

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

**PREVISÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES DE
TRÂNSITO EM INTERSEÇÕES DE VIAS ARTERIAIS
URBANAS – O CASO DE TAGUATINGA / DF**

GIOVANA FREIRE DE MOURA CLAUDE

**ORIENTADORA: MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES
COORIENTADOR: ALAN RICARDO DA SILVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

BRASÍLIA / DF: MAIO / 2012

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

PREVISÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM
INTERSEÇÕES DE VIAS ARTERIAIS URBANAS – O CASO DE
TAGUATINGA / DF

GIOVANA FREIRE DE MOURA CLAUDE

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:

Prof^a. Maria Alice Prudêncio Jacques , PhD (UnB)
(Orientadora)

Prof^o. Alan Ricardo da Silva, Dr (UnB)
(Coorientador)

Prof^o. Paulo Cesar Marques da Silva, PhD (UnB)
(Examinador Interno)

Prof^o. Flávio José Craveiro Cunto, PhD (UFC)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 23 DE MAIO DE 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

FREIRE DE MOURA CLAUDE, GIOVANA

Previsão da Ocorrência de Acidentes de Trânsito em Interseções de Vias Arteriais Urbanas – O Caso de Taguatinga / DF [Distrito Federal] 2012.

xii, 159 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2012).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Modelos de Previsão de Acidentes

2. Segurança Viária

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CLAUDE, G. F. de M. (2012). Previsão da Ocorrência de Acidentes de Trânsito em Interseções de Vias Arteriais Urbanas – O Caso de Taguatinga/DF. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação: T. DM – 014 A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Giovana Freire de Moura Claude.

TÍTULO: Previsão da Ocorrência de Acidentes de Trânsito em Interseções de Vias Arteriais Urbanas – O Caso de Taguatinga/DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Giovana Freire de Moura Claude
giovanaclaude@gmail.com
engenheiraclaude@gmail.com

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis” (Fernando Pessoa).

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação de mestrado aos meus pais, Gastão e Rogéria, e ao meu irmão
Gustavo Claude.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço aos meus pais e irmão que apesar da distância física, sempre permaneceram presentes, não me deixando desistir nos momentos de solidão e de incertezas.

Agradeço aos professores do Programa de pós-graduação em Transportes da UnB. Em especial à minha orientadora, professora Maria Alice. Obrigada por toda a dedicação dispensada no desempenho da minha pesquisa e por acreditar que eu conseguiria. Apesar de eu não saber demonstrar, aprendi muitas coisas com a senhora. Obrigada!

Agradeço ao meu coorientador, professor Alan. E ao Gabriel, seu aluno de estatística, hoje meu amigo, por me ajudarem com os fatores de expansão e entre outras coisas.

Agradeço aos meus antigos amigos e aos novos que fiz em Brasília (Ádria, Andreia, Ambire, Dyorgge, Érica, Francisco, Janneth, Juan Pablo, Júlio César, Lucinei, Mariana, Milton, Morgana, Nailde, Nazaré, Noemia, Ronny, Sandro, Suelen, Tarcísio, Vinícius, Wallison e Wagner), com os quais pude compartilhar choros e risos. Sei que não importa em qual cidade eu esteja, meus amigos estarão comigo onde eu estiver. E a você, que não citei, mas compartilhou momentos ao meu lado, obrigada.

Gostaria de agradecer, especialmente, as pessoas que me ajudaram na contagem volumétrica nas interseções de Taguatinga (seja com chuva ou com sol, de manhã ou à tarde), vocês realizaram um ótimo trabalho. Muito obrigada!

Gostaria de agradecer ao sr. Marcello Faria e sua família por todo carinho e apoio.

Agradeço à colaboração do DENTRAN-DF, por disponibilizarem as informações sobre as vias arteriais e os dados sobre os acidentes de trânsito.

Agradeço ao Exército Brasileiro, em especial, ao Major Pavão, pela compreensão, incentivo e interesse no desenvolvimento da minha pesquisa.

Agradeço a oportunidade de desenvolver um projeto em rede, com mais cinco universidades brasileiras (UFC, UFMG, UFRGS, EESC/USP e UFRJ).

RESUMO

PREVISÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM INTERSEÇÕES DE VIAS ARTERIAIS URBANAS – O CASO DE TAGUATINGA / DF

A Organização Mundial da Saúde revela que morrem no mundo mais de 1,2 milhões de pessoas por ano devido a acidentes de trânsito. No Brasil, em 2010, foram 36 mil mortes. Assim, estudos voltados à melhor compreensão dos acidentes de trânsito, inclusive com a elaboração de instrumentos que permitam estimar a frequência dessas ocorrências em diferentes elementos do sistema viário, tornam-se relevantes. Somente a partir desses estudos é que medidas efetivas para a redução do número de acidentes podem ser concebidas e implantadas.

Os Modelos de Previsão de Acidentes (MPAs) são modelos probabilísticos utilizados para determinar o valor médio esperado de acidentes de trânsito, levando em consideração o conhecimento histórico desses acidentes em determinado local. Devido ao grave problema de acidentalidade apresentado nas cidades do Distrito Federal, o objetivo deste trabalho foi o de desenvolver um modelo de previsão de acidentes (MPA) para interseções localizadas em vias arteriais urbanas da cidade de Taguatinga. Esse desenvolvimento levou em consideração o volume diário médio anual (VDMA) de tráfego e o número de acidentes ocorridos em algumas interseções dessas vias no período de 2005 a 2010, bem como outros elementos característicos das interseções selecionadas. Para a calibração dos diferentes modelos avaliados foi empregada a técnica de equações de estimação generalizadas (EEG).

O MPA que melhor se ajustou aos dados amostrais revelou a influência do VDMA na frequência de acidentes nas interseções de Taguatinga e, também, que a presença dos equipamentos de fiscalização eletrônica de avanço do sinal vermelho possui um impacto positivo na redução da frequência desses acidentes. Como o número de interseções da amostra empregada para o desenvolvimento do modelo não foi elevado, futuros trabalhos no sentido do seu aprimoramento são recomendados.

Palavras-chave: Modelos de previsão de acidentes; Segurança viária, Função de previsão de acidentes

ABSTRACT

PREDICTION OF THE OCCURRENCE OF TRAFFIC ACCIDENTS ON URBAN ARTERIAL ROADS INTERSECTIONS - THE CASE OF TAGUATINGA / DF

The World Health Organization reveals that die in the world more than 1.2 million people per year due to traffic accidents. In Brazil in 2010 were 36 000 deaths. Thus, studies aimed at better understanding of traffic accidents, including the elaboration of tools to estimate the frequency of such occurrences in various parts of the road system, become relevant. Only from these studies is that effective measures to reduce the number of accidents can be designed and implemented.

The Accident Prediction Models (APMs) are probabilistic models used to determine the expected average value of traffic accidents, taking into consideration the historical knowledge of these accidents in a given location. Due to road safety problems in the Federal District, the purpose of this study was to develop an accident prediction model (APM) for intersections located in the urban arterial roads of Taguatinga, a Brazilian city. This development took into account the annual average daily traffic volume (AADT) and the number of traffic accidents at some intersections of these roads in the period 2005 to 2010 as well as other characteristic features of the selected intersections. The technique of generalized estimating equations (GEE) was used for the calibration of different models.

The APM that best fits the sample data revealed the influence of VDMA in the frequency of accidents at the intersections of Taguatinga city and also that the presence of electronic surveillance equipment in advance of the red signal has a positive impact in reducing the of number accidents. As the number of intersections of the sample used for the model development was not high, future works towards its improvement are recommended.

Keywords: Accident prediction models, Road Safety, Safety prediction function

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Dados para o Modelo.....	28
Tabela 2.2: Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito.....	40
Tabela 4.1: Área e população das Regiões Administrativas do DF	62
Tabela 4.2: Implantação dos setores em Taguatinga – DF.....	64
Tabela 4.3: Número de Acidentes em cidades do DF	65
Tabela 4.4: Número de Acidentes com mortes em vias arteriais de cidades do DF	66
Tabela 4.5: Tipos de interseções encontradas em vias arteriais de Taguatinga – DF	73
Tabela 4.6: Interseções selecionadas.....	74
Tabela 4.7: Interseções selecionadas das vias arteriais de Taguatinga – DF.	76
Tabela 4.8: Amostra selecionada por tipo de interseção	80
Tabela 4.9: Interseções semaforizadas e não semaforizadas.....	80
Tabela 4.10: Acidentes de trânsito em interseções de vias urbanas de Taguatinga-DF	81
Tabela 4.11: Contagem volumétrica de 3 horas por via e interseção	83
Tabela 4.12: VMDA de 2005 a 2010 para as interseções selecionadas	84
Tabela 4.13: Síntese das variáveis utilizadas nos modelos	85
Tabela 4.14: Modelos com a variável volume.....	87
Tabela 4.15: Modelo com as variáveis volume e controle de tráfego (CT)	88
Tabela 4.16: Modelo com as variáveis volume e equipamento de fiscalização	90
Tabela 4.17: Modelo com as variáveis volume e número de faixas da via arterial.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2: Índice de motorização em 2008 (Fonte: DENATRAN, 2007)	14
Figura 1.3: Acidentes com mortes nos estados do Brasil em 2008 (Fonte: DENATRAN, 2008).....	18
Figura 3.1: Procedimento proposto para elaboração de MPA.....	48
Figura 3.2: Regiões de acidentes de trânsito considerados dentro do raio de 76m	50
Figura 3.3: Definição de segmentos viários e interseções.....	51
Figura 3.4: Área de influência adotada para cada interseção	52
Figura 4.1: Regiões Administrativas de Brasília – DF ano de 1965. (Fonte: SETUR-DF, 2011).....	62
Figura 4.2: Cidade de Taguatinga-DF (Fonte: GDF, 2011)	64
Figura 4.3: Acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas de Taguatinga (Fonte: DETRAN-DF, 2011)	67
Figura 4.4: Acidentes com mortes (Fonte: DETRAN-DF, 2011)	68
Figura 4.5: Acidentes com feridos (Fonte: DETRAN-DF, 2011).....	69
Figura 4.6: Acidentes de trânsito – colisões, choque e capotamento (Fonte: DETRAN-DF, 2011).....	69
Figura 4.7: Número de atropelamentos, quedas e outros acidentes em vias arteriais urbanas de Taguatinga (2005-2010) (Fonte: DETRAN-DF, 2011).....	70
Figura 4.8: Localização das vias arteriais de Taguatinga-DF (Fonte: Google Earth, 2011).....	72
Figura 4.9: Localização das interseções nas vias arteriais de Taguatinga-DF (Fonte: Google Earth, 2011)	75
Figura 4.10: Interseção 33 – Via de Ligação x Av. Elmo Serejo (Fonte: http://100porcentoceilandia.blogspot.com.br – Acesso em: 17 jan 2011.)	78
Figura 4.11: Registro fotográfico da interseção Av. Hélio Prates x Av. Sandú.....	79
Figura 4.12: Cure <i>plot</i> Modelo I.....	94
Figura 4.13: Cure <i>plot</i> Modelo II	94
Figura 4.14: Cure <i>plot</i> Modelo III	94
Figura 4.15: Cure <i>plot</i> Modelo IV	95
Figura 4.16: Cure <i>plot</i> Modelo V	95

