – Terminal Central
- T103 – Morumbi – Terminal Central
- T104 – Morumbi – Terminal Central (Semi-expresso)
- T105 – Luizote/Mansour/Martins – Terminal Central
- T120 – Terminal Umuarama – Luizote (Via Luizote III)
- T121 – Terminal Umuarama – Luizote (Mansour)
- T122 – Terminal Umuarama – Terminal Central
- T123 – Algar Tecnologia – Terminal Central (via Terminal Umuarama – FMC)
- T126 – Algar Tecnologia – Terminal Umuarama (CSC Algar)
- T131 – Terminal Santa Luzia – Terminal Central
- T132 – Terminal Santa Luzia – Terminal Central
- T140 – Terminal Planalto – Terminal Central
- T141 – Terminal Planalto – Terminal Central
- T142 – Terminal Planalto – Terminal Central
- T144 – Terminal Planalto – Terminal Central
- T151 – Terminal Industrial – Terminal Central

Na Figura 3 podem ser observadas, na área urbana de Uberlândia, as linhas troncais, os terminais, as paradas de ônibus e as estações do corredor da Avenida João Naves de Ávila.

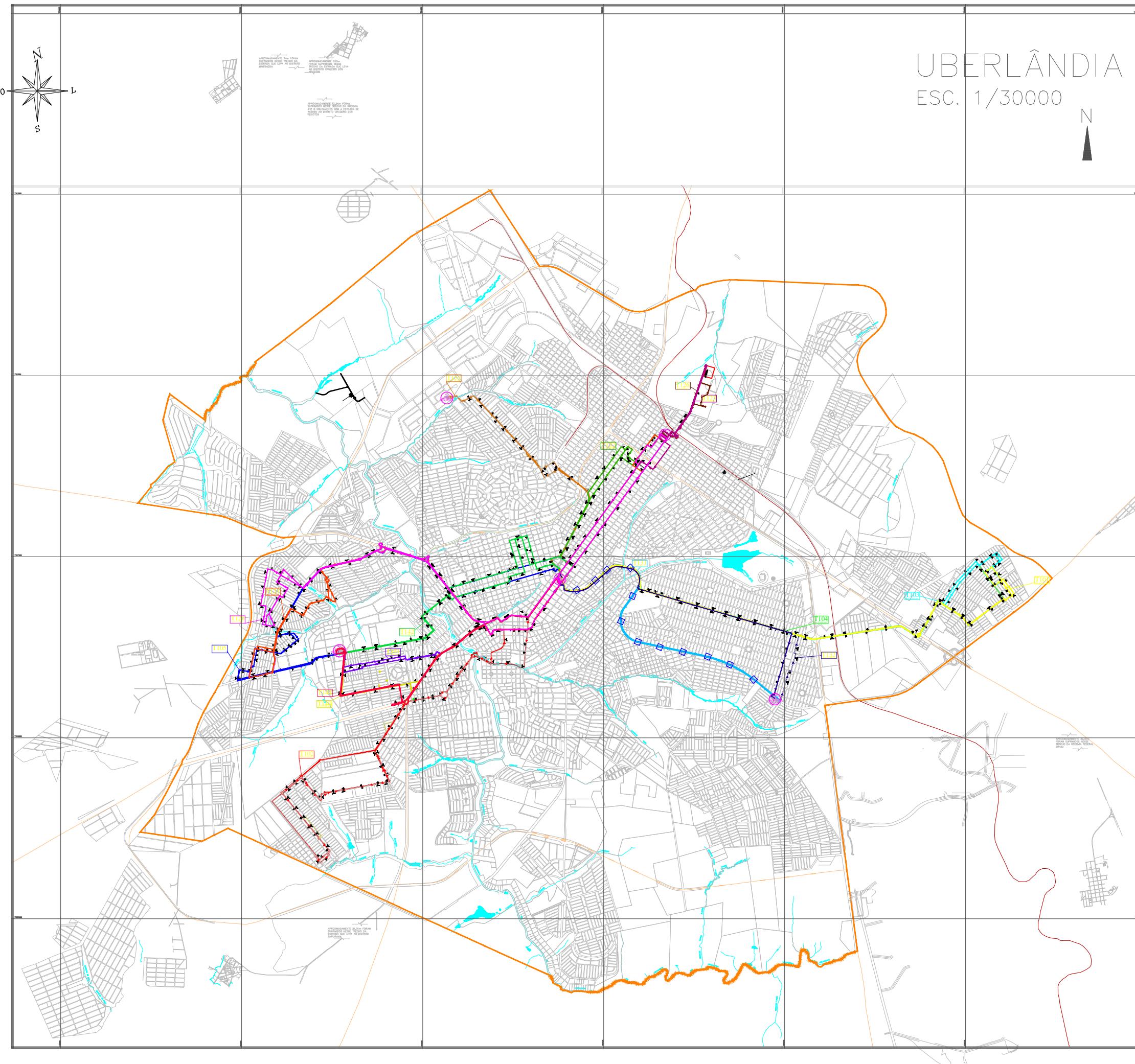


Figura 3 - Mapa das linhas troncais da cidade de Uberlândia

#### Legenda

- Linhas Troncais**
- T101
- T102
- T103
- T104
- T105
- T120
- T121
- T122
- T123
- T126
- T131
- T132
- T140
- T141
- T142
- T144
- T151
- Terminais
- Estações
- Pontos com Abrigo de Concreto
- Pontos com Placa em Poste Cemig
- Pontos com Placa em Poste Cemig com marquise
- Pontos com Placa em Pontalete
- Pontos com Placa em Pontalete com marquise

### 3.2 Estrutura e metodologia da pesquisa

Para se obter o traçado de cada linha em estudo, recorreu-se à Ordem de Serviço da Linha – OSL, em que todas as características das linhas estão inseridas: tipo de linha; concessionária; extensão do trajeto; tempo de viagem, descanso e ciclo; número de viagens, frota e quilometragem referentes a dias úteis, fins de semana e feriados; itinerário de ida e de volta; intervalo de horários; quadro de horários; e um mapa com o itinerário da linha de ônibus. Na Tabela 7 são observadas as extensões de cada linha e o tempo total gasto nos trajetos.

Tabela 7 – Extensão e tempo de viagem de cada linha troncal

Linha	Extensão (km)			Tempo de viagem total (ida e volta)
	Ida	Volta	Total	
T101	13,30	13,50	26,80	01:15
T102	13,10	12,40	25,50	01:10
T103	13,10	12,50	25,60	01:15
T104	12,60	12,40	25,00	00:45
T105	13,20	13,90	27,10	01:20
T120	15,60	15,20	30,80	01:34
T121	15,40	15,40	30,80	01:32
T122	5,70	5,60	11,30	00:39
T123	6,80	6,60	13,40	00:37
T126	2,90	2,30	5,20	00:18
T131	7,40	7,80	15,20	00:50
T132	8,00	8,10	16,10	00:58
T140	8,20	7,20	15,40	00:45
T141	6,50	6,30	12,80	00:45
T142	8,30	8,10	16,40	00:55
T144	8,30	7,80	16,10	00:52
T151	6,90	6,80	13,70	00:40

Fonte: PMU (2015a).

Somente o traçado de cada linha não é um fator determinante para se avaliar a emissão de poluentes gasosos ou particulados de fonte móveis veiculares no caso de ônibus urbanos. Fatores topográficos, velocidades dos veículos e as regulamentadas nas vias, tipos de veículos e sinalizações são fatores importantes que influenciam na emissão de poluentes pelos escapamentos.

Para os fatores topográficos foi conseguido, junto à Prefeitura Municipal de Uberlândia, na Diretoria de Banco de Dados, o mapa planialtimétrico da área urbana do município e, assim, foi obtido o greide do traçado das linhas.

### 3.2.1 Elaboração e configuração da rede

A malha viária foi elaborada no TSIS tendo como base o mapa viário de Uberlândia, fornecido pela Prefeitura Municipal de Uberlândia. Os semáforos (localizações e tempos de ciclo) foram obtidos por meio dos Dados Técnicos do Controle de Tráfego em Área – CTA – Estatísticas: Cruzamentos Semaforizados em Uberlândia, MG (BORGES, 2015).

Em um arquivo com extensão (\*.tno) da rede (*network*) foi criada uma malha das linhas de ônibus troncais e foram inseridos atributos nos nós e arcos. Nos nós foram inseridos os movimentos permitidos (conversão à direita, conversão à esquerda, segue reto), a programação dos semáforos dos cruzamentos e a porcentagem dos veículos que farão cada movimento permitido. Nos arcos foram inseridos os nomes das vias, as distâncias entre os nós (que podem ser ajustadas), a velocidade máxima permitida na via, o greide (obtido a partir das curvas de níveis do mapa planialtimétrico da área urbana do município e as distâncias de cada arco), a largura e o número de faixas, além das especificações de cada faixa (somente ônibus, conversão a esquerda, conversão a direita, segue reto, todos os movimentos permitidos pela geometria do cruzamento), as paradas de ônibus etc.

As paradas ou estações de ônibus foram inseridas na aba “Estação de ônibus” na caixa de diálogo do arco correspondente. Foram colocados o número da estação, que em cada rede não deve ultrapassar 99 estações, pois esse é o limite na rede; se o ônibus bloqueia o tráfego nas paradas para embarque ou desembarque; a localização da estação, de acordo com a distância ao nó a jusante; e a capacidade da estação, que especifica a quantidade máxima de veículos que podem parar de uma vez. Também foram inseridos o tempo médio de permanência de cada ônibus para realizar o embarque e desembarque e o tipo de estação que, de acordo com um número aleatório da tabela de distribuição de porcentagem do tempo médio de permanência, estima por quanto tempo o ônibus vai permanecer na estação.

Ainda no arquivo com extensão \*.tno da rede (*network*) foi inserida a linha de ônibus em estudo. Na caixa de diálogo das “Propriedades da Rota de Ônibus” são inseridos o número da linha, o trajeto dos ônibus por nós, as paradas ou estações que fazem parte da linha de ônibus, e o intervalo médio de tempo (em segundos) entre viagens consecutivas da mesma linha. Se existem duas linhas de ônibus com o mesmo trajeto na rede, a opção *offset* é

usada para compensar o tempo que os ônibus são lançados em uma das linhas, em que o primeiro ônibus pode atrasar e os próximos ônibus são lançados de acordo com o intervalo médio.

As propriedades da rede foram alteradas de acordo com os dados que foram obtidos através da OSL de cada linha e das informações da PMU. Para todas as linhas de ônibus foram utilizados os períodos de tempo de duração de pelo menos uma viagem (ida e volta), para que se pudesse simular uma viagem inteira da linha. Para a simulação foram utilizadas as tabelas ambientais e de aceleração, ambas padrão fornecidas pelo *software*, sendo que as tabelas específicas para cada linha são gravadas no arquivo de trajetória de acordo com o combustível e emissão de poluentes (HC, CO e NO<sub>x</sub>).

Os tipos de veículos permitidos no TSIS são (Figura 4): automóveis (Auto) (VEHICLE TYPE 1 e 5), caminhões (Truck) (VEHICLE TYPE 2, 6, 7 e 8), ônibus (Bus) (VEHICLE TYPE 4), e veículos compartilhados (Carpool) (VEHICLE TYPE 3 e 9) e foram alterados de acordo com as especificações do trabalho. As ocupações médias dos automóveis e ônibus foram modificadas, respectivamente, para 1,5 pessoa/automóvel e 70 passageiros/ônibus (lotação média de passageiros, incluídos sentados e em pé, considerando veículo do tipo Padron). Especificações quanto ao combustível utilizado em cada tipo de veículo não foram modificadas, pois o *software* não permite. As características e especificações de cada veículo podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Características e especificações de cada veículo

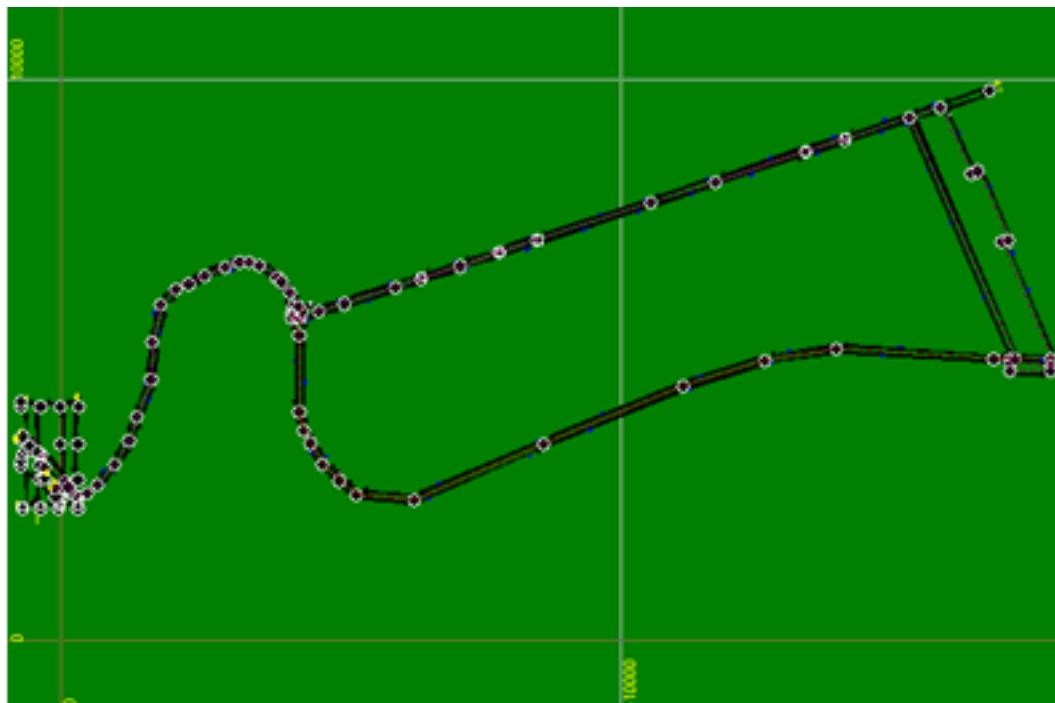
NETSIM VEHICLE TYPE SPECIFICATIONS								
VEHICLE TYPE	LENGTH FEET/METERS	Q DSCHG HDWY FACTOR (PCT)	Avg. OCCUP.	FLEET AUTO	COMPONENT TRUCK	PERCENTAGES CARPOOL	PERCENTAGES BUS	PERF. INDEX
1	16.0/ 4.9	100	1.5	75	0	0	0	2
2**	35.0/ 10.7	120	1.2	0	100	0	0	3
3**	16.0/ 4.9	100	2.5	0	0	100	0	2
4	40.0/ 12.2	120	70.0	0	0	0	100	7
5	14.0/ 4.3	100	1.5	25	0	0	0	1
6**	53.0/ 16.2	120	1.2	0	0	0	0	4
7**	53.0/ 16.2	120	1.2	0	0	0	0	5
8**	64.0/ 19.5	120	1.2	0	0	0	0	6
9**	14.0/ 4.3	100	2.5	0	0	0	0	1

\*\* INDICATES THAT ALL PARAMETERS FOR VEHICLE TYPE ASSUME DEFAULT VALUES

Fonte: TSIS (2015).

A rede entre o Terminal Central e o Terminal Santa Luzia, em que foram inseridos os trajetos das linhas T131 e T132, pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Rede para inserção dos trajetos das linhas T131 e T132 na ferramenta TRAFED do TSIS



Fonte: TSIS (2015).

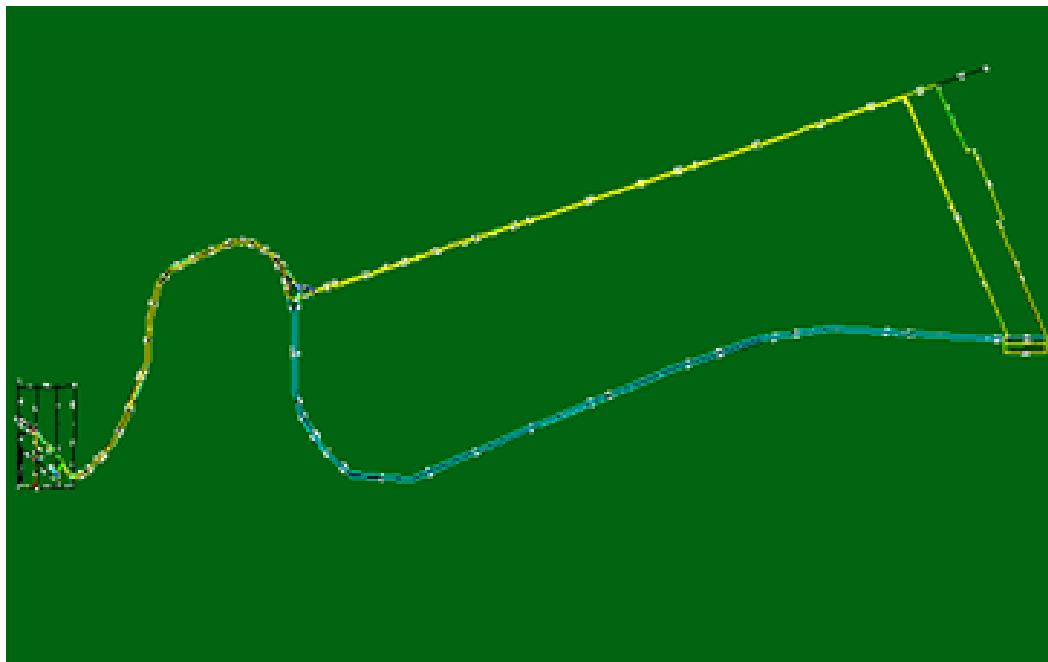
Com a rede pronta foram realizadas as simulações em que se obteve, primeiramente, um arquivo contendo os dados da configuração da rede (*Simulation*) de extensão (\*.trf) por meio da função (*Translator*). Desse arquivo foi realizado o procedimento CORSIM, que gera um arquivo de extensão (\*.out) (*Output*) com resultados contendo os indicadores de desempenho, como seguem:

- O consumo de combustível, em galões, de cada tipo de veículo (1 e 5 – automóveis; 2, 6, 7 e 8 – caminhões; 4 – ônibus; 3 e 9 – veículos compartilhados; 10 a 16 – veículos definidos pelo usuário do *software*), que é calculado por arcos e leva em conta tabelas de taxas ambientais por tipo de combustível;
- Emissão de poluentes (HC, CO e NO<sub>x</sub>), em gramas/milhas, de automóveis e caminhões também é calculado por arcos e leva em conta tabelas de taxas ambientais para cada poluente.

Para a reprodução do cenário criado, do arquivo (\*.trf), por meio da função TRAFVU obtém-se a animação, que mostra o deslocamento dos veículos e a realização de manobras ajustadas com as fases dos semáforos, como se estivessem operando em tempo real. Os

trajetos das linhas T131 e T132 podem ser observados na Figura 6. Os outros trajetos podem ser observados no Apêndice 3.

Figura 6 – Trajetos das linhas T131 (em azul) e T132 (em amarelo) na ferramenta TRAFVU do TSIS.



Fonte: TSIS (2015).

### 3.3 Procedimento teórico

Para avaliar emissão de poluentes por ônibus urbanos que compõem as linhas troncais do SIT foram utilizadas a abordagem *bottom-up* (Equação 1) e a simulação do TSIS. As atividades consideradas na abordagem foram a distância percorrida e o consumo de combustível. Como o foco do trabalho são os ônibus, os poluentes calculados foram o MP, o NO<sub>x</sub>, além do GEE CO<sub>2</sub>.

Na abordagem *bottom-up* foram utilizados os fatores de emissão de poluentes atmosféricos MP e NO<sub>x</sub> e o GEE CO<sub>2</sub> para o modo de transporte rodoviário e por tipo de combustível, como pode ser observado na Tabela 8

Tabela 8 – Fatores de emissões de poluentes atmosféricos MP e NO<sub>x</sub> e o GEE CO<sub>2</sub> para o modo rodoviário e por tipo de combustível

<b>Combustível</b>	<b>MP [g/km]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [g/km]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [kg/L]</b>
Diesel – caminhões <sup>(1)</sup>	Semileves	0,003	0,511
	Leves	0,007	0,771
	Médios	0,007	1,025
	Semipesados	0,016	1,645
	Pesados	0,014	1,544
Diesel – ônibus <sup>(2)</sup>	Micro-ônibus	0,012	1,257
	Rodoviários	0,018	1,750
	Urbanos	0,020	2,103
Gasolina C <sup>(3)</sup> (22% de etanol anidro)	0,011	0,030	2,671
Gasolina C <sup>(4)</sup> (22% de etanol anidro)	0,011	0,030	2,260
Gás natural veicular	–	0,290	1,999
Etanol anidro <sup>(5)</sup>	–	–	1,233
Etanol hidratado <sup>(5, 6)</sup>	–	0,030	1,178
Biodiesel <sup>(7)</sup>	0,438	14,73	0,588

(1) Caminhões – Proconve P7 (fabricado em 2012). (2) Ônibus – Proconve P7 (fabricado em 2012). (3) Automóvel a gasolina (fabricado em 2012). (4) Automóvel flexível (flex-fuel) usando gasolina C (fabricado em 2012). (5) Álcool de cana-de-açúcar. (6) Automóvel a gasolina (fabricado em 2012). (7) Biodiesel de soja. Fonte: Mattos (2001); Dubeux (2007); Brasil (2014) (adaptada).

### 3.3.1 Abordagem *bottom-up* utilizando a distância percorrida

Na abordagem *bottom-up* considerando a distância percorrida foi utilizado o trajeto de cada linha. Essa abordagem foi utilizada para calcular a emissão de poluentes MP e o NO<sub>x</sub>, e o GEE CO<sub>2</sub>, tanto para o combustível diesel quanto para o etanol (Equação 2).

$$\text{Emissões}_i = F \cdot \text{FE}_{iab} \cdot \text{km média} \quad (2)$$

Em que:

Emissões<sub>i</sub>: correspondem às emissões de um gás *i* (kg ou g);

F: Número de viagens;

FE: fator de emissão do gás *i* (kg/km ou g/km); *i*: tipo de poluente (MP, NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>); *a*:

tipo de combustível (diesel, etanol); *b*: tipo de veículo (ônibus) (Tabela 8);

km média: distância média percorrida (km).

Para o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub>, como o fator de emissão é dado em kg/L e a atividade considerada é a distância percorrida, foi necessária uma transformação de unidades. Considerando que este estudo foi feito em função dos ônibus urbanos e que o valor do consumo de diesel dos ônibus que operam em Uberlândia é de 0,5 L/km, pode-se obter a quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitido por quilômetro:

Quantidade de CO<sub>2</sub> por quilômetro = Fator de emissão CO<sub>2</sub> · consumo de óleo diesel

$$\text{Quantidade de CO}_2 \text{ por quilômetro} = 2,671 \text{ kg/L} \cdot 0,5 \text{ L/km} = 1,336 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{km}$$

Assim, no método *bottom-up*, com os fatores de emissões de poluentes em g/km ou kg/km, basta multiplicar a quilometragem média percorrida pelos ônibus das linhas troncais do SIT pelo fator de emissão de CO<sub>2</sub>, de MP e de NO<sub>x</sub> na Equação 2, para se obter a emissão desses elementos na atmosfera.

### 3.3.2 Abordagem *bottom-up* utilizando consumo de combustível

Na abordagem *bottom-up* considerando o consumo de combustível foi utilizado resultado obtido por meio de simulação na ferramenta CORSIM do TSIS. O *software* não gera resultados de emissões de poluentes para ônibus.

Na simulação, o consumo de combustível leva em conta todo o trajeto dos ônibus (aceleração, desaceleração, paradas em pontos de ônibus, paradas obrigatórias e semáforos, além dos outros veículos nas vias). A unidade de medida no resultado gerado por meio de simulação é dado em galões e, por isso, transformado em litros para os cálculos.

A abordagem *bottom-up* juntamente com as simulações no TSIS foram utilizadas para o cálculo de emissões do GEE CO<sub>2</sub> em que foi utilizada a (Equação 3).

$$\text{Emissões}_i = F \cdot FE_{iab} \cdot L_a \quad (3)$$

Em que:

Emissões<sub>i</sub>: correspondem às emissões de um gás *i* (kg);

F: Número de viagens;

FE: fator de emissão do gás *i* (kg/L); *i*: tipo de poluente (CO<sub>2</sub>); *a*: tipo de combustível (óleo diesel); *b*: tipo de veículo (ônibus) (Tabela 8);

L<sub>a</sub>: quantidade média de combustível consumido durante o trajeto (L); *a*: tipo de combustível (óleo diesel).

Assim, na abordagem *bottom-up* ao utilizar *a* como fator de emissão de poluentes em kg/L e com a quantidade média de combustível (em litros) consumida durante o trajeto foi obtida a emissão de CO<sub>2</sub>.

Este capítulo teve o objetivo de apresentar o SIT de Uberlândia e os dados e procedimentos necessários para a estimativa de emissão de poluentes e GEE dos ônibus das linhas troncais que operam na cidade. No Capítulo 4 são apresentados os resultados deste trabalho.

## CAPÍTULO 4

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões. Para obtê-los foram utilizadas as metodologias comentadas nos Capítulos 2 e 3.

Com o objetivo de analisar o desempenho da abordagem *bottom-up*, para calcular a emissão de poluentes provenientes de ônibus em Uberlândia, aplicou-se a metodologia nas linhas troncais do SIT para quantificar os poluentes MP e NO<sub>x</sub> e o GEE CO<sub>2</sub>.

Para a análise das emissões foram utilizados os fatores de emissões: 1,336 kg/km para o CO<sub>2</sub>, 0,020 g/km para o MP e 2,103 g/km para o NO<sub>x</sub>. A abordagem *bottom-up*, quando aplicada a distância média percorrida pode fornecer uma noção das emissões dos poluentes atmosféricos e dos GEE, mas pode levar a interpretações errôneas. Isso acontece por não se considerar que as massas efetivamente emitidas dependem não só da extensão do trajeto, mas também da declividade dos trechos e do tipo de operação dos motores (marcha lenta, aceleração, aceleração constante e desaceleração). Mesmo assim, por meio da Equação 2 foram quantificadas a emissão de CO<sub>2</sub>, MP e NO<sub>x</sub> para cada viagem como pode ser observado na Tabela 9 e nos mapas do Apêndice 1.

Para quantificar a emissão de poluentes e GEE no ano foi obtido o número das viagens diárias em todos os dias da semana na OSL, multiplicou-se pela distância percorrida em uma viagem e, como um ano tem, em média, 253 dias úteis, 52 sábados e 61 domingos e feriados obteve-se a distância percorrida por cada linha em um ano. Como exemplo a linha de ônibus T131, cuja extensão total é de 15,2 km, são realizadas 188 viagens diárias em dias úteis, 145 viagens nos sábados e 109 viagens em domingos e feriados. Por ano são 972.633 km rodados pelos ônibus da linha T131. As emissões podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 9 – Emissão de CO<sub>2</sub>, MP e NO<sub>x</sub> em uma viagem das linhas de ônibus

Linhas	Extensão das linhas (km)	CO <sub>2</sub> (kg/viagem)	MP (g/viagem)	NO <sub>x</sub> (g/viagem)
<b>T101</b>	26,8	35,7914	0,536	56,3604
<b>T102</b>	25,5	34,05525	0,51	53,6265
<b>T103</b>	25,6	34,1888	0,512	53,8368
<b>T104</b>	25	33,3875	0,5	52,575
<b>T105</b>	27,1	36,19205	0,542	56,9913
<b>T120</b>	30,8	41,1334	0,616	64,7724
<b>T121</b>	30,8	41,1334	0,616	64,7724
<b>T122</b>	11,3	15,09115	0,226	23,7639
<b>T123</b>	13,4	17,8957	0,268	28,1802
<b>T126</b>	5,2	6,9446	0,104	10,9356
<b>T131</b>	15,2	20,2996	0,304	31,9656
<b>T132</b>	16,1	21,50155	0,322	33,8583
<b>T140</b>	15,4	20,5667	0,308	32,3862
<b>T141</b>	12,8	17,0944	0,256	26,9184
<b>T142</b>	16,4	21,9022	0,328	34,4892
<b>T144</b>	16,1	21,50155	0,322	33,8583
<b>T151</b>	13,7	18,29635	0,274	28,8111

Fonte: A autora.

Tabela 10 – Emissão de CO<sub>2</sub>, MP e NO<sub>x</sub> em um ano

Linhas	Extensão total/viagem	Viagens diárias			Extensão percorrida por ano	CO <sub>2</sub> (kg/ano)	MP (g/ano)	NO <sub>x</sub> (g/ano)
		Dias úteis	Sábados	Domingos e feriados				
<b>T101</b>	26,8	53	45	33	476.021,60	635.726,85	9.520,43	1.001.073,42
<b>T102</b>	25,5	108,5	72	50	921.633,75	1.166.205,01	17.464,70	1.836.412,68
<b>T103</b>	25,6	52	45	33	457.548,80	598.611,70	8.964,61	942.628,53
<b>T104</b>	25	6,5	0	0	49.562,50	54.905,74	822,25	86.459,59
<b>T105</b>	27,1	69	47,5	38,5	633.963,85	806.196,01	12.073,32	1.269.509,70
<b>T120</b>	30,8	113,5	73,5	54	167.674,20	1.473.871,42	22.072,20	2.320.892,25
<b>T121</b>	30,8	112,5	72,5	54	158.280,20	1.461.325,74	21.884,32	2.301.136,67
<b>T122</b>	11,3	74	59	43	284.680,90	368.420,24	5.517,34	580.148,09
<b>T123</b>	13,4	86,5	70	0	353.525,50	456.778,79	6.840,57	719.285,51
<b>T126</b>	5,2	76	51	56	138.299,20	175.670,60	2.630,78	276.626,94
<b>T131</b>	15,2	188	145	109	972.632,80	1.253.561,20	18.772,91	1.973.971,70
<b>T132</b>	16,1	119	69	65	648.186,00	809.748,37	12.126,52	1.275.103,58
<b>T140</b>	15,4	60	48	37	316.577,80	409.956,03	6.139,36	645.554,12
<b>T141</b>	12,8	112	75	56	480.972,80	609.449,55	9.126,91	959.694,80
<b>T142</b>	16,4	53	38	37	302.120,80	386.398,61	5.786,58	608.458,47
<b>T144</b>	16,1	33	20	19	180.706,40	226.798,35	3.396,46	357.137,35
<b>T151</b>	13,7	75	59	50	355.172,50	459.110,31	6.875,48	722.956,93
		Total	11.352.734,53		170.014,74	17.877.050,33		

Fonte: A autora.