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. APRESENTAÇÃO.....	13
1.1 - OBJETIVOS.....	17
1.2 - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.3 - JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 - HIPÓTESE.....	19
1.5 - METODOLOGIA.....	19
1.6 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2 - MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA INTERSEÇÕES.....	22
2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	22
2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MPA'S.....	22
2.3 - TÉCNICAS DE CALIBRAÇÃO DOS MPA'S.....	25
2.3.1 - Modelos Lineares Generalizados- MLG.....	26
2.3.2 - Equação de Estimação Generalizada – EEG.....	29
2.4 - EXEMPLOS DE MPA'S.....	35
2.4.1 - Alguns MPA's para interseções desenvolvidos no Brasil.....	35
2.4.2 - MPA's para interseções desenvolvidos em outros países.....	40
2.4.3 - Estudo de Lord e Park (2008).....	43
2.5 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO.....	46
3 - PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ELABORAÇÃO DO MPA.....	48
3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	48
3.2 - PROCEDIMENTO A SER ADOTADO NO ESTUDO DE CASO.....	48
3.3 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO.....	59
4 - ESTUDO DE CASO.....	61
4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	61
4.2 - ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	65
4.2.1 - Acidentes de trânsito nas RA's do Distrito Federal.....	65
4.2.2 - Acidentes nas vias arteriais de Taguatinga.....	66
4.3 - ELABORAÇÃO DE UM MPA PARA AS VIAS ARTERIAIS URBANAS DE TAGUATINGA.....	71
4.3.1 ETAPA 1 – Identificação das vias arteriais da área de estudo.....	71

4.3.2 ETAPA 2 – Análise preliminar das interseções presentes em cada via arterial.....	72
4.3.3 - ETAPA 3 – Seleção preliminar das interseções que integrarão a amostra.....	74
4.3.4 ETAPA 4 – Coleta de dados complementares das interseções candidatas para integrar a amostra	77
4.3.5 ETAPA 5 – Definição final da amostra a ser utilizada nos modelos	80
4.3.6 ETAPA 6 – Coleta dos dados de acidentes para as interseções da amostra	81
Fonte: (DETRAN-DF, 2011).....	82
4.3.7 ETAPA 7 – Determinação do volume de tráfego nas interseções da amostra	82
4.3.8 ETAPA 8 – Elaboração dos modelos para a cidade de Taguatinga-DF	84
3.4.9 ETAPA 9 – Validação dos modelos	91
4.4 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO	96
5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	98
5.1 - VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E DA HIPÓTESE DA PESQUISA	99
5.2 - LIMITAÇÃO DA PESQUISA	100
5.3 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
APÊNDICES	106
APÊNDICE I - Caracterização da Interseção	107
APÊNDICE II - Registro Fotográfico.....	108
APÊNDICE III – Mapas de Localização das Interseções	142
ANEXOS	155
ANEXO A– Método de Imputação de Dados.....	156
ANEXO B – Estimativa dos Valores dos Volumes Diários Médios Anuais (VDMA) 162	

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

O crescimento desordenado de algumas cidades mostra a necessidade, cada vez maior, de planejamentos urbanos que orientem esse crescimento proporcionando melhor qualidade de vida para os seus moradores. Esse crescimento desordenado é bastante acentuado nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, em decorrência de vários fatores, tais como, por exemplo, o êxodo rural.

No Brasil, por exemplo, a população rural abandonava a região para tentar encontrar melhor qualidade de vida nas grandes cidades. Isto é, buscando melhores oportunidades de emprego, moradia, saúde, educação, saneamento e transporte, com isso aumentou-se um número de indivíduos em determinadas regiões. Segundo o Censo 2010 do IBGE, a população urbana brasileira é 5,39 vezes maior do que a população rural (Figura 1.1).

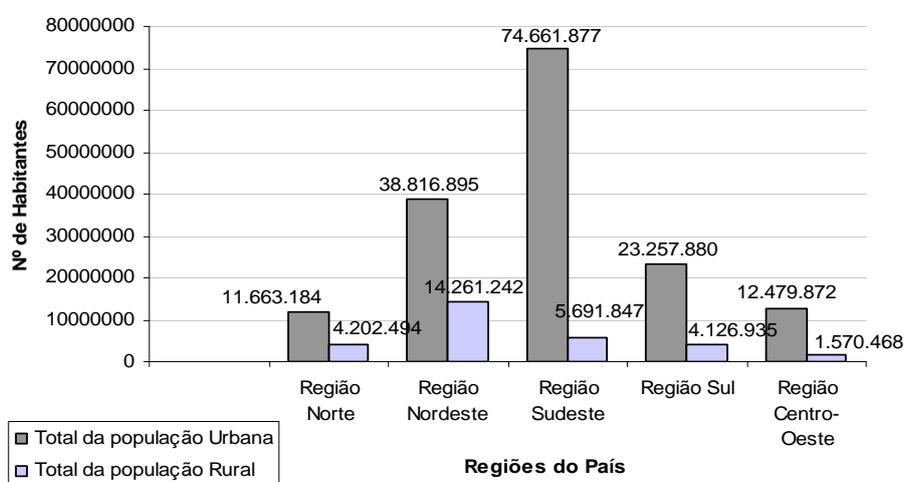


Figura 1.1: População brasileira em 2010 (Fonte: IBGE, 2010)

Com o aumento da população e incentivo ao uso do transporte individual por meio de medidas governamentais para aquisição de veículos motorizados, aumenta-se a utilização de veículos particulares nas vias urbanas. Essa utilização pode ser quantificada através do índice de motorização, que determina um valor para cada região estudada e é determinado de acordo com a Equação 1.1.

$$I = \frac{Frota \times 100}{População} \quad (1.1)$$

em que:

- I = Índice de Motorização (veículos por cem habitantes);
- Frota = Frota de veículos registrados na área;
- População = População da área considerada.

Quanto maior o índice de motorização, maior a possibilidade de problemas decorrentes da circulação viária, incluindo o aumento no número de acidentes. De acordo com o DENATRAN (2007), o índice médio de motorização nas capitais brasileiras em 2008 foi de 37,5 veic/100hab. A Figura 1.2 apresenta o índice de motorização para todas as capitais brasileiras em 2008.

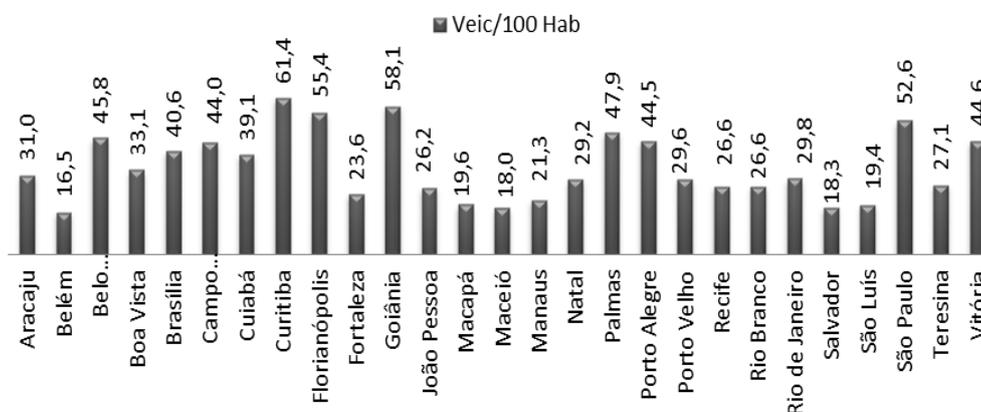


Figura 1.2: Índice de motorização em 2008 (Fonte: DENATRAN, 2007)

De acordo com a OMS – Organização Mundial da Saúde (2009), morrem no mundo mais de 1,2 milhões de pessoas por ano devido a acidentes de trânsito. Mais de 90% dessas vítimas fatais vivem em países de renda baixa ou média, apesar de os mesmos concentrarem apenas 48% dos veículos existentes. Além dessas mortes, existe um número entre 20 e 50 milhões de vítimas com outros traumatismos não fatais, mas que em alguns

casos deixam sequelas graves que impedem a vítima de ter uma vida normal. No Brasil, cerca de 36 mil pessoas morreram em consequência dos acidentes de trânsito em 2009 (Ministério da Saúde, 2010).

De acordo com Ferraz *et al.* (2008), as mortes em acidentes de trânsito ocorridas em 2007 representaram um custo estimado de 31,42 bilhões de reais, que corresponde a aproximadamente 1,23% do PIB brasileiro do mesmo ano. Ao relacionar as taxas de mortalidade por veículo automotor no Brasil e nas nações desenvolvidas os referidos autores destacam que o risco de morte em acidente de trânsito é entre 5 e 10 vezes maior no Brasil do que nos países desenvolvidos .

Com isso, constata-se que existe um problema grave de acidentalidade viária no mundo, especialmente no Brasil, sendo necessário realizar estudos técnico-científicos nessa área para promover a diminuição e/ou reversão desse quadro.

Como os acidentes de trânsito são considerados como eventos aleatórios raros, tem-se a dificuldade de realizar estudos observacionais nessa área. Devido a isto, os estudos, em geral, levam em consideração os acidentes já ocorridos para prevenir que outros ocorram. Na análise desses acidentes são levados em conta dois grupos de fatores:

- fatores de exposição ao risco de acidentes (usualmente: volume de tráfego e distância percorrida); e
- fatores associados aos condutores, veículos, via e ambiente viário.

Uma das técnicas bastante utilizada em estudos de segurança viária consiste na elaboração de Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito (MPA), que levam em consideração o conhecimento histórico sobre essas ocorrências no local de interesse. Esses modelos normalmente objetivam a determinação de um valor esperado de acidentes com

determinadas características em uma unidade de tempo e em determinado local. Constituem modelos probabilísticos que determinam a frequência com que esses eventos raros, sob determinada condição, acontecem (Cunto, 2009).

Os acidentes ocorrem em maior número nas interseções, devido à confluência de veículos nestes locais, possibilitando o aumento da ocorrência de acidentes nas interseções de vias urbanas. Ou seja, esses locais são elementos críticos sob a perspectiva da segurança viária.

O desenvolvimento desta pesquisa foi proveniente de um projeto maior submetido ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq no âmbito do edital MCT/CNPq nº 18/2009, cujo título é “Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Urbanas Brasileiras”, coordenado pelo professor da Universidade do Ceará – UFC, Flávio Cunto. Este projeto envolveu pesquisadores das universidades: UFC, UnB, UFMG, UFRGS, EESC/USP e UFRJ, que objetivaram desenvolver modelos de previsão de acidentes para as respectivas cidades: Fortaleza, Taguatinga, Belo Horizonte, Porto Alegre e São Carlos.

Esta pesquisa contou com o apoio do Departamento de Estatística da UnB, no desenvolvimento de um método de imputação de dados e outro para a estimativa dos valores dos volumes diários médios anuais – VDMA, realizado pelos professores Alan da Silva e Maria Alice Jacques em parceria com o aluno de graduação em Estatística, Gabriel Mota.

No caso específico dessa dissertação, que tratará sobre interseções em vias arteriais urbanas, os modelos devem levar em conta os fatores anteriormente referidos, em cada local (acidentes de trânsito e VDMA). Esses modelos devem refletir a realidade da cidade onde a via arterial se insere.

1.1 - OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é o desenvolvimento de um método para elaboração de um modelo de previsão de acidentes para interseções localizadas em vias arteriais urbanas.

Como objetivos específicos pretende-se:

- a) estudar as principais características geométricas e de uso do solo das interseções semaforizadas e não semaforizadas localizadas em vias arteriais urbanas de Taguatinga;
- b) caracterizar o padrão dos acidentes de trânsito ocorridos nas vias arteriais urbanas de Taguatinga;
- c) aplicar a metodologia para o desenvolvimento de um modelo de previsão de acidentes de trânsito para a cidade de Taguatinga;
- d) avaliar o tipo de correlação entre as observações efetuadas para cada interseção estudada.

1.2 - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os acidentes de trânsito, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2009) produzem mais de um milhão de mortes além de 50 milhões de pessoas feridas por ano em todo o mundo. O acidente de trânsito é o segundo maior problema de saúde pública do Brasil, perdendo apenas para a desnutrição. E o trânsito é a terceira causa de morte do país ficando atrás apenas das doenças do coração e do câncer (OMS, 2009). Nas cidades brasileiras, em 2008, houveram 653.827 vítimas em acidentes de trânsito, sendo 33.996 acidentes com mortes (OMS, 2009). A ocorrência de acidentes com mortes por unidade da Federação é mostrada na Figura 1.3.

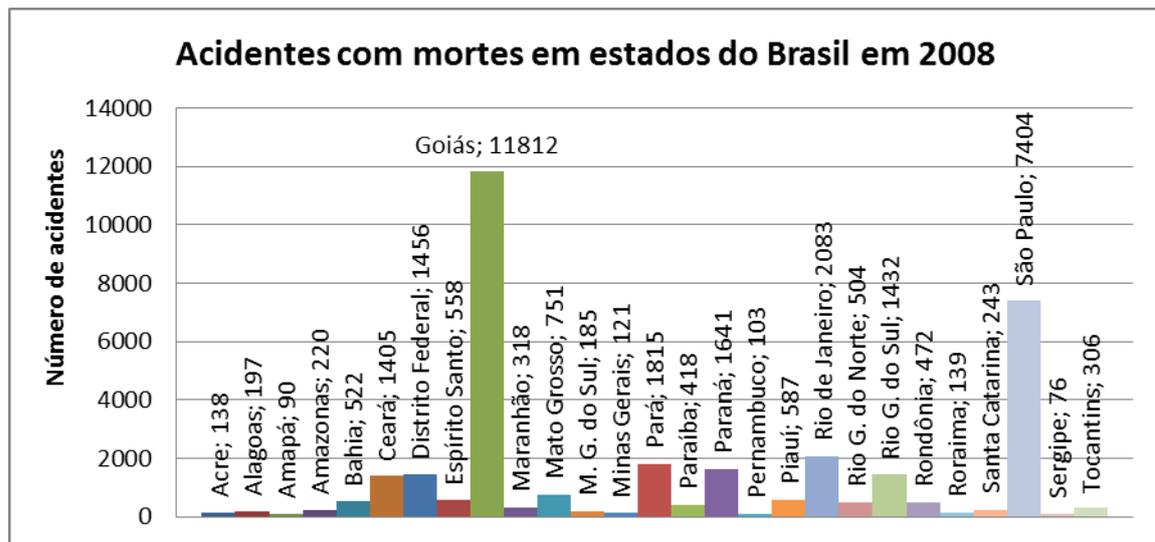


Figura 1.3: Acidentes com mortes nos estados do Brasil em 2008 (Fonte: DENATRAN, 2008)

Os dados sobre acidentes de trânsito são de grande importância para o desenvolvimento de Modelos de Previsão de Acidentes (MPAs) ou funções de desempenho de segurança viária. Os MPAs relacionam o número de acidentes de trânsito com atributos geométricos e de operação da via como: volume veicular, número de faixas de tráfego, número de aproximações, etc. Neste contexto, os MPAs atuam como importante ferramenta para a decisão com relação à aplicação de recursos voltados à promoção da segurança viária, bem como para avaliar o desempenho de intervenção realizada com esse propósito. Apesar de sua importância, são poucos os modelos disponíveis para cidades brasileiras. Dentre os motivos para essa situação destaca-se a dificuldade dos órgãos de trânsito em manter base de dados de acidentes com registros atualizados e confiáveis, além de dados do volume de tráfego nas principais vias das cidades.

Assim, a ausência de MPAs representativos da realidade das cidades brasileiras é uma situação a ser enfrentada e superada. Em termos específicos, neste contexto, a presente pesquisa tem como foco MPAs aplicáveis a interseções localizadas em vias arteriais urbanas. Tendo como problema da pesquisa: *Como elaborar MPAs para interseções localizadas em vias arteriais urbanas com base nos dados disponíveis sobre acidentes de trânsito e condições de controle e operação do tráfego nesses locais?*

1.3 - JUSTIFICATIVA

A análise de dados sobre acidentes de trânsito ocorridos no sistema viário em conjunto a outras variáveis possibilita a determinação de trechos considerados críticos para cada tipo de acidente. Nestes locais, várias características exercem efeito sobre a ocorrência dos acidentes. Porém, para que se tenha uma real interpretação dos dados, devem-se comparar as taxas históricas de acidentes a uma determinada taxa esperada, obtida por meio de modelos de previsão de acidentes.

A vantagem de se utilizar modelos de previsão de acidentes em interseções é que se pode calcular a taxa esperada de acidentes considerando alterações que podem ocorrer nas vias arteriais em estudo, sobretudo em relação ao volume de tráfego e a forma de controle da circulação na interseção.

Justifica-se a pesquisa de um modelo para a cidade de Taguatinga, pois auxilia os gestores no processo de tomada de decisão para diminuição de acidentes de trânsito na cidade. Além de desenvolver um procedimento para o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes a ser adotado em outras cidades.

1.4 - HIPÓTESE

A previsão do número de acidentes em interseções de vias arteriais urbanas do local em estudo pode ser convenientemente realizada com base no volume diário médio anual (VDMA) e no tipo de controle da operação do tráfego (semaforizada e não semaforizada).

1.5 - METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada de acordo com as etapas metodológicas apresentadas a seguir.

- a) **Revisão bibliográfica:** compreendeu o estudo aprofundado sobre os modelos de previsão de acidentes disponíveis na literatura, e a análise de trabalhos existentes sobre segurança viária realizados no Brasil e no exterior.

- b) **Procedimento para desenvolvimento do MPA:** com base nos resultados da revisão bibliográfica, foi definido um procedimento a ser adotado para o desenvolvimento do modelo de previsão de acidentes.

- c) **Planejamento do trabalho de campo:** foi realizada a seleção das variáveis e da amostra de interseções a ser utilizada no estudo, buscando uma distribuição espacial adequada ao longo das vias arteriais de Taguatinga.

- d) **Coleta e Tratamento dos dados:** compreendeu visita *in loco* e realização de registro fotográfico das interseções selecionadas para a amostra. Foi realizada coleta de dados sobre o volume diário médio anual de veículos nestas interseções, e sobre os acidentes ocorridos no período compreendido entre os anos de 2005 a 2010, levantando informações necessárias à caracterização das ocorrências, tais como: tipo de acidente; tipos de veículos envolvidos; horário e dia da semana. Foi realizada, também, coleta de dados referentes às variáveis que caracterizam as condições físicas e operacionais de cada interseção.

- e) **Desenvolvimento do modelo:** desenvolvimento de um MPA a partir dos dados disponíveis das etapas anteriores para as interseções de vias arteriais urbanas da cidade de Taguatinga-DF.

1.6 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos, incluindo este Capítulo introdutório. No Capítulo 2 é apresentado todo o embasamento teórico a respeito dos tipos de modelos de previsão de acidentes de trânsito, objeto desta dissertação.

No Capítulo 3 é apresentado o procedimento proposto para a elaboração do MPA.

No Capítulo 4 é apresentado o Estudo de Caso, como: a área de estudo e os resultados das pesquisas de campo realizadas. São relatados também os critérios de seleção da amostra e as características observadas sobre a geometria e uso/ocupação do solo da área lindeira e como foi obtido o volume diário médio anual (VDMA) para as interseções da amostra. Os modelos desenvolvidos para a cidade de Taguatinga são também apresentados nesse capítulo.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões da pesquisa desenvolvida, comparando os resultados obtidos com os objetivos propostos. Nesse capítulo são incluídas as limitações do trabalho e recomendações para a realização de trabalhos futuros.

2 - MODELOS DE PREVISÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA INTERSEÇÕES

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os Modelos de Previsão de Acidentes – MPA’s são modelos estatísticos que tem por finalidade determinar uma taxa esperada de acidentes, a partir de variáveis que refletem as condições geométricas do local considerado (segmento viário ou interseção) e da operação do tráfego.

Os Modelos de Previsão de Acidentes – MPA’s tem como objetivo determinar uma taxa esperada de acidentes, com determinadas características, em uma unidade de tempo e em um lugar determinado. O desenvolvimento de MPA’s se torna possível a partir de: (i) dados de acidentes de trânsito; (ii) dados referentes ao volume diário médio anual (VDMA) de veículos nas vias/locais onde os acidentes ocorrem; e (iii) características físicas e de uso /ocupação do solo nas vias /locais considerados.

Existem diversos tipos de MPA’s desenvolvidos em diferentes países, tendo sido realizada uma revisão bibliográfica sobre alguns deles. Eles estão divididos em dois grupos: MPA’s para segmentos viários e MPA’s para interseções. E são subdivididos de acordo com o objeto em estudo: usuários da via, tipos de segmento viário e/ou tipos de interseções. Dado o objetivo dessa dissertação, é apresentada nesse capítulo a revisão bibliográfica realizada sobre MPA’s elaborados para interseções semaforizadas e não-semaforizadas.

2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MPA’S

Os modelos de previsão de acidentes são calibrados para locais com características “similares” assumindo a forma geral apresentada na Equação 2.1 (Cunto, 2009):

$$E_c = \alpha \left[\prod_{i=1}^M (F_i)^{\beta_i} \right] \times e^{\sum_{j=1}^N (\gamma_j G_j)} \quad (2.1)$$

Em que:

- E_c = número esperado de acidentes por ano (interseções) ou número esperado de acidentes de trânsito por km.ano (trechos entre quadras ou segmentos de rodovias).
- F, G = atributos relevantes do trecho (ou interseção) estudado (exposição, número de faixas de rolamento, comprimento do segmento, volume de pedestres, dentre outros).
- α, β, γ = parâmetros dos modelos.

Em função da elevada dispersão dos dados de acidentes, a elaboração dos modelos considera estrutura de erro seguindo a distribuição de Poisson ou a Binomial Negativa (Poisson-Gama). As duas distribuições são aplicáveis a eventos aleatórios discretos e assumem valores inteiros positivos. O uso da distribuição Binomial Negativa é recomendado no caso em que a dispersão dos dados é incompatível com o pressuposto de igualdade entre a média e a variância dos dados, assumido na distribuição de Poisson.

Na distribuição de Poisson, considerando que Y seja uma variável aleatória que representa o número de acidentes de trânsito observados em um determinado tipo de entidade viária, a probabilidade de ocorrer em y acidentes na entidade i em um dado intervalo de tempo pode ser representada pela Equação 2.2 (Cunto, 2009):

$$P(Y = y_i) = \frac{\mu_i^{y_i} \exp(-\mu_i)}{y_i} \quad (2.2)$$

No caso da distribuição Binomial Negativa, a expressão para a estimativa da probabilidade da ocorrência de y acidentes na entidade i é a apresentada na Equação 2.3 (Cunto, 2009):

$$P(Y = y_i) = \binom{y_i - 1}{r - 1} \theta^r (1 - \theta)^{y_i - r} \quad (2.3)$$

em que:

$$y = r, r + 1, \dots \text{ para } 0 < \theta \leq 1$$

Para esta distribuição:

$$E(y) = \mu_i = r/\theta \quad (2.4)$$

$$V(y) = \frac{r(1 - \theta)}{\theta^2} \quad (2.5)$$

Nas Equações 2.2 e 2.4, μ_i é o número de acidentes esperado para a entidade i no mesmo intervalo de tempo, podendo ser expresso em sua forma exponencial conforme a Equação 2.6 (Cunto, 2009):

$$\mu_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^n X_i \beta_j\right) \quad (2.6)$$

Em que:

- X_i = características da via como VDMA, raio de curvatura, largura das faixas, etc.
- B_j = parâmetros do modelo obtidos por meio de calibração.

De acordo com Cunto (2009), a Equação 2.6 representa o número esperado de acidentes, considerando-a como uma função exponencial linear de vários atributos presentes no trecho analisado.

Essa equação pode ser apresentada em forma logarítmica, como uma função linear de uma série de variáveis explicativas, conforme apresentado na Equação 2.7:

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_n \times X_n \quad (2.7)$$

De acordo com Cunto e Nodari (2011), para o desenvolvimento de modelos com a estrutura de erro assumindo a distribuição de Poisson ou a Binomial Negativa, as técnicas de modelagem linear generalizada (ou dela derivadas) são adequadas porque permitem o relaxamento da suposição da normalidade dos erros que existe em outras técnicas, como é o caso dos modelos de regressão linear.