Na Região Metropolitana de São Paulo, em 2014, houve a emissão de 5 mil t de MP e 71 mil t de NO<sub>x</sub> e, desses totais, os veículos são responsáveis por 40% de MP e 78% de NO<sub>x</sub>.

(CETESB, 2015). Considerando que a frota de veículos em São Paulo, em dezembro de 2014, era de 7.323.775 veículos, sendo 42.917 ônibus (DENATRAN, 2015). Dentre esses ônibus, 14.798 compõem a frota de ônibus de transporte coletivo urbano de São Paulo (SPTRANS, 2015). Tem-se, então, 0,2% da frota total de veículos composta por ônibus de transporte público, que foram responsáveis por 4,04 t/ano de MP e 111,90 t/ano de NO<sub>x</sub>.

A frota de ônibus de transporte público em Uberlândia é de 422 ônibus, que representa 3% da frota paulistana. Levando-se em consideração que, pela abordagem *bottom-up*, as linhas troncais emitem 0,178 t/ano de MP e 18,71 t/ano de NO<sub>x</sub>, e que isso representa 4% de MP e 16% de NO<sub>x</sub> comparados a São Paulo, o valor de emissão em Uberlândia é grande.

Em 2012, os ônibus urbanos no Brasil que usam óleo diesel como combustível emitiram 14 milhões t/ano de CO<sub>2</sub> e os que usam biodiesel emitiram 655 mil t/ano (BRASIL, 2014). No mesmo ano, eram 514.980 ônibus urbanos em todo o Brasil (DENATRAN, 2015). Sendo assim, a frota de ônibus em Uberlândia correspondia a 0,08% da frota brasileira e a emissão de CO<sub>2</sub> correspondeu a menos de 1% da brasileira em 2012.

Com o objetivo de analisar o desempenho do TSIS, sabendo-se da limitação do não fornecimento da emissão de poluentes para ônibus, e somente para automóveis e caminhões, foi utilizada a simulação de tráfego para se calcular o consumo de combustível das linhas troncais. Com o consumo de combustível aplicou-se a abordagem *bottom-up* para as emissões de CO<sub>2</sub>, por meio da Equação 3. No TSIS, o consumo de combustível é dado em galões e foi necessária fazer a conversão de unidades de galões para litros. Na Tabela 11 tem-se a emissão de CO<sub>2</sub> pelos ônibus das linhas descritas. A partir da emissão de GEE em cada viagem de cada linha foi elaborado o mapa do Apêndice 2.

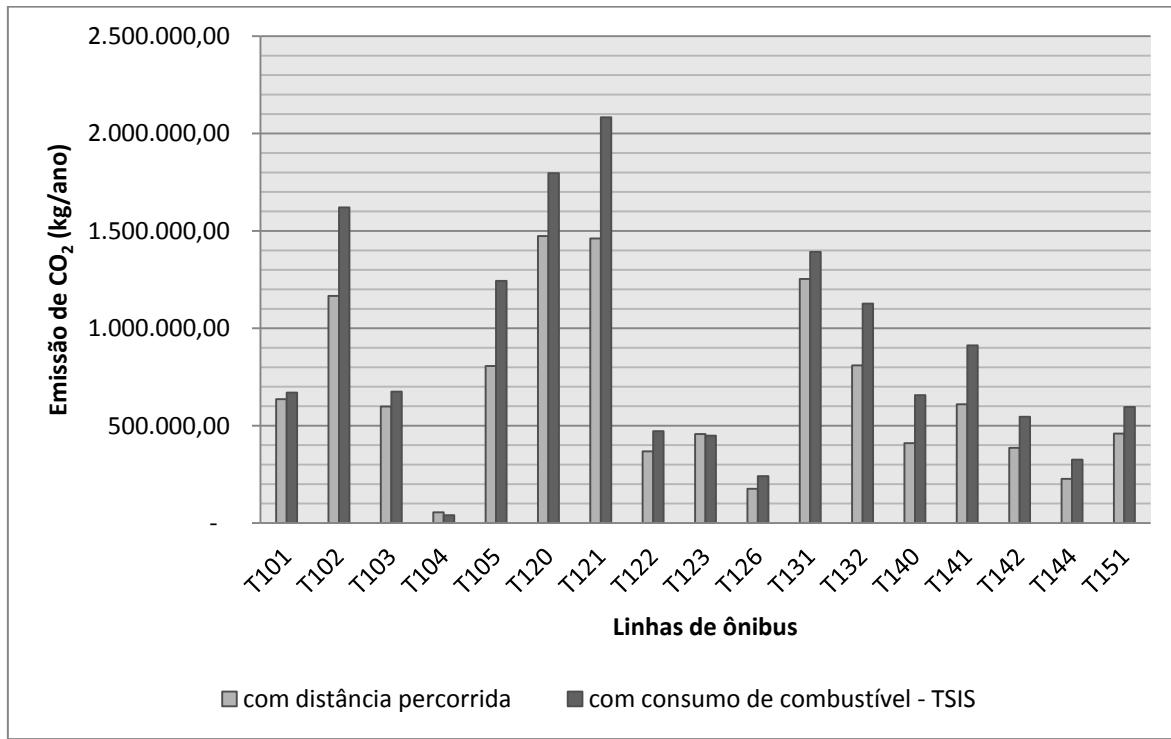
A partir dos valores referentes à emissão de CO<sub>2</sub> das Tabelas 10 e 11 foi obtido o gráfico de comparação entre as emissões obtidas por meio de distância percorrida e consumo de combustível (Figura 7).

Tabela 11 – Emissão de CO<sub>2</sub> obtido a partir do consumo de combustível na simulação no TSIS

Linhas	Consumo de diesel por viagem		CO <sub>2</sub> (kg/viagem)	Viagens/ano	CO <sub>2</sub> (kg/ano)
	Galões	Litros			
<b>T101</b>	3,73	14,11958	37,7134	17.762	669.865,35
<b>T102</b>	4,68	17,71572	47,31868	34.244,5	1.620.404,71
<b>T103</b>	3,81	14,42241	38,52226	17.509	674.486,30
<b>T104</b>	2,40	9,084984	24,26599	1.644,5	39.905,42
<b>T105</b>	5,52	20,89546	55,81178	22.275,5	1.243.235,36
<b>T120</b>	4,96	18,77563	50,14972	35.831,5	1.796.939,60
<b>T121</b>	5,80	21,95538	58,64281	35.526,5	2.083.373,95
<b>T122</b>	1,91	7,230133	19,31169	24.413	471.456,19
<b>T123</b>	1,74	6,586613	17,59284	25.524,5	449.048,56
<b>T126</b>	0,94	3,558285	9,50418	25.296	240.417,75
<b>T131</b>	2,23	8,441464	22,54715	61.753	1.392.354,23
<b>T132</b>	2,96	11,20481	29,92806	37.660	1.127.090,63
<b>T140</b>	3,26	12,34044	32,96131	19.933	657.017,76
<b>T141</b>	2,53	9,577087	25,5804	35.652	911.992,43
<b>T142</b>	3,06	11,58335	30,93914	17.642	545.828,31
<b>T144</b>	3,05	11,5455	30,83803	10.548	325.279,56
<b>T151</b>	2,35	8,895714	23,76045	25.093	596.220,99
				Total	14.844.917,02

Fonte: A autora.

Figura 7 – Gráfico de comparação entre as emissões de CO<sub>2</sub> obtidas por meio da distância percorrida e do consumo de combustível.



Fonte: A autora.

Considerando o gráfico da Figura 7 pode-se observar que quando o tráfego é simulado e se leva em consideração o consumo de combustível, e não apenas a distância percorrida, as emissões resultaram mais altas, o que pode ser um retrato mais fiel da emissão do GEE CO<sub>2</sub>.

Outro objetivo foi comparar as emissões de poluentes referentes ao combustível utilizado na frota atual, o óleo diesel, e um combustível alternativo, o etanol. Seria necessária uma mudança na frota para ônibus a etanol em que a autonomia é de 1,03 km/L, ou seja, 0,970 L/km (ÚNICA, 2011), valor maior que para o ônibus a diesel. Foi aplicada a mesma metodologia aplicada para ônibus a diesel para estimar a emissão de CO<sub>2</sub> (fator de emissão 1,178 kg/L), MP (o fator de emissão é zero) e NO<sub>x</sub> (fator de emissão 0,03 g/km) e os resultados podem ser observados na Tabela 12.

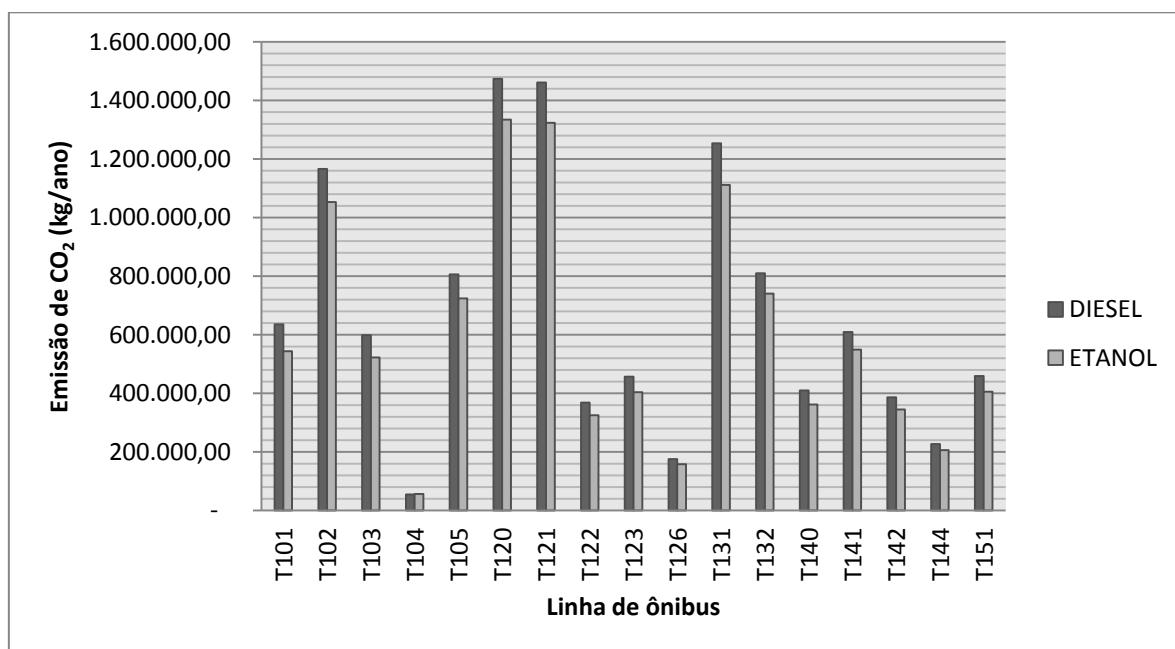
Tabela 12 – Emissão de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> com etanol como combustível

Linhas	Extensão das linhas (km)	CO <sub>2</sub> (kg/viagem)	NO <sub>x</sub> (g/viagem)	Extensão percorrida por ano (km)	CO <sub>2</sub> (kg/ano)	NO <sub>x</sub> (g/ano)
<b>T101</b>	26,8	30,62329	0,804	476.021,60	543.930,84	14.280,65
<b>T102</b>	25,5	29,13783	0,765	921.633,75	1.053.114,02	27.649,01
<b>T103</b>	25,6	29,2521	0,768	457.548,80	522.822,71	13.726,46
<b>T104</b>	25	28,5665	0,75	49.562,50	56.633,09	1.486,88
<b>T105</b>	27,1	30,96609	0,813	633.963,85	724.405,13	19.018,92
<b>T120</b>	30,8	35,19393	0,924	167.674,20	1.334.254,60	35.030,23
<b>T121</b>	30,8	35,19393	0,924	158.280,20	1.323.520,45	34.748,41
<b>T122</b>	11,3	12,91206	0,339	284.680,90	325.293,48	8.540,43
<b>T123</b>	13,4	15,31164	0,402	353.525,50	403.959,45	10.605,77
<b>T126</b>	5,2	5,941832	0,156	138.299,20	158.028,96	4.148,98
<b>T131</b>	15,2	17,36843	0,456	972.632,80	1.111.388,60	29.178,98
<b>T132</b>	16,1	18,39683	0,483	648.186,00	740.656,21	19.445,58
<b>T140</b>	15,4	17,59696	0,462	316.577,80	361.740,79	9.497,33
<b>T141</b>	12,8	14,62605	0,384	480.972,80	549.588,38	14.429,18
<b>T142</b>	16,4	18,73962	0,492	302.120,80	345.221,35	9.063,62
<b>T144</b>	16,1	18,39683	0,483	180.706,40	206.485,98	5.421,19
<b>T151</b>	13,7	15,65444	0,411	355.172,50	405.841,41	10.655,18
		Total		10.166.885,45	266.926,79	

Fonte: A autora.

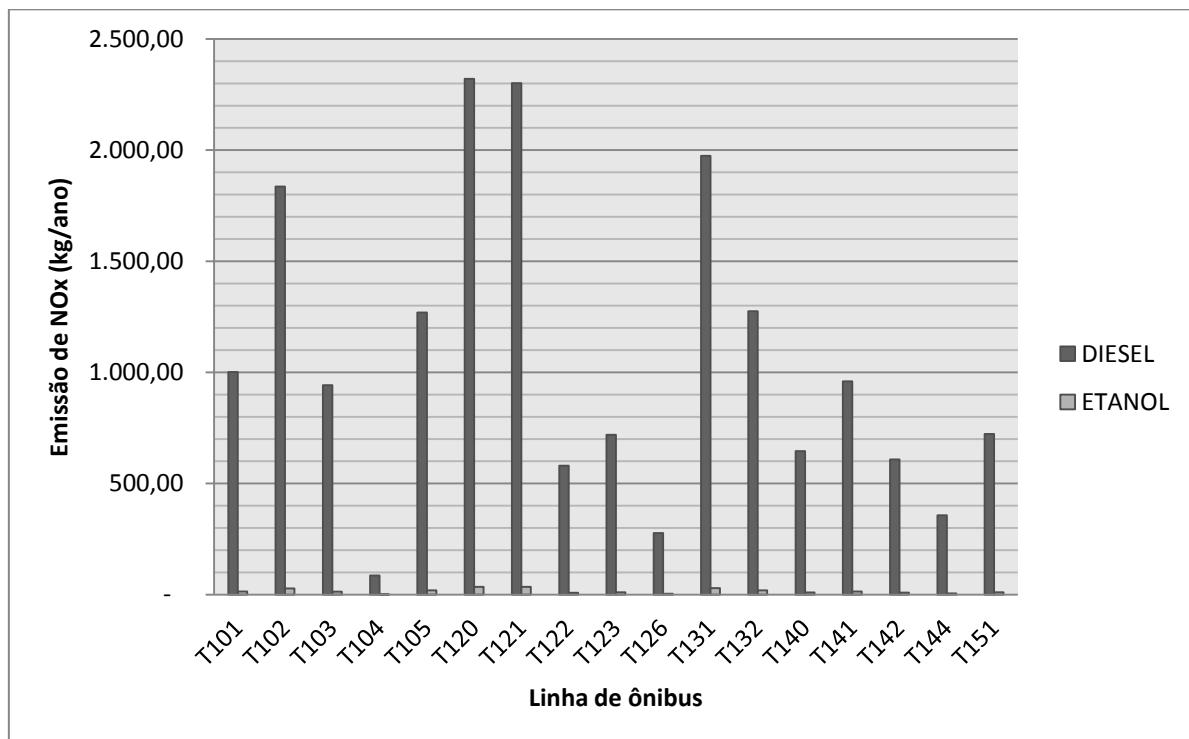
A partir das Tabelas 10 e 12 conclui-se que, anualmente, os ônibus das linhas troncais movidos a óleo diesel emitem 11,66% a mais de CO<sub>2</sub> do que os movidos a etanol e 66,97 vezes a mais de NO<sub>x</sub>. Com os valores de emissões anuais de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> obtidos com os combustíveis diesel e etanol foram obtidos gráficos de comparação entre a emissão do GEE (Figura 8) e poluente (Figura 9) por ônibus utilizando os diferentes combustíveis.