2.3 - TÉCNICAS DE CALIBRAÇÃO DOS MPA'S

Para calibração dos modelos usando a plataforma da modelagem linear generalizada a seleção do método específico deve levar em conta a estrutura dos dados disponíveis para o desenvolvimento dos modelos. Para dados referentes a vários locais (segmentos ou interseções) observados, os dados disponíveis podem se referir a:

- um determinado período de tempo (dados transversais) – a calibração de modelos usando esse tipo de dados e assumindo-se a distribuição dos erros de acordo com uma distribuição pertencente à família exponencial. A técnica dos modelos lineares generalizados (MLG) é a mais adequada porque, conforme referido anteriormente, permite a consideração da não-normalidade dos erros (erros não distribuídos de acordo com a distribuição normal);

- períodos de tempo sucessivos, formando uma base de dados longitudinais (ou dados em painel). A calibração desses modelos, quando assume-se a distribuição normal dos erros, pode ser realizada com facilidade também com a técnica dos MLG. Entretanto, no caso dos erros com distribuição de Poisson ou Binomial Negativa, uma técnica derivada do MLG é mais adequada. Esta técnica é denominada Equações de Estimação Generalizadas – EEG.

2.3.1 - Modelos Lineares Generalizados- MLG

Modelos lineares generalizados (MLG) foram desenvolvidos por Nelder e Wedderburn (1972) *apud* Demétrio (2008), por meio de uma série de técnicas estatísticas, comumente estudadas separadamente, que formuladas de maneira unificada permitiram criar uma extensão dos modelos clássicos de regressão. Segundo Demétrio (2008), esses modelos envolvem uma variável resposta univariada, variáveis explanatórias e uma amostra aleatória de “n” observações independentes, em que:

- a variável resposta, componente aleatório do modelo, tem uma distribuição pertencente à família de distribuições que podem ser: normais, gama e normal inversa para dados contínuos; Binomial para proporções; Poisson e Binomial Negativa para contagens;
- as variáveis explanatórias entram na forma de uma estrutura linear, constituindo o componente sistemático do modelo;
- a ligação entre os componentes aleatórios e sistemáticos é feita através de uma função adequada como, por exemplo, logarítmica para os modelos log-lineares, chamada função de ligação.

De acordo com Resende e Biele (2002), as generalizações nos MLG's ocorrem em duas direções:

- permitem que a esperança μ de Y , seja uma função monotonicamente diferenciável do preditor linear $\eta = \sum x_i \beta_i$ de forma que $\mu = f_{(\eta)} = f\left(\sum x_i \beta_i\right)$;
- ou, por inversão, $g(\mu) = \eta$, em que “g” é a função de ligação, a qual liga a média ao preditor linear.

Para dados binomiais, as transformações são importantes para:

- estender a amplitude da variável analisada de (0,1) para a reta real;
- fazer a variância constante através da amplitude dos efeitos fixos. A função de ligação descreve, então, a relação existente entre o preditor linear (η) e o valor esperado μ de Y . No modelo linear clássico tem-se $\eta = \mu$ que recebe o nome de ligação identidade, sendo que esta ligação é adequada no sentido em que ambos η e μ podem assumir valores na reta real (Mc Cullagh & Nelder, 1989, *apud* Resende et al.,2002).

O modelo linear generalizado, definido por Demétrio (2008), é composto por um elemento aleatório representado pelas variáveis aleatórias independentes Y_1, Y_2, \dots, Y_n provenientes de uma mesma distribuição que faz parte da família exponencial na forma canônica. E por um componente sistemático ou determinístico chamado preditor linear.

Podendo ser: $\eta = X\beta$, onde:

- $\eta' = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$;

- $\beta' = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$: vetor parâmetro;
- $X' = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

Sendo X_i vetor de variáveis explanatórias (Equação 2.8);

$$X' = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \forall_i \quad (2.8)$$

Uma função de ligação “ $g(\cdot)$ ” tal que (Equação 2.9):

$$\eta_i = g(\mu_i) \quad (2.9)$$

em que:

$$\mu_i = E(Y_i) \quad (2.10)$$

Para obter-se um modelo do tipo MLG, é fundamental definir: a distribuição da variável resposta; o preditor linear ou matriz do modelo; e a função de ligação. Considere-se, por exemplo, um experimento com os dados da Tabela 2.1, com “ n ” respostas independentes “ Y_i ”.

Tabela 2.1: Dados para o Modelo

X_1	X_2	...	X_k	Y
X_{11}	X_{12}	...	X_{1k}	y_1
X_{21}	X_{22}	...	X_{2k}	y_2
.
X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nk}	y_n

Com relação aos dados da Tabela 2.1, tem-se que:

- y_1, y_2, \dots, y_n são as variáveis de resposta com médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$
- a distribuição de probabilidade de y_i é um dos dados da família exponencial
- e a parcela sistemática do modelo é formada pelas variáveis de regressão x_1, x_2, \dots, x_n
- nesse caso, o modelo pode ser construído com um preditor linear (Equação 2.11):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2.11)$$

2.3.2 - Equação de Estimação Generalizada – EEG

Equações de Estimação Generalizadas (EEG) foram desenvolvidas por Zeger e Liang (1986) apud Venezuela (2008), utilizando modelos de quase-verossimilhança, admitindo que a distribuição marginal da variável dependente seguisse um modelo linear generalizado (MLG) desenvolvido por Nelder e Wedderburn (1972).

Segundo Venezuela (2008), EEG's são construídas sem a especificação da distribuição conjunta. Uma matriz de correlação de trabalho para o vetor de medidas repetidas de cada unidade experimental (entidade) deve ser especificada, não sendo necessária ser correta para obter-se consistência dos parâmetros de regressão. Utiliza uma função estimação que é uma função dos dados (y) e dos parâmetros de interesse (θ). Devem-se estabelecer condições que garantam que os estimadores dos parâmetros envolvidos possuam boas propriedades de distribuição para serem utilizados na função.

Os modelos do tipo EEG admitem estruturas de correlação entre os dados, ou seja, que a frequência de ocorrência da variável resposta (no caso da presente dissertação, do número de acidentes) pode decorrer de dados temporal ou espacialmente correlacionados obtidos

para as entidades observadas. As estruturas de correlação podem ser: independentes, intercambiáveis, autorregressivas ou não-estruturadas.

A EEG especifica uma função conhecida da variável dependente como sendo uma função linear de co-variáveis, assumindo-se que a variância é uma função conhecida da média. Observa-se por meio de uma matriz de correlação os dados para cada grupo em estudo (conjunto de observações para uma mesma entidade).

Para estimar β para os dados correlacionados no MLG, a função de ligação e a configuração do preditor linear são regulares e iguais aos obtidos no MLG. A função de ligação é (Equação 2.12):

$$g(\mu_{ij}) = x\beta \quad (2.12)$$

E a matriz de derivadas parciais da média com relação aos parâmetros de regressão (p é o número de parâmetros) para a i -ésima entidade possui dimensão $p \times n_i$.

A matriz de covariância de Y_i é especificada como o estimador (Equação 2.13):

$$V_i = \phi A_i^{1/2} R_i(\alpha) A_i^{1/2} \quad (2.13)$$

Onde:

- ϕ é o parâmetro de escala para distribuições da família exponencial;
- A_i é uma matriz diagonal $m_i \times m_j$, em que o j -ésimo elemento diagonal é $v(\mu_{ij})$.
- Embora V_i possa ser diferente para cada entidade i , geralmente é utilizada a mesma forma de V_i para todos os indivíduos.

- $R_i(\alpha)$ é completamente especificado pelo vetor de parâmetros desconhecidos α , que é o mesmo para todos os grupos.

Cujos elementos de $R_i(\alpha)$ definem o tipo de correlação entre os dados, que podem ser dos tipos indicados a seguir.

a) Independente $R_i(\alpha)$

A estrutura de correlação independente assume que as observações repetidas para cada entidade considerada são independentes. Neste caso, as estimativas de EEG são as mesmas para o MLG regular. No entanto, seus erros-padrão são diferentes, porque o procedimento de EEG ainda representa a correlação operando no nível do grupo.

$$Corr(y_{ij}, y_{ik}) = \begin{cases} 1 & j = k \\ 0 & j \neq k \end{cases} \quad (2.14)$$

Por exemplo:

$$R_{3 \times 3} = I_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

b) Intercambiável (Uniformemente Correlacionada) $R_i(\alpha)$

A correlação de trabalho intercambiável torna constantes as correlações entre duas observações para uma mesma entidade.

$$Corr(y_{ij}, y_{ik}) = \begin{cases} 1 & j = k \\ \alpha & j \neq k \end{cases} \quad (2.16)$$

Por exemplo:

$$R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha \\ \alpha & 1 & \alpha \\ \alpha & \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Em que:

$$\hat{\alpha} = \left(\frac{1}{(N^* - p)\phi} \right) \sum_{i=1}^K \sum_{j < k} e_{ij} e_{ik} \quad (2.18)$$

- p = número de parâmetros

$$N^* = 0,5 \sum_{i=1}^K n_i (n_i - 1) \quad (2.19)$$

O parâmetro de dispersão ϕ é estimado por $\hat{\phi} = \left(\frac{1}{(N - p)} \right) \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}^2$ e e_{ij} são os resíduos de Pearson. Nas expressões anteriores, n_i é o número de observações realizadas para a i -ésima entidade, e K é o número total de entidades consideradas no estudo (por exemplo, o número de interseções da amostra).

c) Autoregressiva $(AR-1) R_i(\alpha)$

AR-1 estabelece peso para a correlação entre duas observações de uma entidade (ordem de medida). À medida que o afastamento (temporal ou espacial) entre as duas observações aumenta a correlação diminui.

$$Corr(y_{ij}, y_{i,j+t}) = \alpha^t, t = 0, 1, 2, \dots, t_i - j \quad e.g., \quad (2.20)$$

Por exemplo:

$$R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ \alpha & 1 & \alpha \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

em que:

$$\hat{\alpha} = \left(\frac{1}{(M-p)\phi} \right) \sum_{i=1}^K \sum_{j \leq n_i - 1} e_{ij} e_{ij+1} \quad (2.22)$$

$$M = \sum_{i=1}^K (t_i - 1) \quad (2.23)$$

d) Não-estruturada $R_i(\alpha)$

Ela assume que há diversas correlações entre quaisquer duas observações para uma mesma entidade.

$$Corr(y_{ij}, y_{ik}) = \begin{cases} 1 & j = k \\ \alpha_{jk} & j \neq k \end{cases} \quad (2.24)$$

Por exemplo:

$$R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

em que:

$$\hat{\alpha}_i = \left(\frac{1}{(n-p)\phi} \right) \sum_{i=1}^K e_{ij} e_{ik} \quad (2.26)$$

A estimativa das estruturas de correlação de trabalho para dados desbalanceados pode usar o método de todos os pares disponíveis (SAS, 2004, *apud* Wang e Abdel-Aty, 2006), em que todos os pares de dados disponíveis são utilizados para a estimativa dos parâmetros de correlação.

O estimador de correlação baseado em modelo é então dado pela função (Equação 2.27):

$$\sum_m (\hat{\beta}) = I_0^{-1} \quad (2.27)$$

Em que:

$$I_0 = \sum_{i=1}^K (\partial \mu_i / \partial \beta) V_i^{-1} (\partial \mu_i / \partial \beta) \quad (2.28)$$

Vale ressaltar que a multicolinearidade é um fenômeno que ocorre na análise de segurança de uma interseção: interseções maiores costumam ter mais volume de tráfego, maior limite de velocidade, mais faixas para virar à esquerda, etc. Entretanto, de acordo com Ramanathan (1995), *apud* Wang e Abdel-Aty (2006), a multicolinearidade não viola nenhuma hipótese e não causaria tendenciosidade, ineficiência ou inconsistência dos estimadores, não afetando o desempenho de previsão do modelo.

Para esta dissertação foram desenvolvidos modelos do tipo EEG para variável dependente com distribuição Binomial Negativa. Para o desenvolvimento dos modelos, o número de acidentes e o volume de tráfego foram observados nos anos de 2005 a 2010, para cada uma

das interseções estudadas. Tendo sido utilizados modelos de efeitos aleatórios de modo a permitir a determinação de um único parâmetro “ β_0 ” para o modelo de previsão.

2.4 - EXEMPLOS DE MPA’S

Nesta dissertação, será abordado apenas os Modelos de Previsão de Acidentes para interseções semaforizadas e não semaforizadas. Resumidamente são apresentados alguns estudos realizados em diversos países, inclusive no Brasil. Os estudos brasileiros citados fazem parte do projeto nacional sobre Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Urbanas Brasileiras, cuja presente pesquisa de dissertação também está inserida.

2.4.1 - Alguns MPA’s para interseções desenvolvidos no Brasil

A. Belo Horizonte – MG

Para a cidade de Belo Horizonte – MG, Barbosa e Costa (2011) desenvolveram modelos lineares generalizados – MLG, com distribuição de probabilidade do tipo Poisson e Binomial Negativa. Utilizaram como variáveis os dados de contagem volumétrica e de acidentes de trânsito.

A área de estudo encontra-se na parte central da cidade, mais precisamente na Avenida do Contorno, tendo sido escolhidas as principais vias arteriais e coletoras, pois nestas interseções há a contagem volumétrica (sem distinção do tipo de veículo) de 24 horas por dia, durante todo o ano, por meio de laços indutivos presentes na via.

Os autores estimaram fatores de expansão semanais e mensais por meio da seleção de 5 interseções distribuídas de forma a cobrir toda a área de estudo e que apresentasse menor número de imperfeições nos dados volumétricos.

Os dados sobre os acidentes de trânsito foram gerados pela BHTRANS a partir das informações dos boletins de ocorrências de acidentes, onde estavam registrados o logradouro, o número do imóvel, bairro, data e hora, veículos, severidade e envolvidos. Foram selecionadas 92 interseções para realização da pesquisa no banco de dados sobre os acidentes de trânsito ocorridos no ano de 2009. Foram utilizados apenas os acidentes ocorridos efetivamente nas interseções selecionadas para a amostra.

Barbosa e Costa (2011) utilizaram um MLG, a partir de uma função linear de uma série de variáveis explicativas, e por meio do programa SPSS estimaram os parâmetros para o MLG com distribuição de probabilidade Poisson, determinando a expressão (Equação 2.29):

$$\ln(Y) = -1,001 + (2,035 \times 10^{-5})x \quad (2.29)$$

Em que:

- Y = número esperado de acidentes;
- x = VDMA (volume diário médio anual).

Para a estimativa dos parâmetros encontrados no MLG com distribuição de probabilidade Binomial Negativa, os autores obtiveram a expressão (Equação 2.30) (Barbosa e Costa, 2011):

$$\ln(Y) = -1,306 + (2,772 \times 10^{-5})x \quad (2.30)$$

Em que:

- Y = número esperado de acidentes;

- $x = \text{VDMA}$ (volume médio diário anual).

Segundo os estudos realizados por Barbosa e Costa (2011), o MLG referente à distribuição de probabilidade Binomial Negativa tem maior desvio padrão e intervalo de confiança que o MLG de distribuição de probabilidade por Poisson. O teste de hipótese indica que há significância dos parâmetros estimados para a geração dos modelos para um nível de significância de 5%. O coeficiente β é a estimativa da mudança na variável dependente que pode ser atribuído à mudança de uma unidade na variável independente.

A distribuição de Poisson apresenta menor desvio padrão. Entretanto o desvio padrão sozinho não é um bom indicativo de comparação entre dois modelos que assumem distribuições de erros diferentes. Assumindo-se a distribuição Binomial Negativa, os parâmetros dependem da estimativa da função variância, que não é mais constante como na distribuição de Poisson, apresentando um fator a mais de variação representado pela função de variância, o que justifica os intervalos maiores encontrados nos parâmetros de calibração (Barbosa e Costa, 2011).

B. Fortaleza – CE

Cunto *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de previsão de acidentes para a cidade de Fortaleza com o objetivo de estimar o número total de acidentes de trânsito e o número de acidentes de trânsito com vítimas feridas e fatais em interseções semaforizadas a partir de seus atributos físicos e operacionais, utilizando quatro variáveis preditoras: volume diário médio anual (VDMA), número total de faixas da interseção, número total de aproximações e presença ou não de canteiro central. Foi selecionada uma amostra de 101 interseções para ser utilizada no processo de modelagem.

Foram coletados, no banco de dados do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza – SIATFOR, os dados sobre os acidentes de trânsito ocorridos no ano de

2009. Esse banco de dados informatizado e gerenciado de acidentes está em operação desde o ano de 2000 (Cunto *et al*, 2011).

O VDMA foi estimado com dados de fluxo veicular, de 15 em 15 minutos, armazenados no banco de dados do CTAFOR, cujo controle semafórico é feito pelo aplicativo inglês SCOOT (*Split Cycle Offset Optimization Technique*). Para dispensar a necessidade de fatores de expansão do volume de um dia para a média semanal, os autores consideraram que o VDMA deveria ser estimado pela média de pelo menos uma semana completa de observações. O volume diário médio mensal (VDMM) foi então obtido com a aplicação do fator de expansão médio de 0,991.

Para a modelagem, os autores consideraram duas categorias de modelos: a primeira utilizando como variável resposta o número total de acidentes de trânsito (categoria 1), e a segunda com o número total de acidentes de trânsito com vítimas fatais e feridas como variável dependente (categoria 2). Para as duas categorias adotou-se um modelo que continha somente uma variável na parte multiplicativa da Equação 2.1, inicialmente. A partir de então, foram acrescentadas as demais variáveis preditoras, de modo a combinar as variáveis envolvidas, chegando a construção de 8 MPA's (Cunto *et al*, 2011).

Os autores, após realização de testes iniciais, encontraram parâmetros de dispersão para cada modelo. Na categoria 1 foram obtidos valores iguais a 3,92 para a distribuição de Poisson e 1,04 para a distribuição Binomial Negativa. Para a categoria 2 foram obtidos valores iguais a 1,78 para a distribuição de Poisson e 1,13 para a distribuição Binomial Negativa. Assim, os resultados sugerem que a dispersão observada nos dados coletados é mais compatível com a premissa da distribuição binomial negativa para as duas categorias de modelos (Cunto *et al*, 2011).

Foi utilizada a função logarítmica como função de ligação para estimar os parâmetros de dispersão de cada modelo, utilizando o aplicativo estatístico R, versão 2.13 (Cunto *et al*,

2011). A partir dos oito modelos determinados os autores selecionaram os melhores levando em conta os seguintes critérios:

- A comparação dos valores do logaritmo da máxima verossimilhança (-2ℓ) do modelo mais simples com o modelo imediatamente mais complexo (com uma variável adicional). A variável que ao ser acrescentada resultar no maior aumento no parâmetro (-2ℓ) deve ser a próxima a ser incluída nesse modelo, até que todas as variáveis significativas tenham sido incluídas.
- Nos modelos com elevados parâmetros, a variância dos erros será baixa. Ou seja, o modelo se ajustará aos dados existentes, perdendo a capacidade de prever os acidentes em novas interseções.
- O indicador de Pearson χ_p^2 utilizado para avaliar quanto a variância explicada pelo modelo difere da variância observada nos dados (quanto o modelo proposto se ajusta aos dados). Para um determinado nível de significância α o modelo será considerado adequado se $\chi_p^2 < \chi_{p\text{ crítico},\alpha}^2$. Sendo escolhidos os modelos 6 e 8 como sendo os melhores que se ajustaram aos dados. Entretanto, o modelo 2 teve um desempenho muito próximo ao aceitável não tendo sido completamente descartado pelos autores.
- O Critério de Informação Akaike (AIC), que compara diferentes modelos com base no equilíbrio entre o viés e a variância explicada pelos mesmos, sendo o modelo mais equilibrado aquele que apresenta menor AIC. Neste caso, o modelo 2 foi o escolhido, por oferecer uma melhor aderência, com a redução de 25 pontos com relação ao modelo 1, por exemplo.

- Para modelos satisfatórios, o gráfico de resíduos acumulados (CURE *plot*) deve apresentar uma oscilação moderada e aleatória em torno de zero, além de permanecer confinado na envoltória de dois desvios padrões (Hauer, 2004, apud Cunto et al, 2011). Todos os modelos estiveram dentro dos limites da envoltória e com oscilação em torno de zero.

Cunto *et al* (2011), concluíram pela seleção do modelo (ver Equação 2.27) para a estimação do número total de acidentes de trânsito, que possui como variáveis explicativas o VDMA e o número de faixas. Os autores destacam que, por ter elevada dependência entre as variáveis explicativas, o modelo serve mais ao propósito de predição do que de estimar relações de causa e efeito. Para a estimação do número de acidentes de trânsito com vítimas feridas e fatais, nenhuma das variáveis investigadas foi significativa e assim, nenhum modelo foi obtido.

$$Y = e^{-12,09}VDMA^{1,34} \quad (2.31)$$

$$Y = e^{-5,13}VDMA^{0,52}e^{0,28Nfx}$$

2.4.2 - MPA's para interseções desenvolvidos em outros países

A Tabela 2.2 apresenta MPA's desenvolvidos para interseções semaforizadas e não semaforizadas de vias urbanas nos seguintes países: Canadá, Dinamarca, Portugal, Reino Unido e Suécia.

Tabela 2.2: Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito

PAÍS	MODELOS	VARIÁVEIS DEPENDENTES	VARIÁVEIS INDEPENDENTES
CANADÁ	MPA's para interseções não semaforizadas e controladas por sinais de "PARE" para interseções com 3 e 4 ramos (Sayed e Rodriguez, 1999). MPA's para interseções com 4 ramos semaforizadas (Lord e Persaud, 2000).	Nº total de acidentes	VDMA de veículos; Características geométricas da via, tais como: nº de faixas, nº de acessos, frequência de parada de ônibus e de faixa de pedestres; uso e ocupação do solo; VDMA de veículos na via principal e na via secundária.

Tabela 2.2: Modelos de Pravição de Acidentes de Trânsito (Continuação)

PAÍS	MODELOS	VARIÁVEIS DEPENDENTES	VARIÁVEIS INDEPENDENTES
DINAMARCA	MPA's para interseções (Greibe, 2003)	Nº total de acidentes	VDMA de veículos; Características geométricas da via, tais como: nº. de faixas, nº de acessos, frequência de parada de ônibus e de faixa de pedestres; uso e ocupação do solo; Velocidade e classe da via.
ESTADOS UNIDOS	MPA's para interseções de 3 ramos (Lord e Park, 2008)	Nº total de acidentes	VDMA de veículos e Características geométricas da via, tais como: nº. de faixas, nº de acessos, frequência de parada de ônibus e de faixa de pedestres.
PORTUGAL	MPA's envolvendo pedestres e acidentes de modo geral em interseções (Gomes, 2010)	Nº total de acidentes	VDMA de veículos; Fatores climáticos e condições das vias.
REINO UNIDO	MPA's para interseções de 3 ramos envolvendo pedestres e veículos (Maher e Summersgill, 1996). MPA's para rotatórias (Maycock e Hall, 1984). MPA's para interseções semaforizadas e não-semaforizadas que levam em consideração suas características geométricas e os tipos de acidentes (Mountain e Fawaz, 1996)	Nº total de acidentes	VDMA de veículos; Classe da rodovia e Número de interseções secundárias.
SUÉCIA	MPA's para interseções envolvendo pedestres (Brude e Larson, 1993)	Nº total de acidentes	VDMA de veículos; VDMA de ciclistas e VDMA de pedestres.

Fonte: Gomes, 2010.