Figura 8 – Gráfico de comparações entre as emissões de CO<sub>2</sub> obtidas com ônibus a óleo diesel e a etanol



Fonte: A autora.

Figura 9 – Gráfico de comparação entre as emissões de NO<sub>x</sub> obtidas com ônibus a óleo diesel e a etanol



Fonte: A autora.

Comparando-se os gráficos das Figuras 8 e 9 pode-se perceber que o ônibus a etanol emite menos poluente e GEE na atmosfera, sendo um combustível mais limpo do ponto de vista ambiental. Apesar do fator de emissão do material particulado em função do combustível etanol ser zero, usar o etanol provoca 90% menos emissão de MP que o diesel (ÚNICA, 2011).

Ao se aplicar a abordagem *bottom-up* comprovou-se que utilizar o etanol como combustível no lugar do óleo diesel é melhor do ponto de vista ambiental, em que as emissões de CO<sub>2</sub>, MP e NO<sub>x</sub> são menores. Mudar a tecnologia dos ônibus das frotas em Uberlândia, para se utilizar o etanol, seria uma medida mitigadora aplicável para a redução da emissão de poluentes e GEE na atmosfera.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

O sistema de transporte rodoviário causa impactos negativos no ambiente e na saúde da população, sobretudo nos grandes centros. A emissão de poluentes pelos escapamentos dos veículos, os ruídos gerados pelos veículos e a degradação da paisagem urbana são impactos que interferem na qualidade de vida da população, podendo acarretar doenças. Muitos desses impactos podem ser reduzidos com medidas mitigadoras ou com a simples remoção das fontes de poluição.

Os ônibus urbanos de transporte público movidos a óleo diesel foram o foco do trabalho. Esse combustível, entre os derivados de petróleo, é o que mais contribui para a emissão de óxidos de nitrogênio e material particulado.

Nesse trabalho, por meio de análises com *softwares* e abordagens encontradas na literatura, o TSIS e a abordagem *bottom-up*, respectivamente, foi possível estimar a emissão dos poluentes MP e NO<sub>x</sub> e do CO<sub>2</sub> pelos ônibus das linhas troncais da cidade de Uberlândia.

A estimativa das emissões, levando em conta a distância percorrida e o óleo diesel como combustível, foram de 0,17 t/ano de MP, 17,88 t/ano de NO<sub>x</sub> e 11.352,73 t/ano de CO<sub>2</sub>. Ao se levar em conta o consumo de combustível diesel no trajeto de cada linha, obtido a partir de simulação no TSIS, a emissão de CO<sub>2</sub> resultou em 14.844,91 t/ano, 30,76% maior que o calculado levando em conta a distância percorrida.

Assim, quando é feita uma simulação de tráfego e obtém-se o consumo de combustível para o trajeto, a estimativa da emissão de poluentes e GEE é mais próxima da realidade. O consumo de combustível não leva em conta somente a distância percorrida e, sim, o que há no trajeto que influencia nesse consumo, como o greide das vias, as paradas obrigatórias, os semáforos e as paradas de embarque e desembarque.

Comparando-se os combustíveis óleo diesel e etanol pode-se observar que, anualmente, a emissão de CO<sub>2</sub> por ônibus a diesel é 11,66% maior que de ônibus movidos a etanol e a emissão de NO<sub>x</sub> é 66,97 vezes maior. Isso demonstra que, em relação a emissão de poluentes, o diesel é um combustível que emite mais poluentes na atmosfera que o etanol.

Observou-se que o *software* TSIS possui limitações quanto aos resultados das emissões de poluentes, que são só calculados para automóveis e caminhões, não apresentando resultados para ônibus. Apesar de ser permitido introduzir na rede 16 tipos de veículos, o consumo de combustível é calculado somente para os veículos introduzidos na rede, no caso deste trabalho, os automóveis, um tipo de caminhão e o ônibus, objeto deste estudo. Outra desvantagem consiste em não poder alterar alguns parâmetros, como os tipos de veículos que não são típicos do Brasil, as especificações quanto ao combustível utilizado em cada tipo de veículo, e as regulamentações de trânsito e meio ambiente.

Podem ser adotadas medidas para que se diminuam as emissões, mas todas requerem um esforço conjunto do governo, sociedade e operadores do transporte público. Tais medidas compreendem: mudar a tecnologia dos ônibus da frota de Uberlândia para que use um combustível menos poluente, fazer interferências no tráfego priorizando o tráfego dos ônibus, melhorar o transporte público e incentivar a sociedade a usá-lo.

Recomendações para trabalhos futuros que visam a estimativa de emissões de poluentes ou GEE para ônibus: utilizar outro *software* que não seja o TSIS e levar em consideração combustíveis alternativos para a frota, como o biodiesel.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, A.; HATZOPOULOU, M. Reducing transit bus emissions: Alternative fuels or traffic operations? **Atmospheric Environment**, v. 89, p. 129-139, 2014.

ÁLVARES JUNIOR, O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2002.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 65, de 9 de dezembro de 2011**. Disponível em:  
<[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-%20202011.xml](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-%20202011.xml)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Resolução ANP nº 50, de 23 de dezembro de 2013**. Disponível em:  
<[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2013/dezembro/ranp%2050%20-%20202013.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2013/dezembro/ranp%2050%20-%20202013.xml)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. **Transporte e meio ambiente no Brasil**. Comissão de Transporte e Meio Ambiente da ANTP. Sugestões apresentadas no 18º Congresso da ANTP. Rio de Janeiro, outubro de 2011, 72 p.

BORGES, A. Dados Técnicos do Controle de Tráfego em Área (CTA) Estatísticas: **Cruzamentos Semaforizados em Uberlândia, MG**. 2015. Disponível em:  
<[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/12454.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/12454.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2015.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº. 3, de 28 de junho de 1990. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. Constituição (1993). **Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993**. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Lei Ordinária. Brasília, DF, Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8723.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8723.htm)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Constituição (1997). **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Lei Ordinária. Brasília, DF, Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9503.htm)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº. 315, de 29 de outubro de 2002. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=337>>. Acesso em: 12 maio 2015.

\_\_\_\_\_. **Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, 2010, 2 v. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0213/213909.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (Ano-base 2012). Brasília, 2014.

BROWN, L. Eco-economia Lester Brown. **EPI – Earth Policy Institute**. UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica. 2003. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/18114548/Lester-Brown-Eco-economia-Construindo-Uma-Economia-Para-a-Terra>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Brasília, DF: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2011. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9567](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=9567)>. Acesso em: 14 jun. 2014.

CENTRO CLIMA; COPPE; UFRJ (São Paulo). **Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente – SVMA**. Inventário de emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo. 3. ed. São Paulo, 2005. 135 p. Disponível em: <[http://www.respirasaopaulo.com.br/Inventario\\_SVMA\\_SP.pdf](http://www.respirasaopaulo.com.br/Inventario_SVMA_SP.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CETESB – **COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**. Relatório anual de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2005. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2014. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CNT. **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.cnt.org.br/riomas20/resources/cartilhas/Oleo\\_Diesel\\_Final.pdf](http://www.cnt.org.br/riomas20/resources/cartilhas/Oleo_Diesel_Final.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2015.

CNT; SEST; SENAT. **A fase P7 do Proconve e o impacto no setor de transporte**. 2.ed. Brasília: CNT, 2012.

CRUVINEL, R. R. S; PINTO, P. V. H.; GRANEMANN, S. R. **Mensuração econômica da emissão de CO<sub>2</sub> da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros**. Brasília, DF: UnB. Disponível em: <<http://www.pesquisaemtransportes.net.br/relit/index.php/relit/article/viewArticle/257>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

D'AGOSTO, M. A. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

DENATRAN. **Departamento Nacional de Trânsito. Ministério das Cidades.** Frota de veículos. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>>. Acesso em: 09 set. 2015.

DIAS, H. L. F. **Análise de modelagem intergrada da emissão de poluentes atmosféricos provenientes de veículos transportadores de carga em área urbana.** 117 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Operação de Sistema de Transportes), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2014.

DIAS, H. L. F.; MACENA, F. A.; AZEVEDO, J. A. H.; BERTOCINI, B. V.; OLIVEIRA, M. L. M.; CAVALCANTE, F. S. A. Calibração de modelos de emissão de poluentes atmosféricos para auxiliar no planejamento do transporte urbano de carga. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, 29, 2015, Ouro Preto, MG. **Anais do XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.** Rio de Janeiro: Anpet, p. 2474-2485, 2015.

DUBEUX, C. B. S. **Mitigação de emissões de gases de efeito estufa por municípios brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento 2007.** 247 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/dubeauxcbsd.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

EPA. **Global Greenhouse Gas Emissions Data.** 2004. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).** 2011. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/criteria.html>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

FERNANDES, R. D. **Transporte e desenvolvimento urbano.** 2014. Disponível em: <<http://embarqbrasil.org/node/139>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

FIORAVANTE, E. F.; DUTRA, E. G.; FIGUEIREDO, L. V. P. Estimativa da emissão de poluentes por veículos pesados a diesel, Minas Gerais, Brasil - 2007. In: **IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica**, 2009, Las Palmas de Gran Canaria. IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madri (Espanha): Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 2009.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transportes.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FREITAS, C.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-8910200400060001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-8910200400060001&script=sci_arttext)>. Acesso em: 20 jun. 2014.

- GALLO, R. Ensaio sobre o aperto. **São Paulo: Folha de S. Paulo**. 2016. Disponível em: <<http://arte.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/01/24/sp-se-move/>>. Acesso em: 03 fev. 2016.
- GOMES, V. A. **Modelo de avaliação da poluição atmosférica devido ao fluxo de veículos em cidades de pequeno porte**. 2008. 174 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <[http://www.bdtd.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2214](http://www.bdtd.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2214)>. Acesso em: 21 jun. 2014.
- HE, D.; LIU, H.; HE, K.; MENG, F.; JIANG, Y.; WANG, M.; ZHOU, J.; CALTHORPE, P.; GUO, J.; YAO, Z.; WANG, Q. Energy use of, and CO<sub>2</sub> emissions from China's urban passenger transportation sector – Carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 53, p. 53-67, 2013.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Uberlândia**. 2015. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233N6>>. Acesso em: 15 ago. 2015.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. Disponível em: <<http://www.acrim.com/%5C/Reference%20Files/CLIMATECHANGE%202001%20-%20The%20Scientific%20Basis.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2014.
- \_\_\_\_\_. IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- KAWAMOTO, E. **Análise de sistemas de transportes**. 2. ed. São Carlos: USP, 2004.
- LEAL JUNIOR, I. C.; **Método de Escolha Modal para Transporte de Produtos Perigosos com Base em Medidas de Ecoeficiência**. 186 p. Tese (Doutorado), Programa de Engenharia de Transportes, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010
- LOO, R. **A Methodology for calculating CO<sub>2</sub> emissions from transport and an evaluation of the impact of European Union emission regulations**. 2009. 54 p. Thesis (Master Science), Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2009. Disponível em: <<http://alexandria.tue.nl/extra1/afstversl/tm/te%20Loo%202009.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2014.
- MATTOS, L. B. R. **A Importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: o caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. 178 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/lbrmattos.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

**MERCOSUL. GMC Resolução nº 128 de 1996.** Regulamento técnico de limites máximos de emissão de gases poluentes e ruído para veículos automotores. Disponível em: <[http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas\\_web/Resoluciones/PT/96128.pdf](http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas_web/Resoluciones/PT/96128.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2015.

NANAKI, E. A.; KORONEOS, C.J.; XYDIS, G. A.; ROVAS, D. Comparative environmental assessment of Athens urban buses — diesel, CNG and biofuel powered. **Transport Policy**, v. 35, p. 1-8, 2014.

OLIVEIRA, L. C. **Estudo da emissão de poluentes por veículos oriundos de um polo gerador de viagens: a estimativa da rota ambiental para ônibus intermunicipais na cidade de Uberaba, MG.** Qualificação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

**PMU – PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Linhas de ônibus de Uberlândia.** Secretaria Municipal de Trânsito e Transportes, 2013.

\_\_\_\_\_. **Usuário de ônibus: SIT.** Uberlândia, 2014. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretaria-pagina/78/587/usuario\\_de\\_\\_nibus.html](http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretaria-pagina/78/587/usuario_de__nibus.html)>. Acesso em: 17 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Linhos de ônibus.** Uberlândia, 2015a. <Disponível em: <http://www.uberlandia.mg.gov.br/?pagina=linhaOnibus>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Planilha de custo do sistema de transporte coletivo urbano do município de Uberlândia – MG: Janeiro de 2015.** Uberlândia, 2015b. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/12273.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/12273.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2015.

RATANAVARAH, V.; JOMNONKWAO, S. Trends in Thailand CO<sub>2</sub> emissions in the transportation sector and Policy Mitigation. **Transport Policy**, v. 41, p. 136-146, 2015.

RÉQUIA, W. J.; KOUTRAKIS, P.; ROIG, H. L. Spatial distribution of vehicle emission inventories in the Federal District, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 112, p. 32-39, 2015.

SANTANA, E.; CUNHA, K. B.; FERREIRA, A. L.; ZAMBONI, A. Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. São Paulo: **Instituto de Energia e Meio Ambiente**, 2012.

SOUZA, C. D. R.; SILVA, S. D.; da SILVA, M. A. V.; D'AGOSTO, M. A.; BARBOZA, A. P. Inventory of conventional air pollutants emissions from road transportation for the state of Rio de Janeiro. **Energy Policy**, v. 53, p. 125-135, 2013.

SPTRANS. **Histórico:** Frota contratada. Disponível em: <[http://www.sptrans.com.br/indicadores/historico\\_frota-contratada.aspx](http://www.sptrans.com.br/indicadores/historico_frota-contratada.aspx)>. Acesso em: 18 dez. 2015.