Alguns elementos adicionais sobre os modelos referidos na tabela são apresentados a seguir, agrupados pelo país a que se referem.

A. Canadá

Sayed e Rodriguez (1999) desenvolveram MPA's para interseções não semaforizadas levando em consideração o tipo de interseção, de 3 ramos (em "Y") ou 4 ramos (em "cruz"), e o volume de tráfego das vias que formam o alguns cruzamentos na cidade de Greater Vancouver – British Columbia, também no Canadá.

Lord e Persaud (2000) desenvolveram MPA's para interseções semaforizadas de 4 ramos (em "cruz"). Leden (2002) desenvolveu MPA's para a cidade de Hamilton – Ontário, que consideravam a desagregação por viagem à esquerda (quando o veículo faz a conversão para o lado esquerdo) e à direita (quando o veículo faz a conversão para o lado direito) utilizando 4 formas de cálculo do tráfego médio anual de pedestres e veículos: através da média diária anual; média horária anual para a manhã (7h-10h) e a tarde (14h-18h); média horária anual contínua (24h); e média anual calculado por período de 15 a 15 minutos.

B. Dinamarca

Greibe (2003) desenvolveu MPA para interseções urbanas, chegando à conclusão que apenas 1% da variação observada era atribuível às variáveis associadas à geometria da via e ao ambiente viário, por isso optou em não inseri-las no modelo proposto. O autor tinha como objetivo desenvolver modelos simples e que previssem o número de acidentes em interseções urbanas e segmentos viários com a maior precisão possível. O propósito desses modelos era permitir a identificação de fatores relacionados à segurança viária e que pudessem ser empregados pelas autoridades locais de trânsito para a identificação de pontos críticos e para a análise de segurança da rede viária.

C. EUA

Lord e Park (2008) desenvolveram um MPA para rodovias do estado da Califórnia para estimar a frequência dos acidentes do tipo colisão em interseções de três ramos de vias rurais. Os autores levaram em consideração os tipos de interseções, as características geométricas das interseções, o VDMA e a frequência com que os acidentes ocorreram. Dada a importância deste trabalho para a presente pesquisa, ele será detalhado em seção específica do presente capítulo.

D. Portugal

Gomes (2010) desenvolveu MPA's para a estimativa da frequência de atropelamentos e estimativa da frequência de acidentes com vítimas, excluindo-se os atropelamentos, em intersecções de 3e 4 ramos e em rotatórias.

A autora identificou relações entre várias características geométricas e de infraestrutura viária e a ocorrência de acidentes de trânsito, permitindo quantificar níveis de segurança e adequar determinadas soluções a respeito do número esperado de acidentes nos locais estudados.

E. Reino Unido

Maycock e Hall (1984) desenvolveram MPA's para rotatórias. Maher e Summersgill (1996) desenvolveram MPA's envolvendo pedestres em intersecções de 3 ramos de vias urbanas com faixas de rodagem para a estimativa da frequência de atropelamentos.

Mountain e Fawaz (1996) desenvolveram MPA's para intersecções urbanas considerando variáveis relacionadas à geometria da intersecção, forma de controle de tráfego e limite de velocidade. Utilizaram informações sobre acidentes de trânsito que aconteceram até 20 metros da intersecção.

F. Suécia

Brüde e Larson (1993), apud Gomes (2010) desenvolveram MPA's envolvendo pedestres em intersecções, usando modelos para segmentos viários, mas passíveis de aplicação em intersecções de qualquer tipo de controle de tráfego.

2.4.3 - Estudo de Lord e Park (2008)

No estudo realizado por Lord e Park (2008), foi examinada a influência de diferentes abordagens para a determinação do número esperado de acidentes via MPA's sobre os

resultados das estimativas produzidas por modelos empíricos de Bayes. Dado o foco da presente dissertação, nesta seção serão apresentadas apenas as questões ligadas às abordagens utilizadas para o desenvolvimento dos MPA's, que utilizaram distribuição dos erros de acordo com a distribuição Binomial Negativa (modelos binomiais negativos tradicionais e modelos binomiais negativos generalizados). Foram elas: elaboração de modelos com o uso agregado de dados de acidentes para um período de cinco anos, resultando num parâmetro de dispersão (parâmetro α da Equação 2.1) fixo; uso dos dados anuais de acidentes com a determinação de parâmetro de dispersão variável ao longo do tempo.

Os autores desenvolveram cinco modelos de previsão de acidentes, considerando apenas covariáveis relacionadas aos volumes (VDMA) que entram na interseção provenientes da via principal e da via secundária. Outras variáveis não foram consideradas, uma vez que os autores consideraram esse contexto mais apropriado para a investigação do efeito da variação temporal do parâmetro de dispersão. As Equações 2.28 a 2.32 mostram as expressões definidas para cada modelo a ser avaliado, selecionadas pelos autores a partir de estudos anteriores publicados na literatura.

$$1. \text{ Modelo 1: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln(F1_{it} + F2_{it}) \quad (2.28)$$

$$2. \text{ Modelo 2: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln F1_{it} + \beta_2 \ln F2_{it} \quad (2.29)$$

$$3. \text{ Modelo 3: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln(F1_{it} \times F2_{it}) \quad (2.30)$$

$$4. \text{ Modelo 4: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln(F1_{it} + F2_{it}) + \beta_2 \ln\left(\frac{F2_{it}}{F1_{it}}\right) \quad (2.31)$$

$$5. \text{ Modelo 5: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln F1_{it} + \beta_2 \ln F2_{it} + \beta_3 \ln F2_{it} \quad (2.32)$$

em que:

- β_{0t} , β_1 , β_2 e β_3 - parâmetros a serem calibrados;

- Número esperado de acidentes no cruzamento i no ano t ;
- $F1_{it}$, $F2_{it}$ – volume diário médio anual na interseção i no ano t oriundo da via principal e da via secundária, respectivamente.

Observa-se que os Modelos 5 e 2 são equivalentes. Como não foi possível obter a fonte original desses modelos citada por Lord e Park (2008), o Modelo 5 será desconsiderado no desenvolvimento do procedimento proposto no Capítulo 3. No seu lugar será proposto um novo modelo.

Os modelos binomiais negativos tradicionais foram calibrados em duas etapas. Na primeira etapa o objetivo foi determinar os valores dos parâmetros β_1 , β_2 e β_3 . Para tanto, os modelos foram calibrados para permitir a estimativa do número total de acidentes em 5 anos, sendo que os dados de acidentes foram agregados para os cinco anos e os VMDA's utilizados ($F1$ e $F2$) foram determinados como o valor médio dos volumes anuais obtidos para os cinco anos. Na segunda etapa os parâmetros obtidos na primeira etapa foram considerados constantes e, levando em conta os valores anuais de $F1$, $F2$ e do número de acidentes, os modelos foram então calibrados de modo a serem obtidos os respectivos β_{0t} .

As mesmas variáveis explicativas consideradas na função da média ($F1$ e $F2$) foram consideradas para a função de dispersão. Por isso, para permitir avaliar o impacto das diferentes formas funcionais na determinação do parâmetro de dispersão, mesmo os coeficientes das variáveis que não se mostraram estatisticamente significativos para o nível de 5% foram mantidos como parâmetros do modelo de dispersão do modelo binomial negativo generalizado.

Os modelos calibrados foram comparados entre si por meio de testes estatísticos e da análise dos correspondentes CURE plots.

Os testes estatísticos considerados foram: Critério de Informação de Akaike (AIC); Critério de Informação Bayesiano (BIC); soma dos desvios do modelo (G^2); medida de desempenho com base nos resíduos padronizados, similar ao coeficiente de determinação (R^2). A formulação de cada uma dessas estatísticas é apresentada no trabalho de Lord e Park (2008), sendo algumas delas detalhadas no Capítulo 3 desta dissertação.

Quanto menores os valores de AIC, BIC e G^2 melhor é o ajuste do modelo. Por outro lado, maiores valores de R^2 indicam ajuste superior. A partir da análise efetuada, considerando as estatísticas de teste e os CURE plots, os autores concluíram que:

- O Modelo 4 foi o melhor modelo ajustado entre os cinco modelos alternativos, independente do tipo de calibração, com base nos resultados dos quatro testes;
- Em geral, os modelos binomiais negativos generalizados mostraram um melhor ajuste do que os modelos binomiais negativos tradicionais, independentemente das formas funcionais.

Para a identificação do modelo com melhor ajuste, análise feita com base em um único ou dois testes estatísticos deve ser evitada, uma vez que alguns desses testes podem produzir resultados discrepantes entre si.

2.5 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO

Ao analisar os modelos desenvolvidos percebe-se a complexidade dos diferentes tipos de MPA's elaborados para os vários tipos de interseções. Também devido à falta de informações específicas relacionadas aos acidentes em interseções, os MPA's para esses locais são mais complexos, pois não há dados detalhados em alguns bancos de dados sobre acidentes de trânsito. Dados históricos sobre volumes diários médios anuais (VDMA) são ainda mais escassos.

Para a presente dissertação, os modelos desenvolvidos serão calibrados por meio da técnica EEG (uma vez que os dados disponíveis são longitudinais), assumindo erros com distribuição Binomial Negativa por se tratar de dados de contagem com a presença de um grande número de observações com valor zero e, portanto, com alta dispersão. Em conformidade com a hipótese da pesquisa, serão utilizadas como variáveis iniciais para o desenvolvimento dos modelos: o número de acidentes anuais ocorridos no período de 2005 a 2010; o VDMA nas vias arteriais e o VDMA nas vias secundárias; e o tipo de controle do tráfego na interseção (semaforizada ou não-semaforizada). Num segundo momento, será investigado o efeito sobre a qualidade do modelo de previsão da inclusão das seguintes variáveis: número de faixas da via arterial; e presença de controle de avanço de sinal nas aproximações da via arterial.

3 - PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ELABORAÇÃO DO MPA

3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é apresentado o procedimento proposto para a elaboração dos MPA's, e sua aplicação à cidade de Taguatinga será desenvolvida no Capítulo 4 desta dissertação.

3.2 - PROCEDIMENTO A SER ADOTADO NO ESTUDO DE CASO

O procedimento proposto para o desenvolvimento de um MPA referente a interseções localizadas em vias arteriais urbanas está dividido em nove etapas (Figura 3.1), que são descritas a seguir.