SZWARCFITER, L. **Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção, manutenção e de renovação acelerada da frota.** 2004. 253 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/lila.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

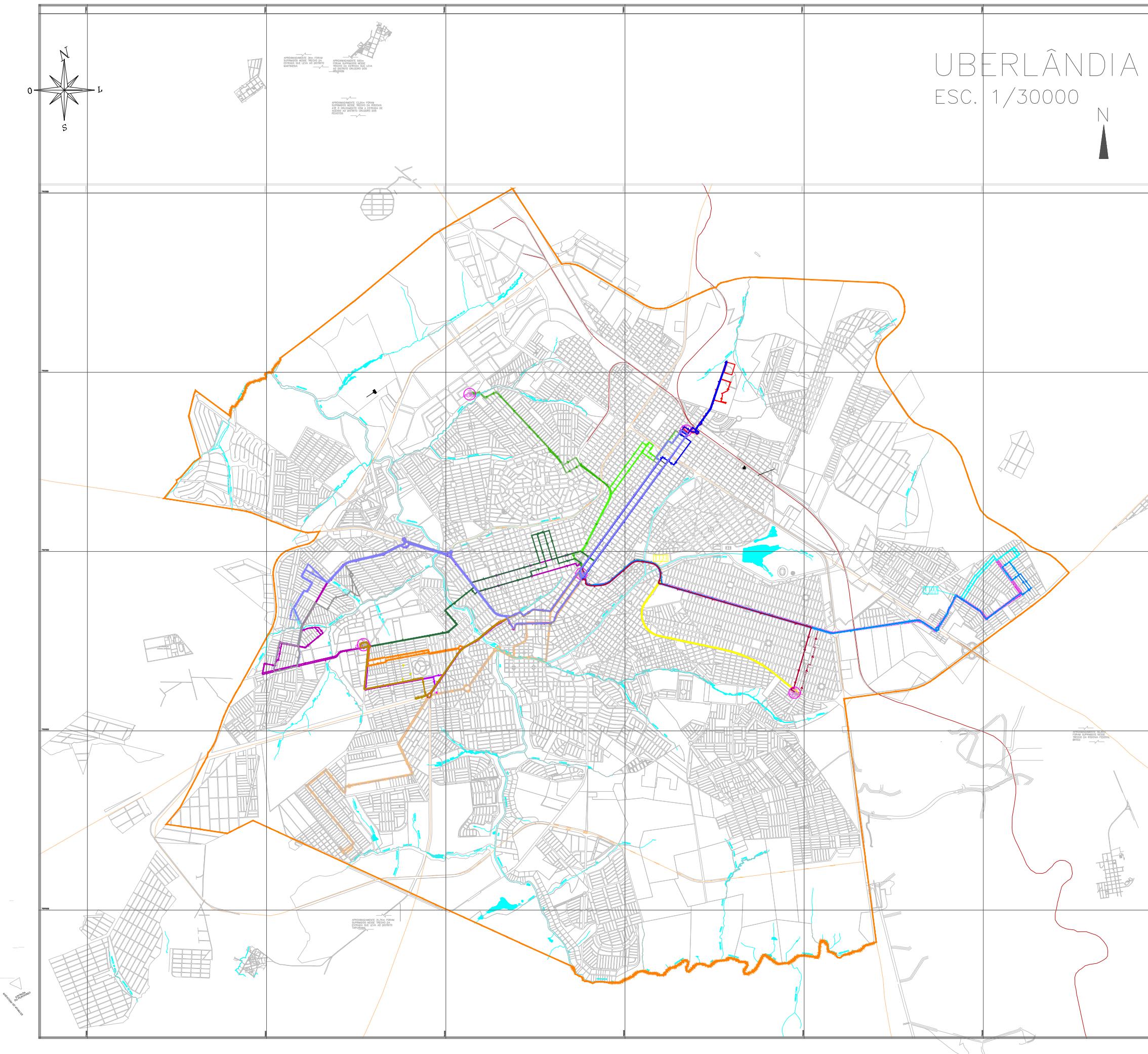
**TSIS User's Guide Version 5.0.** ITT industries, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, D. C., 2001.

UNIÃO EUROPEIA. Constituição (2008). **Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio de 2008:** relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. 1. ed. Estrasburgo, FR: Jornal Oficial da União Europeia, 11 jun. 2008. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2008:152:FULL&from=PT>>. Acesso em: 12 maio 2015.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Ônibus a etanol: uma solução para o estado de São Paulo.** 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/documentos/etanol/pag=1>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. São Paulo, Instituto Saúde e Sustentabilidade (Org.). **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde.** São Paulo, 2013. 82 p. Disponível em: <[http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/Documentofinaldapesquisapadrao\\_2409-FINAL-sitev1.pdf](http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/Documentofinaldapesquisapadrao_2409-FINAL-sitev1.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

WHO. **WHO air quality guidelines global update:** Report on a Working Group meeting. Bonn: WHO, 2005. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/147851/E87950.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2015.



## Apêndice 1

Linhas troncais do Sistema Integrado de Transportes - Uberlândia

### Emissão de CO<sub>2</sub>

#### Legenda

Linhas Troncais - Emissão de CO <sub>2</sub>
T126 - 6,94 kg/viagem
T122 - 15,09 kg/viagem
T141 - 17,09 kg/viagem
T123 - 17,90 kg/viagem
T151 - 18,30 kg/viagem
T131 - 20,30 kg/viagem
T140 - 20,57 kg/viagem
T132 - 21,50 kg/viagem
T144 - 21,50 kg/viagem
T142 - 21,90 kg/viagem
T104 - 33,39 kg/viagem
T102 - 34,06 kg/viagem
T103 - 34,19 kg/viagem
T101 - 35,79 kg/viagem
T105 - 36,19 kg/viagem
T120 - 41,12 kg/viagem
T121 - 41,13 kg/viagem
Terminais



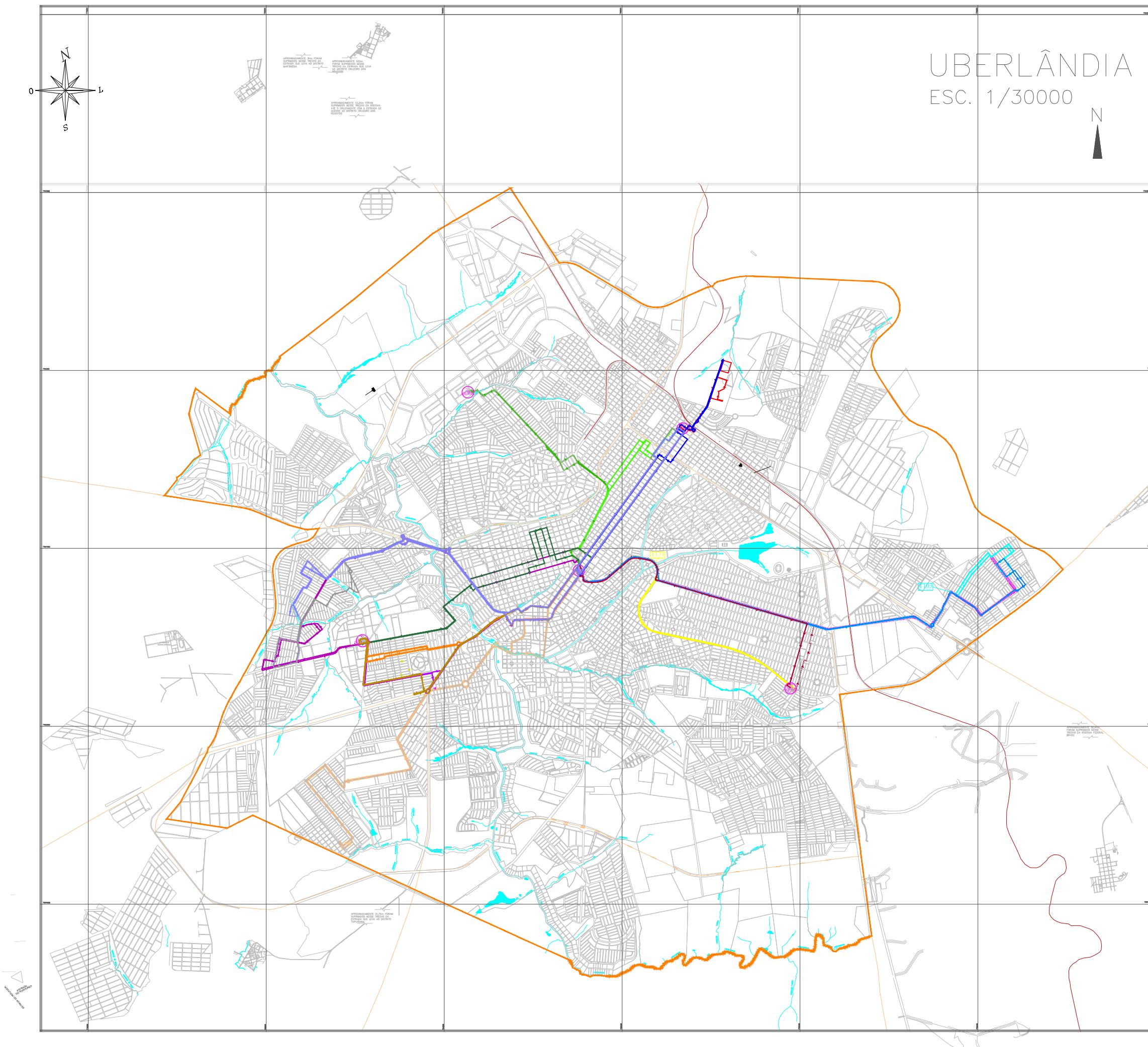
SETTRAN  
SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES  
PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

ATUALIZAÇÃO: Seção de Planejamento de Transportes

ESCALA

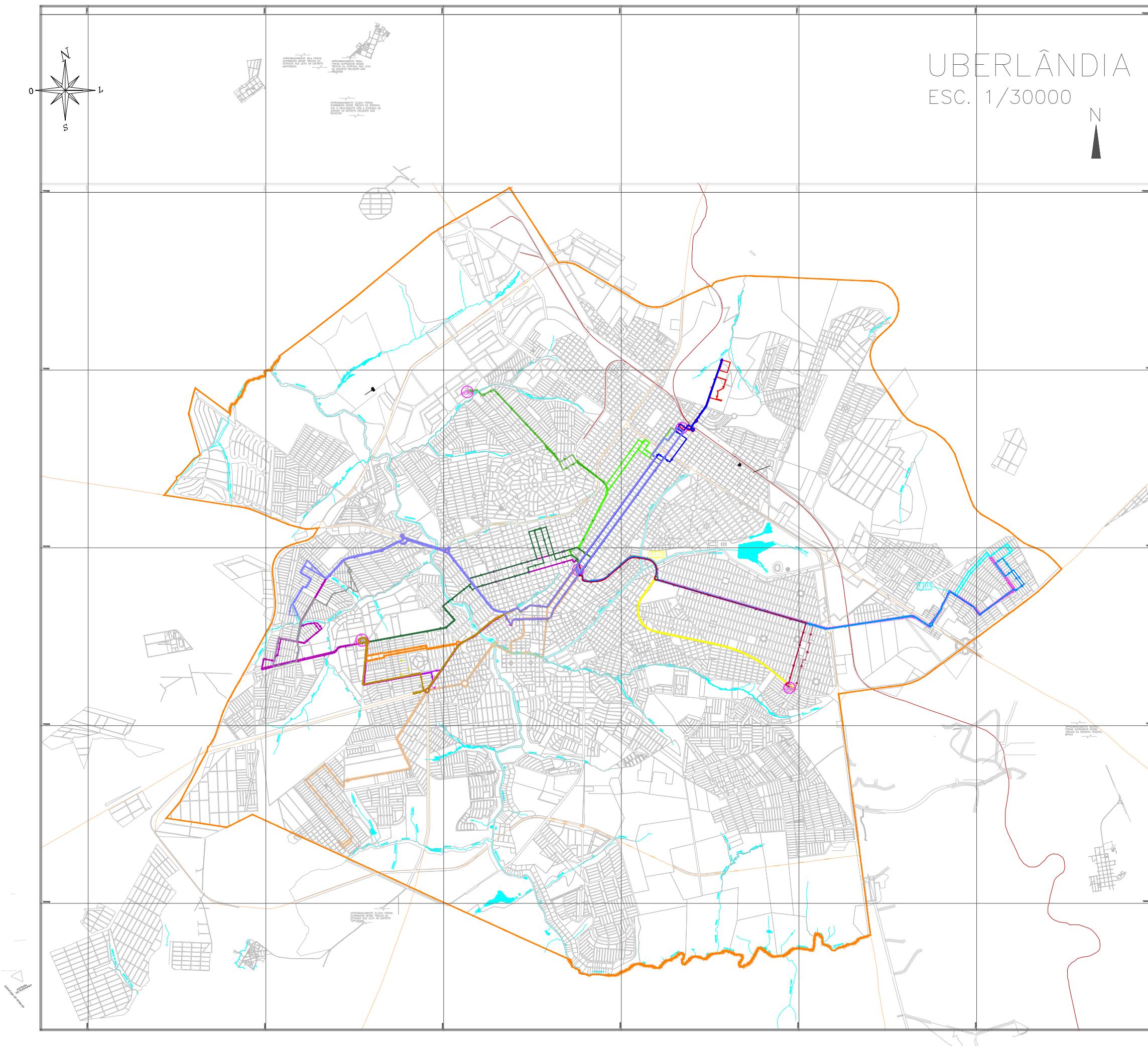
400m 800m 1200m 1600m 2000m

Modificado: Melissa Silva (2016)



Linhas troncais do Sistema Integrado de Transportes - Uberlândia

Emissão de MP

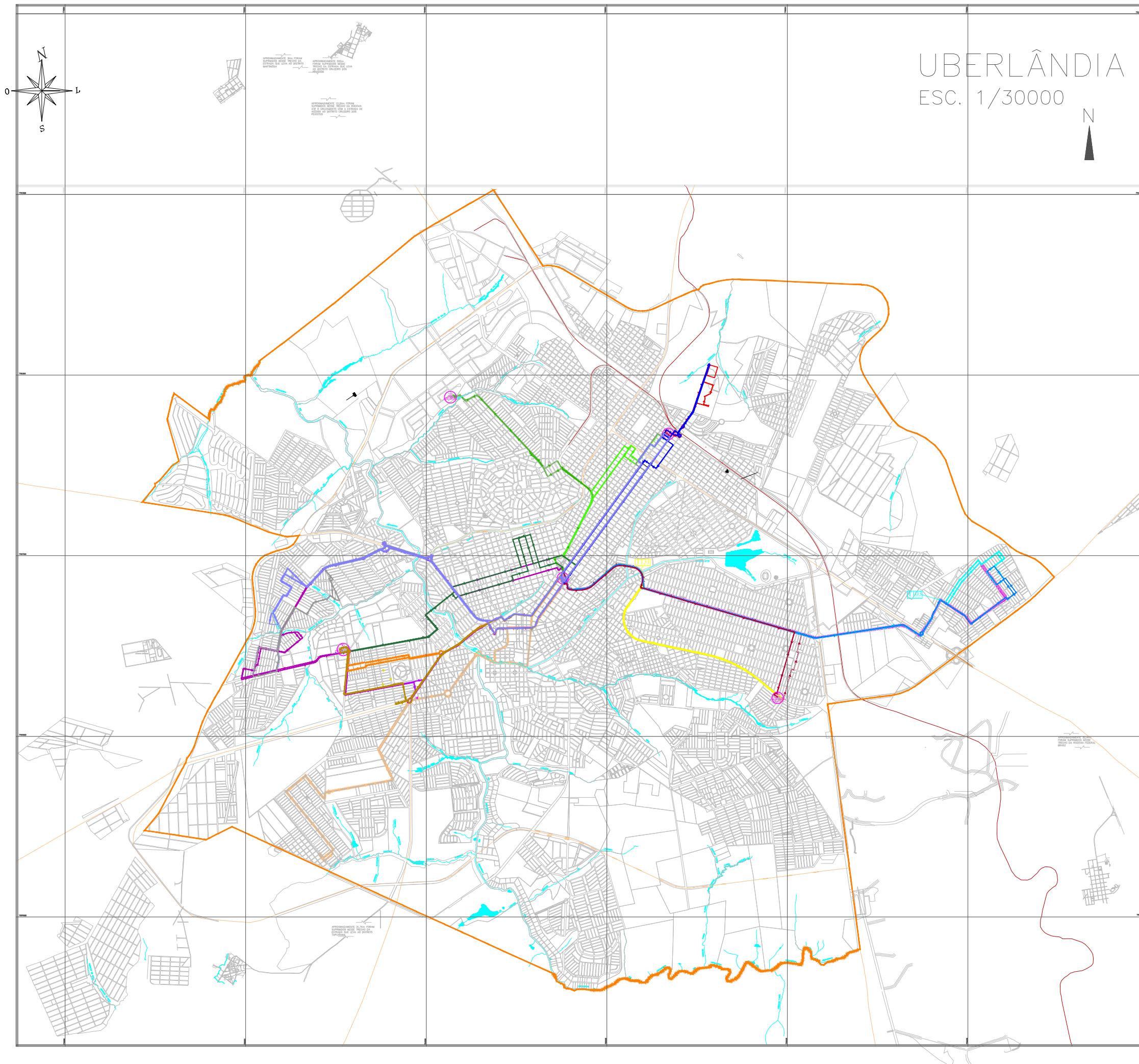


Linhos troncais do Sistema Integrado de Transportes - Uberlândia  
Emissão de NO<sub>x</sub>

### Emissão de NO<sub>x</sub>

**Legenda**

Linhos Troncais - Emissão de NO <sub>x</sub>
T126 - 10,94 g/viagem
T122 - 23,76 g/viagem
T141 - 26,92 g/viagem
T123 - 28,18 g/viagem
T151 - 28,81 g/viagem
T131 - 31,97 g/viagem
T140 - 32,39 g/viagem
T132 - 33,86 g/viagem
T144 - 33,86 g/viagem
T142 - 34,49 g/viagem
T104 - 52,58 g/viagem
T102 - 53,63 g/viagem
T103 - 53,84 g/viagem
T101 - 56,36 g/viagem
T105 - 56,99 g/viagem
T120 - 64,77 g/viagem
T121 - 64,77 g/viagem
Terminais



## Apêndice 2

# Linhos troncais do Sistema Integrado de Transportes - Uberlândia

## Emissão de CO<sub>2</sub> utilizando consumo de combustível obtido por meio de simulação no TSIS

## Legenda

- Linhas Troncais - Emissão de CO<sub>2</sub>

  - T126 - 9,50 kg/viagem
  - T123 - 17,59 kg/viagem
  - T122 - 19,31 kg/viagem
  - T131 - 22,55 kg/viagem
  - T151 - 23,76 kg/viagem
  - T104 - 24,27 kg/viagem
  - T141 - 25,58 kg/viagem
  - T132 - 29,93 kg/viagem
  - T144 - 30,84 kg/viagem
  - T142 - 30,94 kg/viagem
  - T140 - 32,96 kg/viagem
  - T101 - 37,71 kg/viagem
  - T103 - 38,53 kg/viagem
  - T102 - 47,32 kg/viagem
  - T120 - 50,15 kg/viagem
  - T105 - 55,81 kg/viagem
  - T121 - 58,64 kg/viagem

Terminais



**S E T T R A N**  
SECRETARIA MUNICIPAL DE TRÂNSITO E TRANSPORTES  
PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

ATUALIZAÇÃO: Seção de Planejamento de Transportes

---

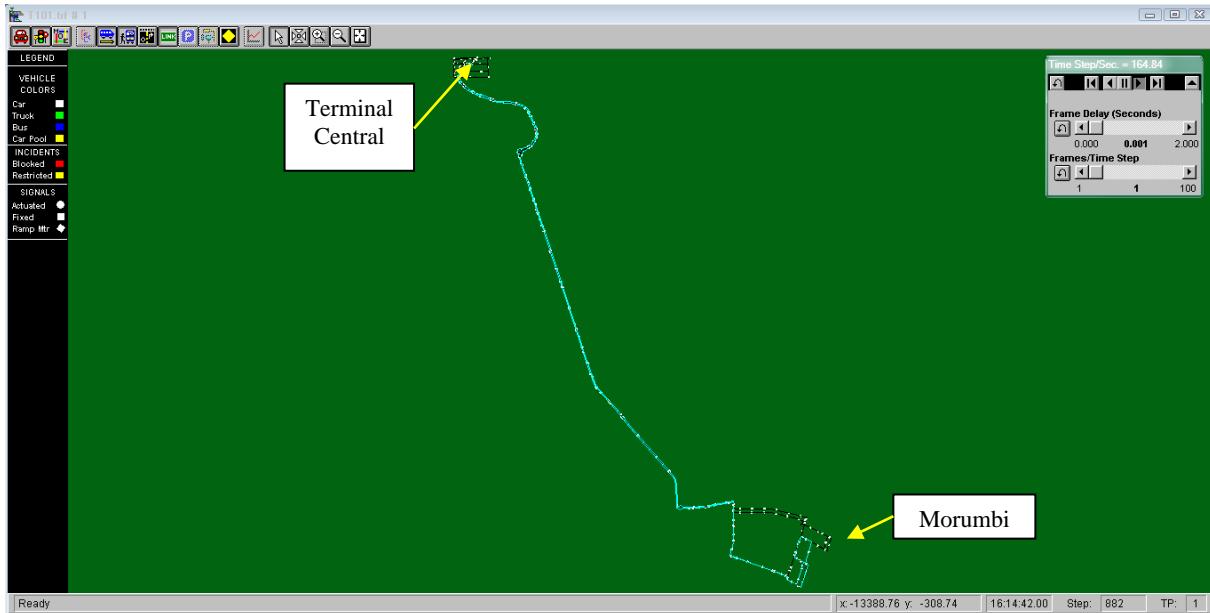
ESCALA

00m 800m 1200m 1600m 2000m

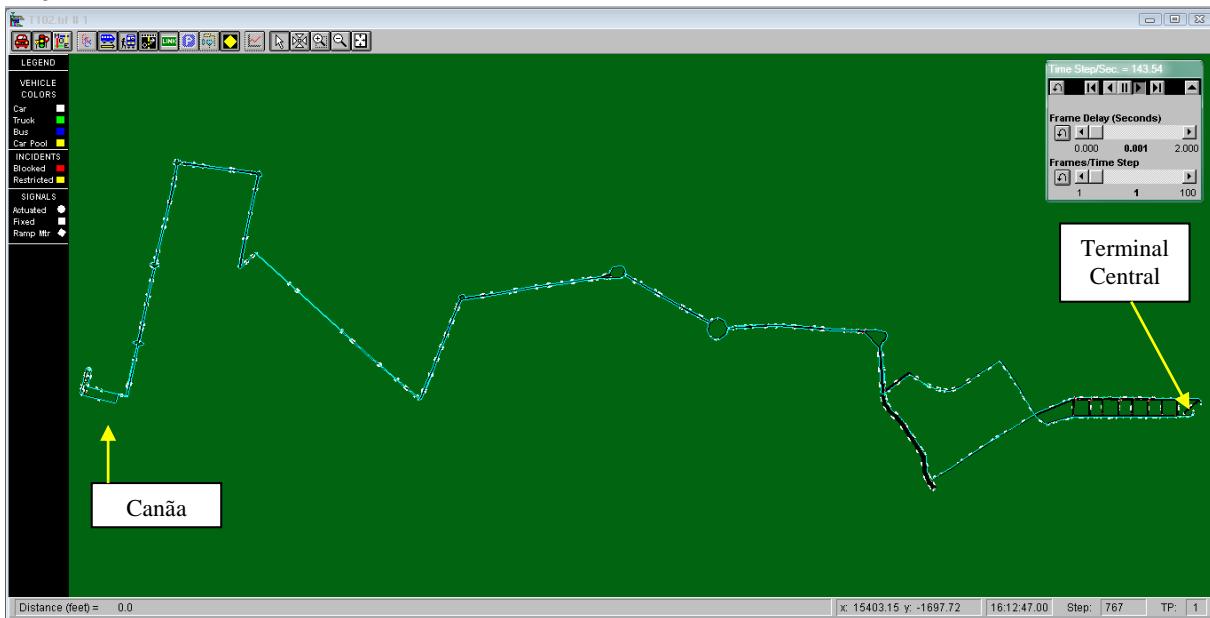
Modificado: Melissa Silva (2016)