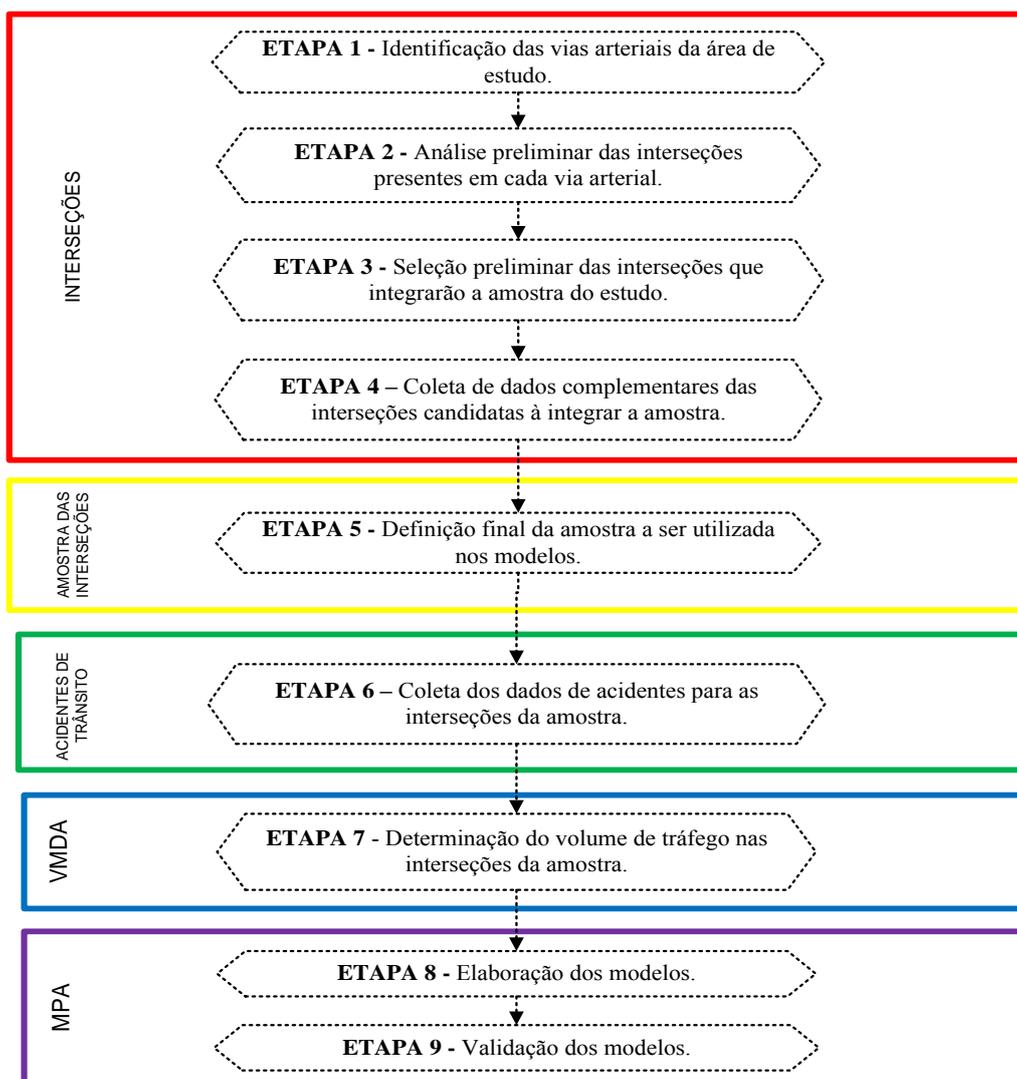


Figura 3.1: Procedimento proposto para elaboração de MPA

I. ETAPA 1 – Identificação das vias arteriais da área de estudo

Por meio de levantamento junto ao órgão de trânsito responsável, identificar as vias urbanas da área de estudo que são classificadas pelo órgão como vias arteriais.

II. ETAPA 2 – Análise preliminar das interseções presentes em cada via arterial

Esta análise deve ser realizada por meio de plantas digitais das vias e recursos do Google Earth, visando identificar as principais características das vias arteriais e respectivas interseções, tais como: (i) condição geral da geometria das vias arteriais; (ii) classes das vias interceptantes nas interseções: arteriais, coletoras ou locais; (iii) tipo de controle da interseção: semáforo, sinalização PARE ou DÊ A PREFERÊNCIA; (iv) características gerais de ocupação das áreas lindeiras; (v) presença de equipamento de fiscalização eletrônica em uma ou mais aproximações.

Um ponto importante dessa etapa é caracterizar a área no entorno do cruzamento quando serão observados os acidentes a serem atribuídos a cada interseção. Neste procedimento, a atribuição é feita por critério segundo a localização dos acidentes na interseção, definido a partir de referências obtidas junto à literatura pesquisada.

Para Mountain e Fawaz (1996), os acidentes devem ter ocorrido num raio de 76 metros da interseção, enquanto que, para Kindler *et al* (2003) apud Gomes (2010), apenas acidentes que ocorreram dentro de um raio de 76 metros a partir do centro da interseção (Figura 3.2) quanto os demais acidentes que estão relacionados à interseção são classificados como "acidentes na interseção" ou estão relacionados a interseção. Mas para Harwood *et al.* (2000), para fins de modelagem, apenas os acidentes que ocorreram dentro de 76 metros do cruzamento e aconteceram efetivamente por causa da presença da interseção devem ser considerados como acidentes em interseções. Isto é, este último autor agrega uma condição extra à questão da localização do acidente: a influência efetiva da presença da interseção na ocorrência.

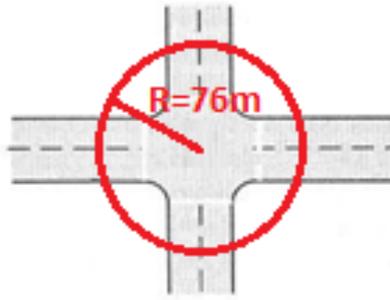


Figura 3.2: Regiões de acidentes de trânsito considerados dentro do raio de 76m

No HSM, os acidentes em interseção incluem acidentes que ocorrem na interseção (dentro dos limites dos meios fios) e acidentes que ocorrem nas pernas da interseção e são relacionados à interseção. Todos os acidentes que não forem classificados como na interseção ou relacionados à interseção são considerados como acidentes em segmentos viários. A Figura 3.3 ilustra o critério usado para atribuir acidentes a segmentos viários ou interseções. Como mostrado:

- Todos os acidentes que ocorrem dentro dos limites das linhas de meio-fio de uma interseção (Região A na figura) são atribuídos àquela interseção.
- Acidentes que ocorrem fora dos limites das linhas de meio-fio de uma interseção (Região B na figura) são atribuídos ou ao segmento viário onde ocorreram ou a uma interseção, dependendo das suas características. Somente os acidentes que são classificados nos boletins de acidentes como relacionados à interseção, ou que possuem características consistentes com a de acidentes relacionados à interseção, é que são atribuídos à interseção ao qual estão relacionados.



Figura 3.3: Definição de segmentos viários e interseções

Gomes (2010) determinou em suas pesquisas raios distintos relacionados ao tipo de acidente de trânsito, podendo ser de 20 e 50 metros contados a partir do ponto de interseção entre os eixos dos ramos do cruzamento. Gomes concluiu que a zona de influência da interseção para acidentes com vítimas mais adequados é a definida por um raio de 50 metros. Para acidentes do tipo atropelamento de pedestres, a autora refere que não pode ser determinado um raio único ideal, uma vez que nuns casos foram consideradas áreas de influência com raios de 20 m e outros de 50 m a partir do centro da interseção.

No presente procedimento, considerando-se a impossibilidade de identificar junto aos boletins de ocorrência quais os acidentes de trânsito nas proximidades das interseções que foram efetivamente provocados pela presença das mesmas, optou-se por adotar somente o critério da área de influência. Assume-se que acidentes ocorridos até uma distância de 20 metros da linha de retenção (em aproximações onde esta linha está devidamente demarcada) ou do prolongamento do meio-fio de cada via interceptante (nos casos sem linha de retenção pintada no pavimento) podem ser atribuídos à interseção, conforme mostrado na Figura 3.4

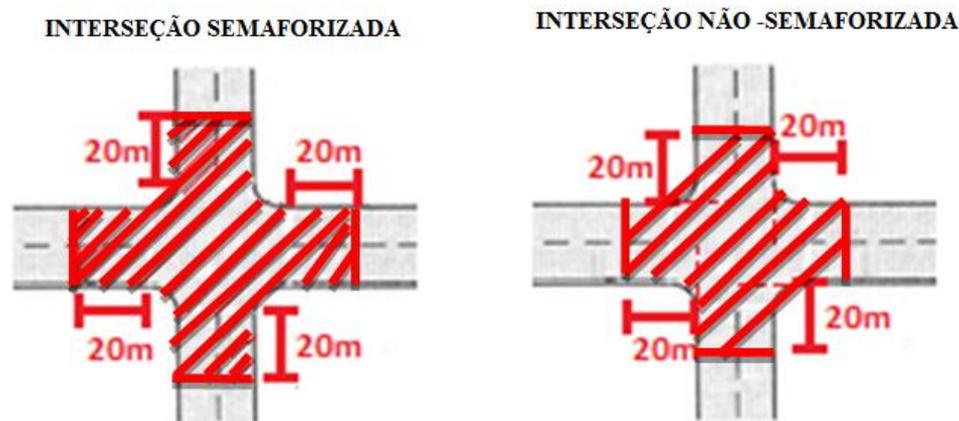


Figura 3.4: Área de influência adotada para cada interseção

III. ETAPA 3 – Seleção preliminar das interseções que integrarão a amostra do estudo

A partir do conhecimento das características gerais da população alvo (interseções localizadas nas vias arteriais urbanas), será decidida a melhor forma de selecionar as interseções que serão utilizadas na amostra. Esta seleção deve ser realizada de modo aleatório, sem estabelecer qualquer relação com a ocorrência de acidentes. Isto é, deve ser adotada uma das técnicas de amostragem probabilística.

Para garantir uma cobertura efetiva da população alvo do estudo sem, contudo, perder a característica de aleatoriedade no processo de seleção, recomenda-se a amostragem probabilística por meio da técnica da amostragem sistemática. Para cada via arterial, isto implica em selecionar, por exemplo, uma interseção a cada número “X” de interseções (esse número é definido pelo pesquisador) ou interseções espaçadas entre si de uma distância pré-estabelecida. As condições a serem consideradas na amostragem dependem do tamanho da população alvo (número total de interseções da área de estudo) e do número máximo de interseções que podem ser incluídas na pesquisa em função de restrições na futura coleta de dados, sobretudo os de volume e acidentes.

É importante lembrar que a calibração dos MPA’s requer um número elevado de observações para permitir a obtenção de parâmetros estatisticamente significativos para os

modelos. Este número de observações depende tanto do número de interseções selecionadas para o estudo quanto do número de anos para os quais estão disponíveis os dados de acidentes, de volume e de outras características de cada interseção selecionada.

IV. ETAPA 4 – Coleta de dados complementares das interseções candidatas para integrar a amostra.

Verificar junto ao órgão de trânsito, para as interseções selecionadas na Etapa 3, se houve alteração importante durante o período do estudo especialmente com relação a:

- Geometria do local, sobretudo quanto ao número de faixas por aproximação e a presença de separador central dos fluxos opostos e/ou ilhas de canalização para os movimentos de conversão;
- Forma de controle do tráfego (instalação ou remoção de semáforo, ou implantação de rotatória);
- Implantação e/ou remoção de equipamentos de fiscalização de velocidade; e
- Uso e ocupação da área lindeira.

Interseções onde uma ou mais dessas alterações se verifique devem ser excluídas da amostra.

V. ETAPA 5 – Definição da amostra a ser utilizada nos modelos

Com os dados obtidos nas etapas anteriores, determinar a amostra a ser utilizada. Destaca-se que integram a amostra tanto interseções semaforizadas quanto não semaforizadas.

VI. ETAPA 6 – Coleta dos dados de acidentes para as interseções da amostra.

Analisar o banco de dados sobre os acidentes de trânsito disponível no órgão gestor. O levantamento do número de acidentes ocorridos em cada interseção da amostra depende da forma de coleta e registro de dados adotada pelo órgão, e dos recursos disponíveis nesse banco de dados para a busca dos dados sobre os acidentes de trânsito ocorridos em determinada interseção e/ou via durante um período de tempo determinado. Pelo critério indicado na Etapa 2, é necessário que o banco de dados disponha de elementos suficientes para permitir a identificação da localização espacial de cada acidente, permitindo sua atribuição ou não a cada interseção considerada na amostra.

VII. ETAPA 7 – Determinação do volume de tráfego nas interseções da amostra.

Um dos elementos chaves para a elaboração dos MPA's é o volume diário médio anual (VDMA), que é representada a medida de exposição ao risco de acidentes nas interseções. Entretanto, sua obtenção junto aos órgãos de trânsito é extremamente difícil. Em geral, o VDMA pode ser obtido por meio das contagens contínuas realizadas pelos equipamentos de fiscalização eletrônica para os locais onde estes estão instalados ou dos contadores de tráfego associados aos sistemas de controle semafórico em área. Em qualquer um dos casos, muitas vezes essas contagens apresentam falhas relacionadas a problemas de funcionamento dos equipamentos e nem sempre os órgãos de trânsito adotam procedimentos sistemáticos para verificação desses volumes e posterior montagem de um banco com os dados tratados.