## Apêndice 3

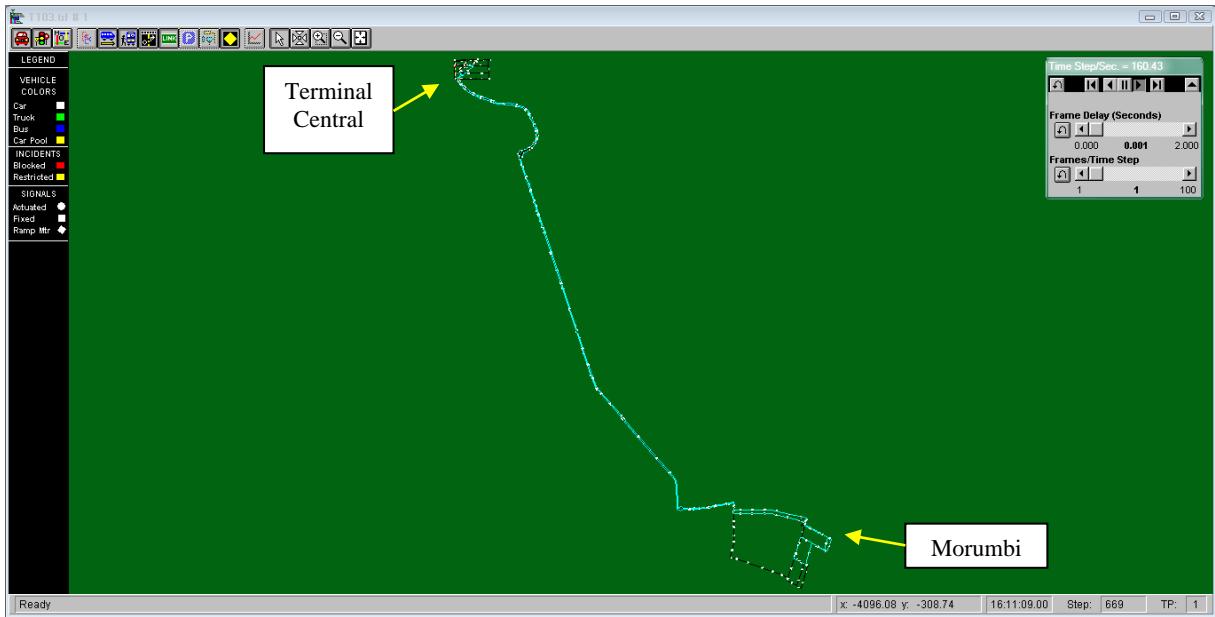
T101



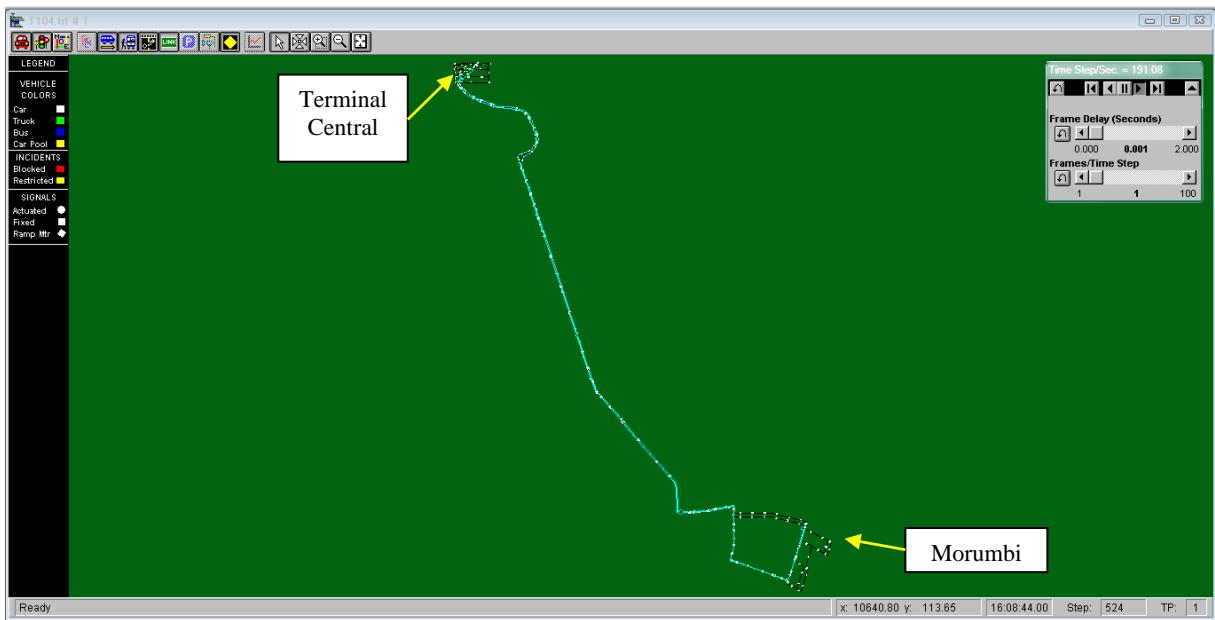
T102



T103



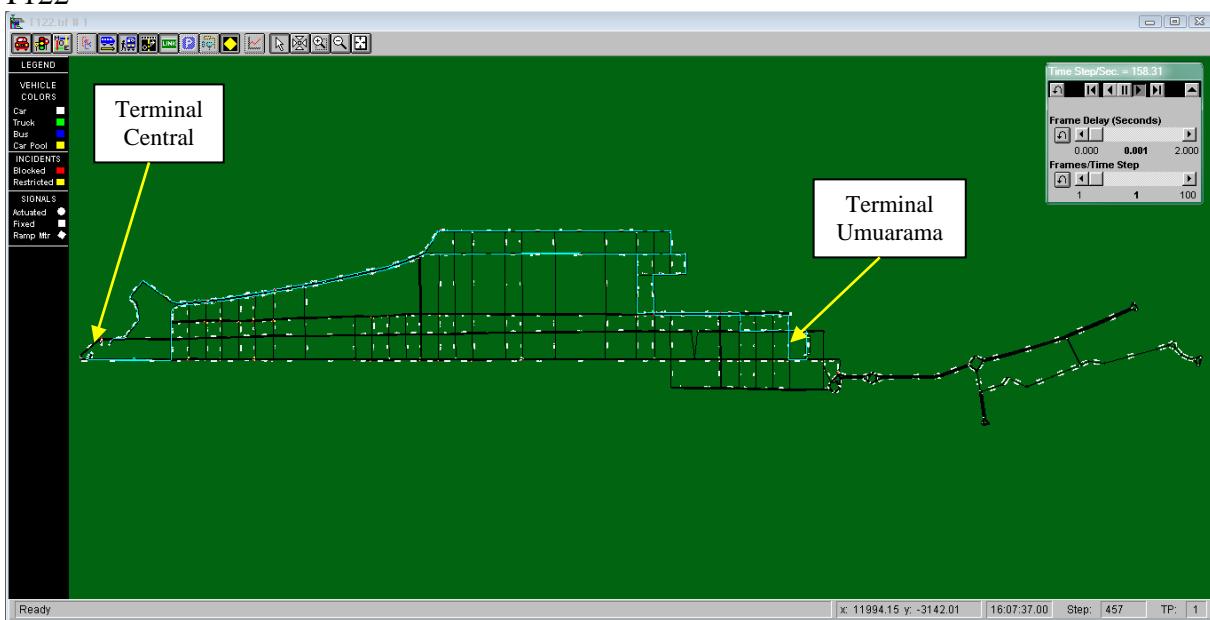
T104



T105

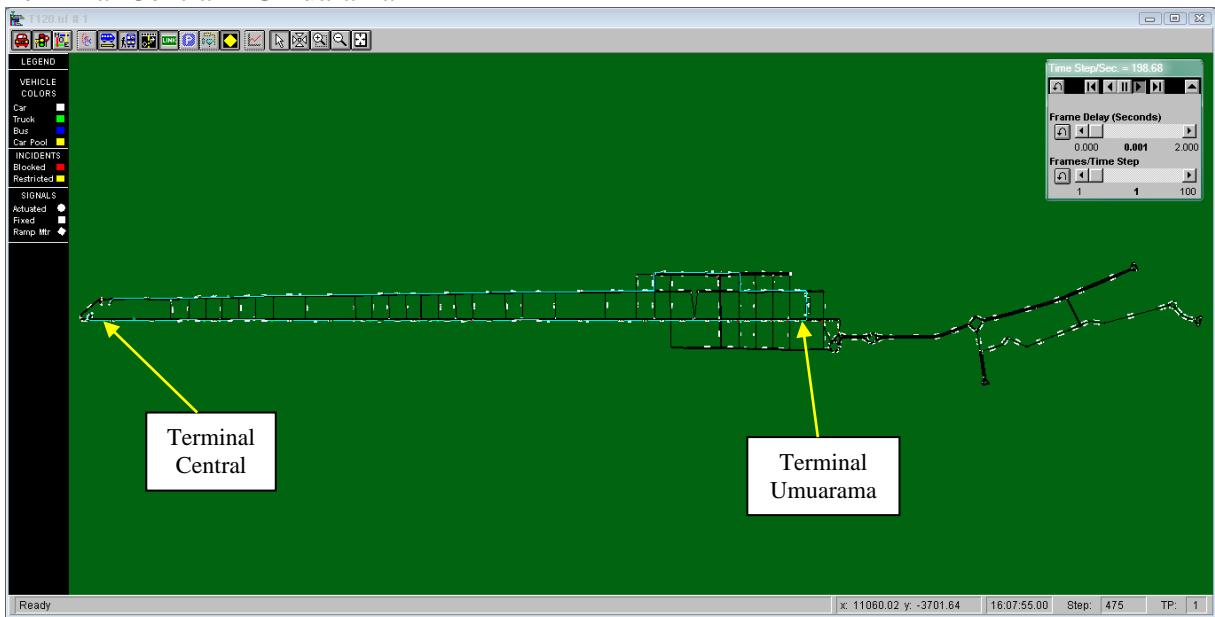


T122

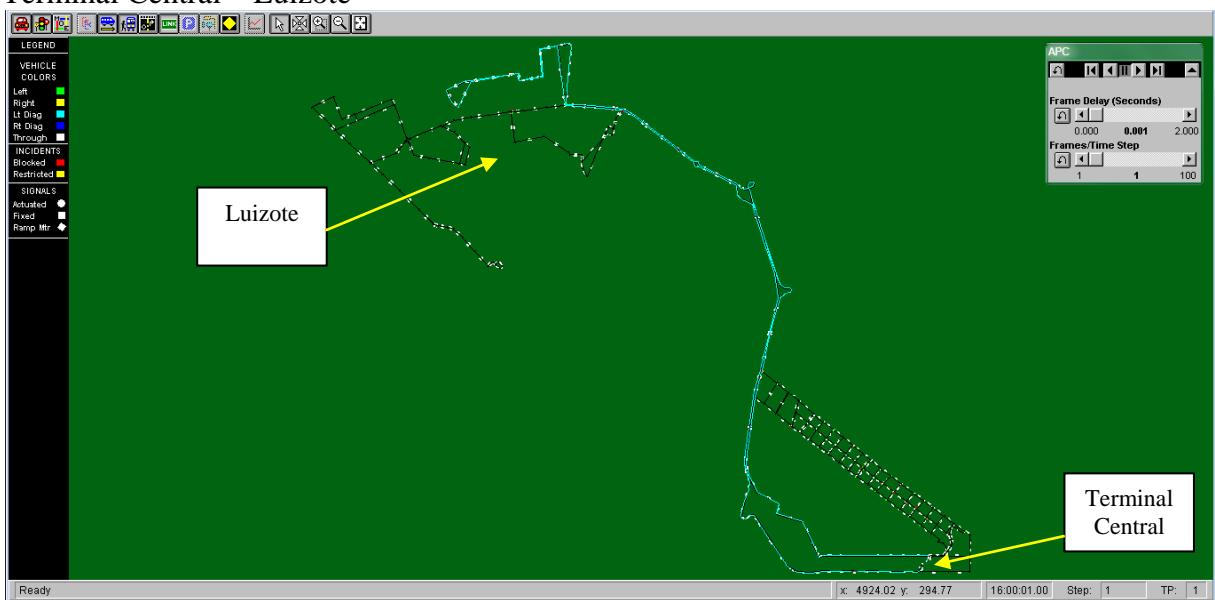


T120

## Terminal Central – Umuarama

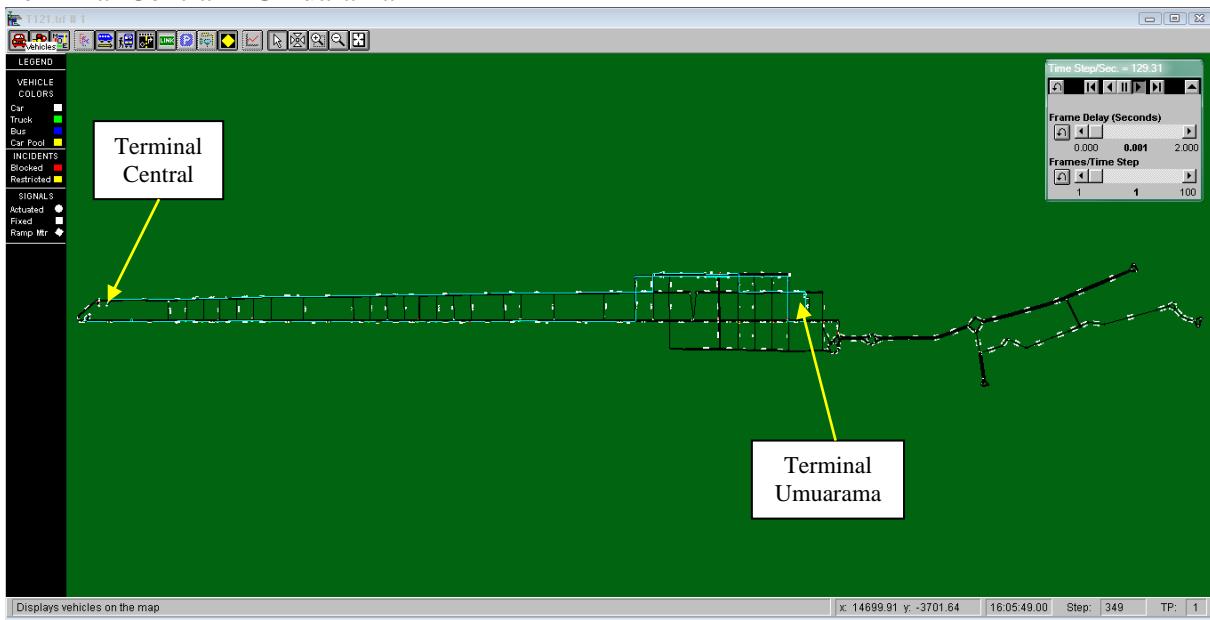


## Terminal Central – Luizote

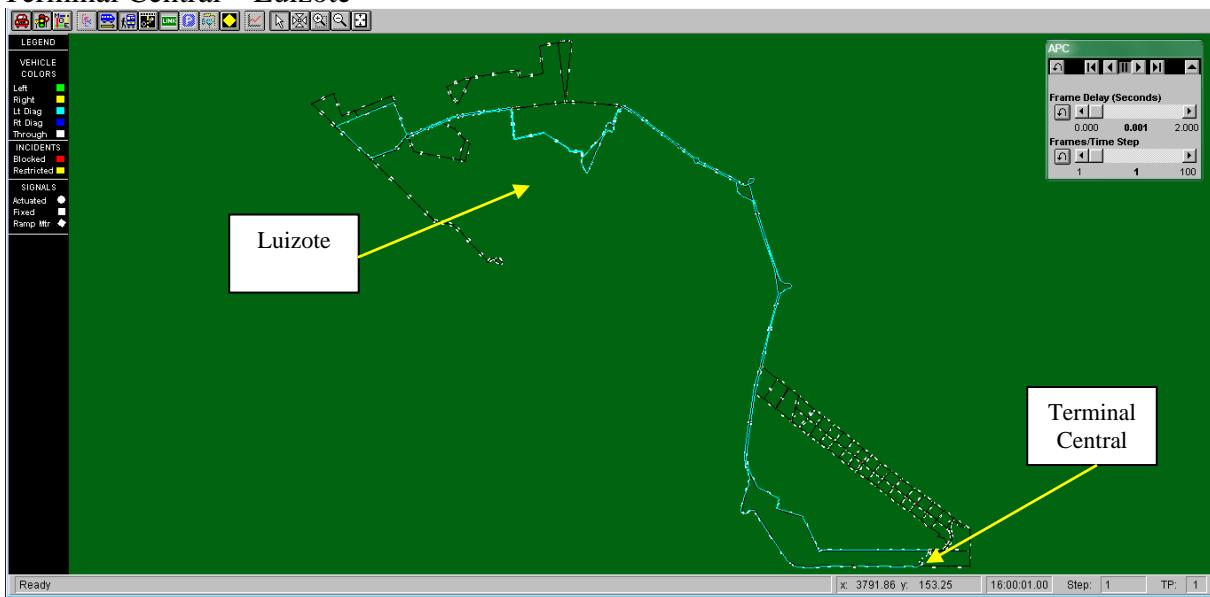


T121

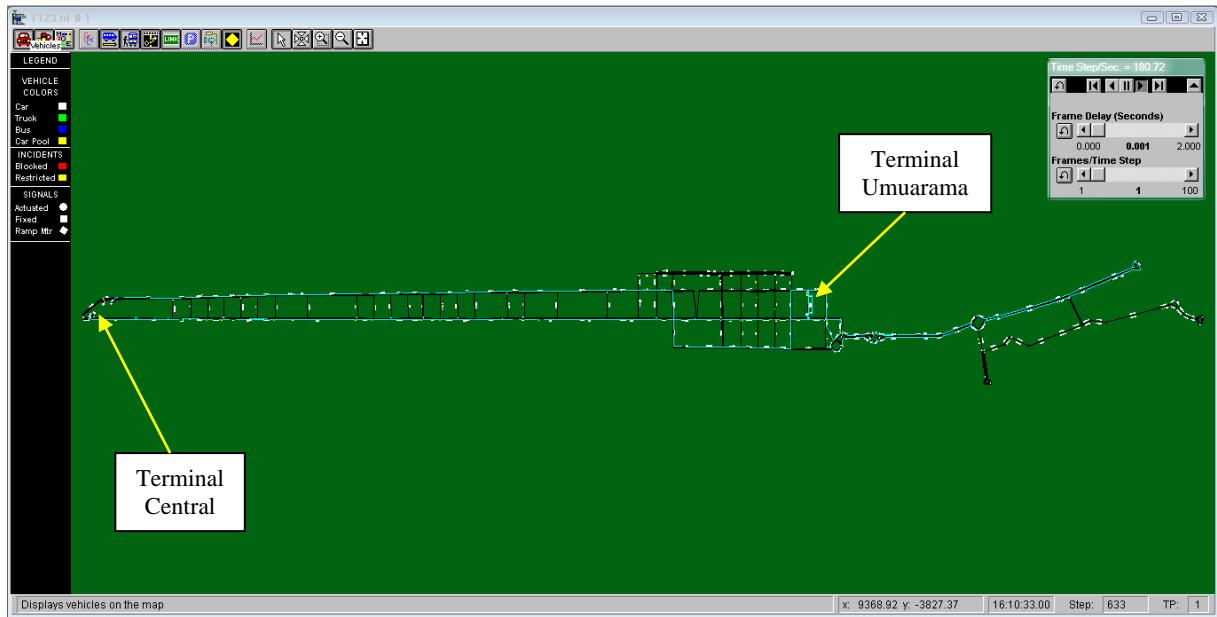
## Terminal Central – Umuarama



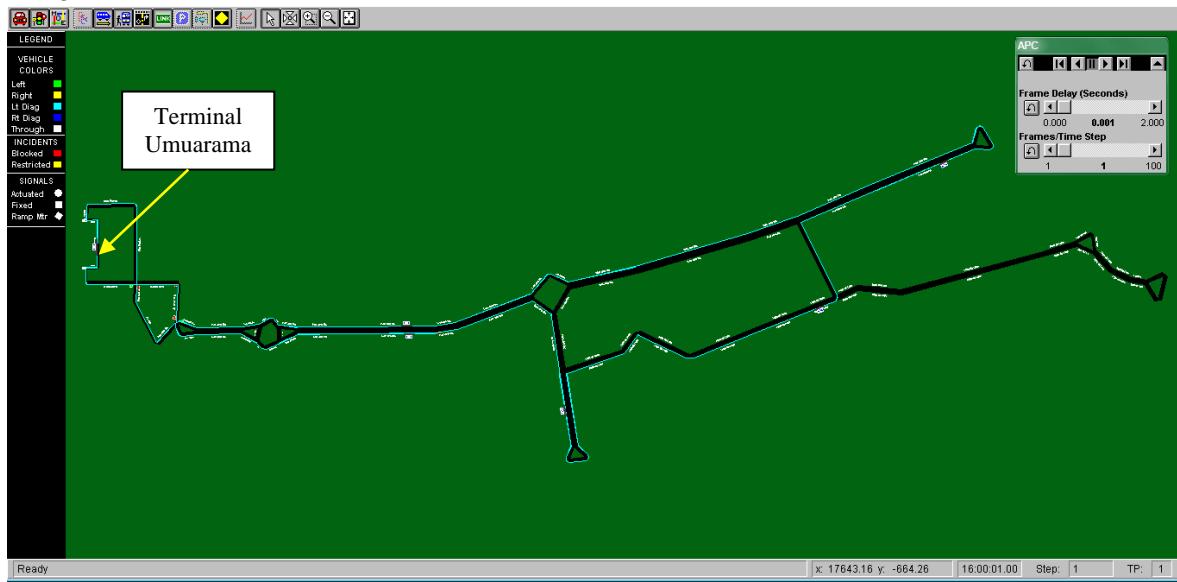
## Terminal Central – Luizote



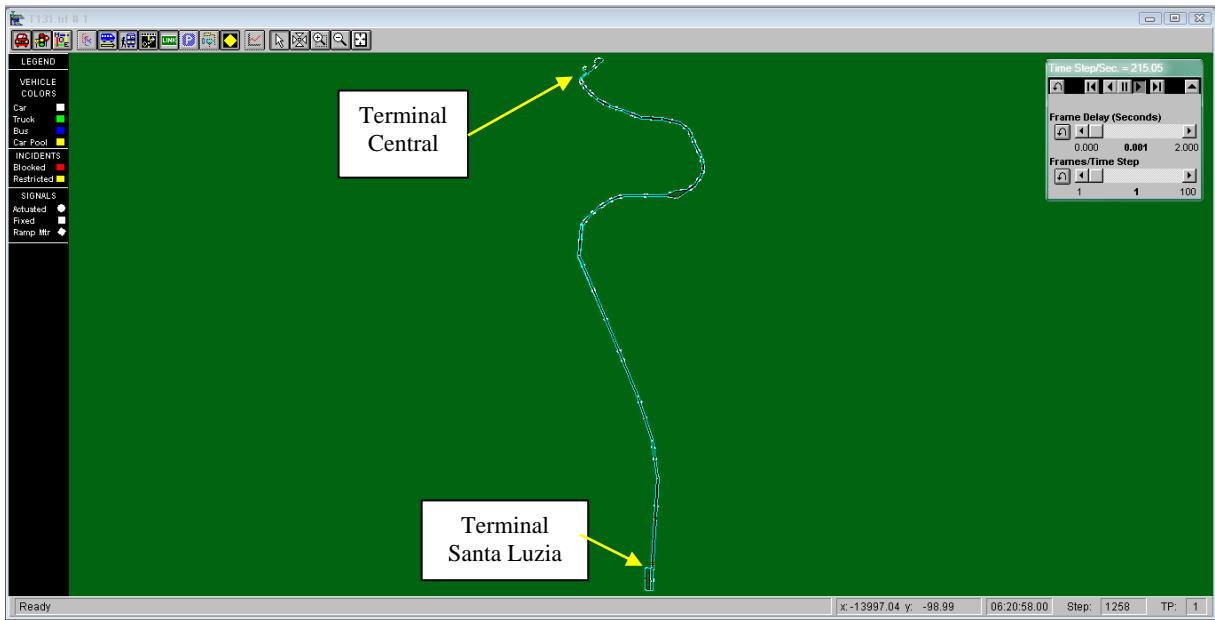
T123



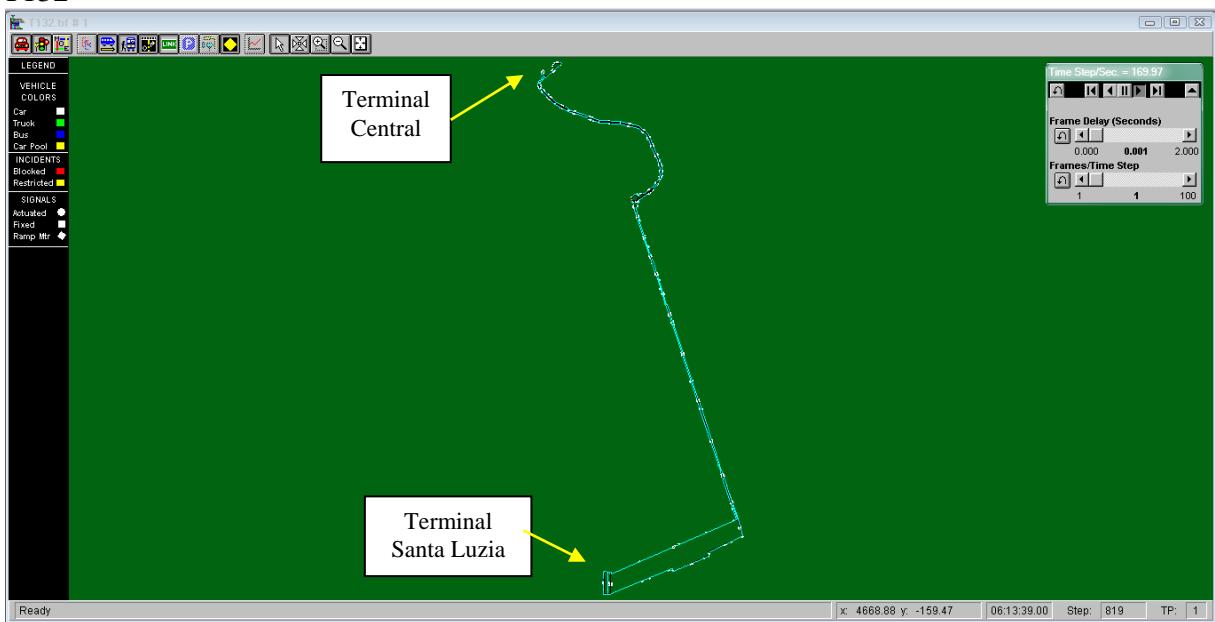
T126



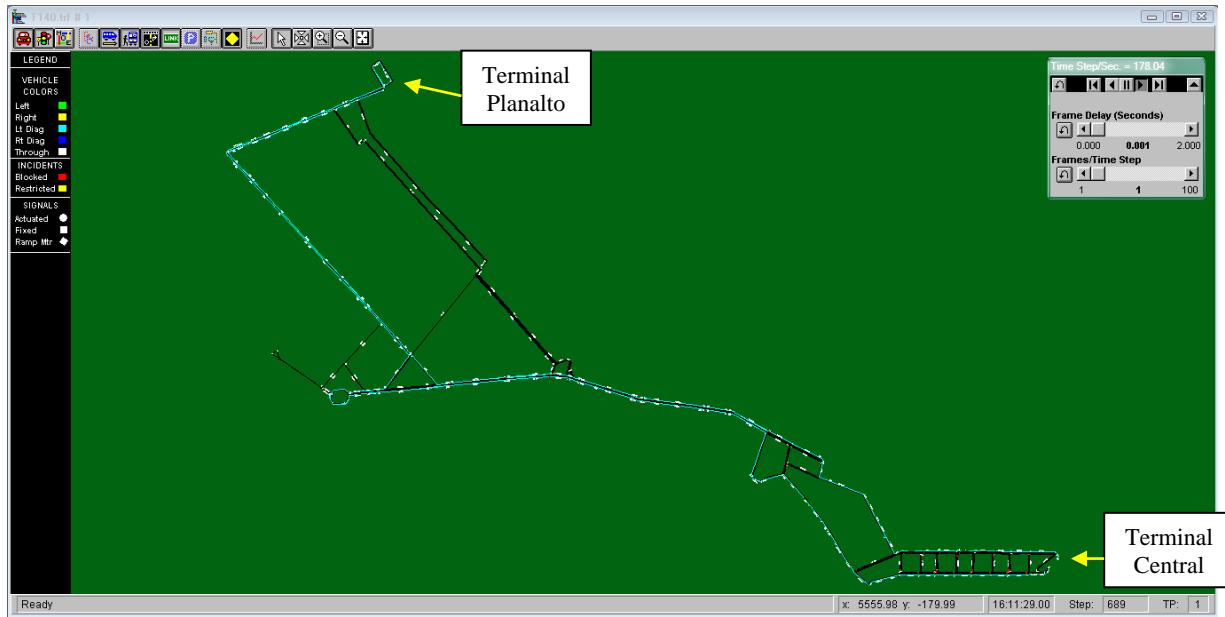
T131



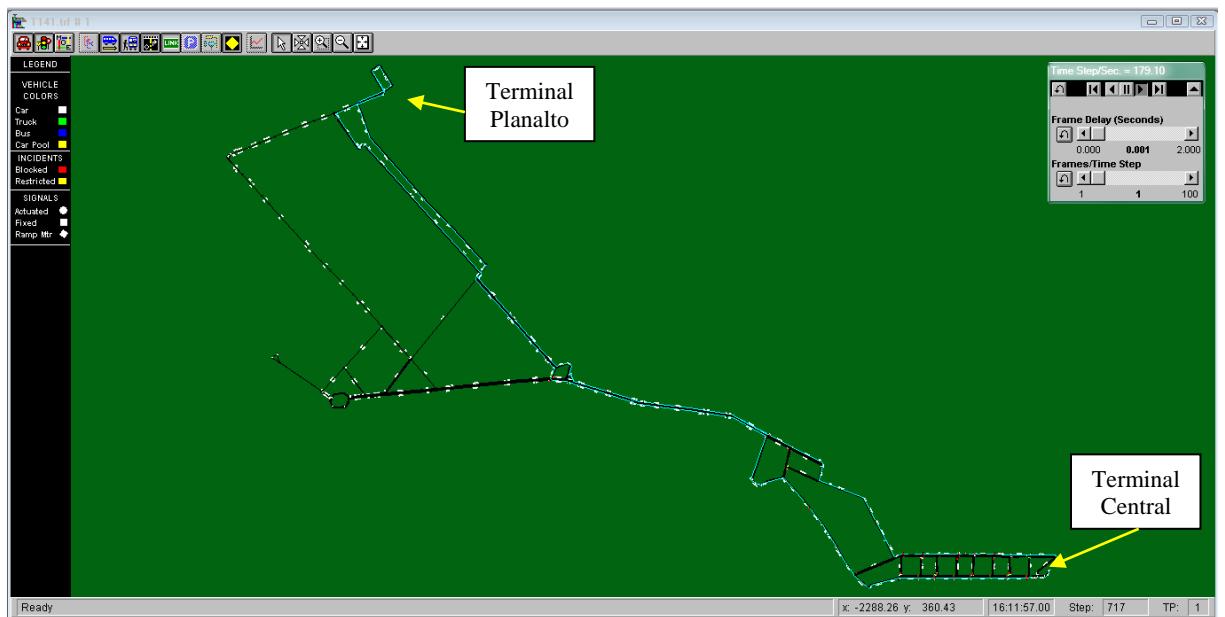
T132



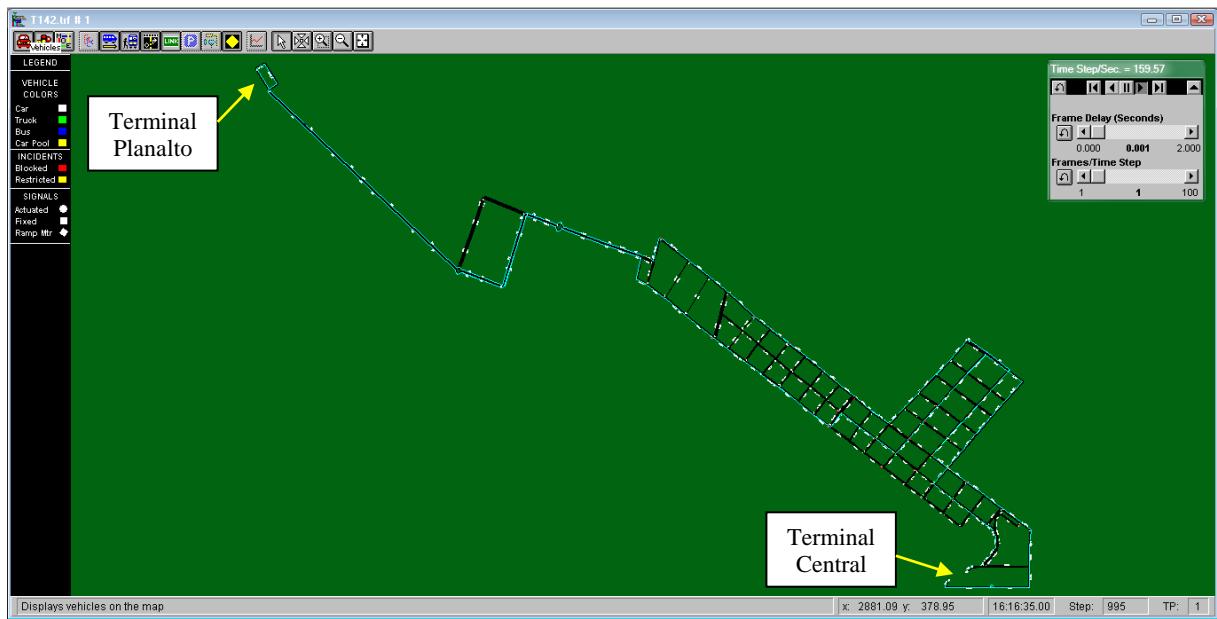
T140



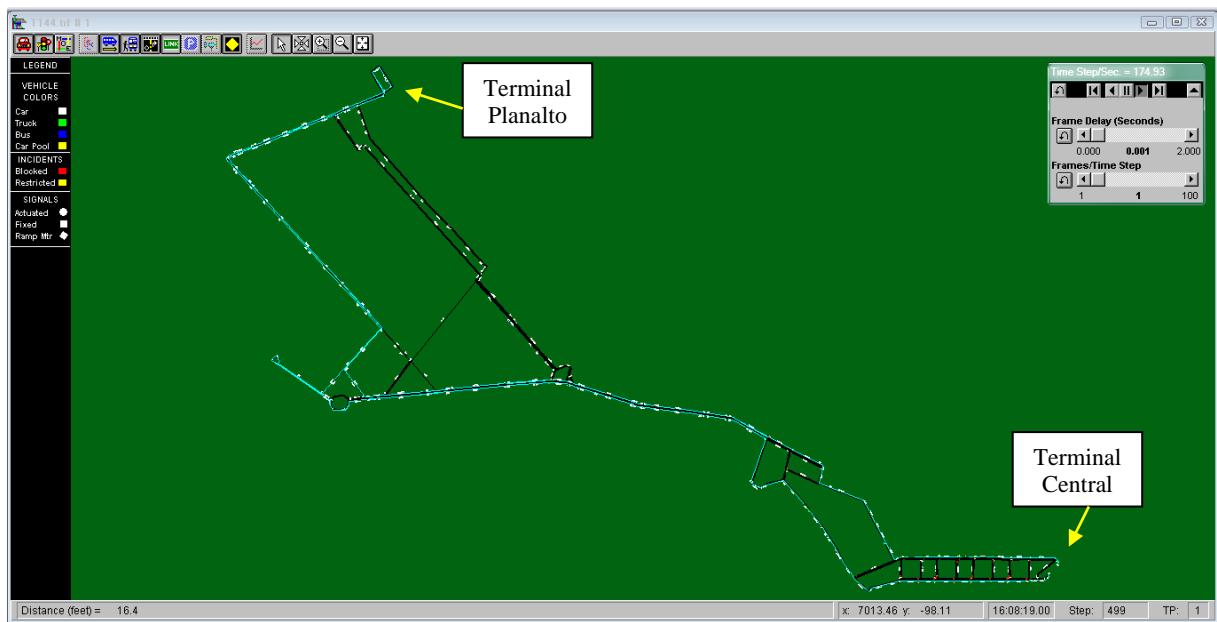
T141



T142



T144



T151