Para efeito deste procedimento, recomenda-se que a obtenção do VDMA de cada interseção da amostra para cada um dos anos do período de análise siga as seguintes fases:

- a) identificação junto ao órgão de trânsito dos equipamentos de fiscalização nas vias arteriais de interesse para a pesquisa, especialmente daqueles situados junto às interseções semaforizadas, que estejam em funcionamento ao longo de todo o período do estudo;

- b) solicitação ao órgão de trânsito dos dados de volume de cada um dos equipamentos selecionados em “a” para o período do estudo, agregados em intervalos de 1 hora; se o órgão não adotar sistemática para tratamento desses dados, efetuar uma análise da base de dados e adotar técnica de imputação de dados para obter volumes horários (para cada dia de cada mês de cada ano do período do estudo) corrigidos, conforme descrito no Anexo A;
- c) a partir do banco de dados com os volumes corrigidos, determinar fatores de expansão horários (ou por grupo de horas), diários e mensais (para cada ano da base), a serem posteriormente aplicados para a estimativa dos VDMA’s a partir de contagens de tráfego realizadas nas aproximações das interseções da amostra; determinar, também, fatores de variação dos volumes horários (ou de grupos de horas) entre anos sucessivos;
- d) de acordo com a disponibilidade de recursos para a coleta de dados, realizar contagem volumétrica classificada nas aproximações da amostra por um determinado número de horas;
- e) usando os resultados das contagens, os fatores de variação dos volumes horários (ou de grupos de horas) e os fatores de expansão calculados em “c” referentes aos equipamentos localizados nas interseções da amostra ou em interseções próximas, estimar o VDMA para cada aproximação das interseções da amostra. Esta estimativa só será possível para os anos contemplados na base de dados definida em “b”, ou para um período de até um ano a frente, mediante a análise de séries temporais (ver Anexo B);
- f) no caso de banco de dados incompleto, para os anos não contemplados na base de dados e para os quais a análise de série temporais anteriormente referida não seja aplicável, os VDMA serão estimados a partir da análise de tendência dos volumes anuais disponíveis, determinados em “e” (ver Apêndice B).

VIII. ETAPA 8 – Elaboração dos modelos.

Dependendo do tamanho da amostra as interseções poderão ser agrupadas de acordo com as principais características observadas, de modo a se ter a maior homogeneidade possível entre todas as interseções de um mesmo grupo. Neste caso, é elaborado um modelo para cada grupo, como por exemplo, poder-se-á elaborar um modelo para as interseções semaforizadas e outro para as não semaforizadas. Outra abordagem consiste em inserir as principais características como variáveis explicativas dos modelos. Isto é, a presença ou não de controle semaforico pode ser inserida no modelo por meio de uma variável binária, assumindo, por exemplo, valor 1 quando houver semáforo e zero no caso contrário.

A elaboração do modelo, portanto, inicia com a definição das variáveis independentes a serem consideradas para a estimativa da frequência média de acidentes nas interseções da amostra, considerando-se que a distribuição do erro variável dependente é a binomial negativa. Em seguida, deve ser definida a forma funcional do modelo. Para efeito do presente procedimento, recomenda-se o teste das diferentes formas funcionais referidas por Lord e Park (2008). Deverão ser testadas as formas constantes dos Modelos 1 a 4. Como Modelo 5, é sugerida a seguinte relação:

$$\text{Modelo 5: } \ln \mu_{it} = \beta_{0t} + \beta_1 \ln F1_{it} + \beta_2 \ln F2_{it} + \beta_3 \ln(F1_{it} \times F2_{it}) \quad (3.1)$$

Usando testes estatísticos da qualidade dos modelos, a melhor forma funcional pode ser então selecionada. Na sequência, outras variáveis explicativas podem ser agregadas e seu impacto sobre a qualidade de ajuste do modelo é avaliado, até que seja obtida a forma funcional final. Destaca-se que nos modelos referidos por Lord e Park (2008), é prevista a calibração de um valor do termo constante para cada período t de observações (β_{0t}). Isto significa que a calibração é feita considerando efeitos fixos. Para o propósito do MPA proposto, é recomendada a calibração considerando efeitos aleatórios, o que implica em assumir que o parâmetro β_o se distribui entre todas as observações e que o modelo irá determinar uma estimativa única do seu valor, válida para todos os períodos de tempo t .

Para a calibração dos modelos, dependendo da estrutura da base de dados, será adotada a técnica dos modelos lineares generalizados (para dados referentes a um corte transversal no tempo) ou a das equações de estimação generalizadas (no caso de dados longitudinais). Essas duas técnicas foram abordadas no Capítulo 2 (seção 2.3).

Para a avaliação do grau de ajuste de cada modelo considerado, deverão ser utilizados os seguintes testes estatísticos: o R^2 determinado com base em resíduos padronizados, o teste dos resíduos acumulados por meio de representações gráficas (CURE plots), e o Critério de Informação de Akaike (AIC) que, no caso das Equações de Estimação Generalizadas (EEG), é o Critério de Informação de Quase-verossimilhança (QIC).

O valor do R^2 determinado com base em resíduos padronizados é calculado por meio da Equação 2.33:

$$(R^2) = 1 - \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sqrt{\hat{\mu}_i}} \right)^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \bar{y}}{\sqrt{\bar{y}}} \right)^2 \right)} \right] \quad (2.33)$$

Em que:

- y_i = o número de acidentes observado no local i ;
- $\hat{\mu}_i$ = o número de acidentes esperado no local i ;
- \bar{y} = número médio observado de acidentes;
- $\hat{\mu}$ = número médio esperado de acidentes.

Os gráficos do teste de resíduos acumulados (*CURE plots*) permitem avaliar os resíduos acumulados com relação à variável de interesse (Hauer, 2004). Para o presente procedimento, esta variável será o VDMA total da interseção (ou o correspondente VDMA na via principal ou na via secundária). Para a elaboração do *CURE plot*, portanto, são inicialmente calculados os resíduos referentes a cada uma das observações da base de dados, isto é, a diferença entre o número observado e o número previsto de acidentes. Em seguida, esses resíduos são ordenados em função da ordem crescente de valores da variável de interesse, e são numerados consecutivamente $1, 2, \dots, z, \dots, N$ (em que N é o número total de observações da base de dados).

Para cada resíduo z , é determinado o valor do resíduo acumulado pela soma dos valores dos resíduos de 1 a z . Para um modelo bem ajustado aos dados, o *CURE plot* oscila em torno do valor zero dos resíduos acumulados. Além da curva dos resíduos acumulados, o *CURE plot* apresenta duas curvas adicionais, formadas pelos limites aceitáveis dos resíduos acumulados. Estas curvas são construídas como segue:

- a) eleva-se o valor de cada um dos N resíduos ordenados ao quadrado;
- b) calcula-se como a soma dos resíduos ao quadrado, de 1 a z ;
- c) calcula-se por meio da Equação 2.34:

$$\sigma^*(z) = \hat{\sigma}(z) \sqrt{1 - \frac{\hat{\sigma}^2(n)}{\hat{\sigma}^2(N)}} \quad (2.34)$$

- d) acrescenta-se os limites de $\pm 2\sigma$ ao *CURE plot*.

Por último, o Critério de Informação de Akaike (AIC) é obtido pela Equação 2.35:

$$AIC = \frac{-2 \ln L(M_k) + 2P}{N} \quad (2.35)$$

Em que:

- $\ln L(M_k)$ = logaritmo da verossimilhança do modelo K ;
- P = número de parâmetros utilizados;
- N = número de observações.

Uma modificação do critério de Akaike para aplicação às EEG é proposta por Pan (2001), visando permitir a seleção do tipo de correlação existente entre as observações agrupadas (no caso do presente trabalho, entre as observações anuais para uma dada interseção). Essa modificação envolve a quase-verossimilhança construída a partir das equações de estimação sob o modelo de independência (QIC), que pode ser aplicada a qualquer estrutura de correlação no EEG. Para identificar a estrutura de correlação dos dados agrupados é necessário calcular o QIC para cada estrutura candidata. A estrutura a ser adotada é a que apresentar o menor valor para o QIC.

3.3 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO

O procedimento proposto para a elaboração do MPA é geral, podendo ser aplicado em cidades onde possam ser obtidas informações sobre os dados históricos de volume veicular (VMDA) e dos acidentes de trânsito relacionados às interseções, além de informações relacionadas à forma de controle do tráfego, geometria, característica da área lindeira, entre outras.

O procedimento proposto contempla oito etapas, que cobrem todas as principais atividades envolvidas no desenvolvimento de um MPA para interseções localizadas em vias arteriais da cidade em estudo. A última etapa do procedimento contempla as análises a serem

realizadas no sentido de identificar qual o modelo que deve ser adotado a partir de diferentes formulações candidatas.

4 - ESTUDO DE CASO

4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A cidade de Taguatinga foi selecionada para a realização do presente trabalho, pois possui características organizacionais similares às demais cidades envolvidas no projeto nacional, na qual esta dissertação está inserida. E também por ter um elevado número de acidentes de trânsito em relação às demais cidades do Distrito Federal, ocupando o segundo lugar (DETRAN-DF, 2010).

A cidade de Taguatinga é uma Região Administrativa do Distrito Federal e está situada há 20,9 Km de Brasília. Ela foi projetada no “Plano Urbanístico de Brasília”, com a finalidade de ser uma cidade dormitório, sendo sua fundação prevista para dez anos após a inauguração de Brasília. No entanto, em maio de 1958, os migrantes que habitavam invasões próximas ao Núcleo Bandeirante pressionaram a NOVACAP a antecipar a distribuição dos lotes e foi então fundada oficialmente a primeira cidade do Distrito Federal (CODEPLAN, 2007).

A Lei nº. 4.545 de 10 de dezembro de 1964 dividiu o Distrito Federal em oito Regiões Administrativas – RA’s. A Região Metropolitana de Brasília passou a ser denominada RA I e de Taguatinga RA III (Figura 4.1) cujo território incluiu ainda o núcleo urbano de Ceilândia. Esta nova configuração foi regulamentada, posteriormente, pelo Decreto nº. 456 de 21 de Outubro de 1965.

a) RA-I - Região Metropolitana de Brasília – Nessa área estavam localizados os setores residencial, oficial, comercial, bancário e outros previstos no Plano-Piloto, e os setores Militar Urbano, Residencial Econômico Sul (conhecido como Cruzeiro Velho e Novo), Residencial Industrial e Abastecimento (Guará I e II).

b) RA-III – Ceilândia e Taguatinga – Ceilândia foi fundada em 1971, para erradicar as favelas existentes na área urbana de Brasília. Sua denominação origina-se da sigla CEI - Campanha de Erradicação das Invasões. Está localizada na parte oeste de Taguatinga a cerca de 30 km do Plano Piloto. Apesar de estar inserida na RA III, possui administração local. Taguatinga foi a primeira cidade oficialmente criada localizada a oeste de Brasília.



Figura 4.1: Regiões Administrativas de Brasília – DF ano de 1965. (Fonte: SETUR-DF, 2011)

Após o Censo 2000, o Distrito Federal passou a ter 30 (trinta) Regiões Administrativas – RA (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Área e população das Regiões Administrativas do DF

REGIÕES ADMINISTRATIVAS		ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO
I	Brasília	450,20	205.032
II	Gama	276,30	148.878
III	Taguatinga	105,00	223.452
IV	Brazlândia	474,83	60.944
V	Sobradinho	287,6	203.140
VI	Planaltina	1.534,69	226.257
VII	Paranoá	853,33	69.988
VIII	Núcleo Bandeirante	5,00	46.751
IX	Ceilândia	230,33	362.456
X	Guará	37,50	138.278
XI	Cruzeiro	2,80	80.060

Tabela 4.1 - Área e população das Regiões Administrativas do DF (Continuação)

REGIÕES ADMINISTRATIVAS		ÁREA (km ²)	POPULAÇÃO
XII	Samambaia	102,60	186.638
XIII	Santa Maria	215,86	119.777
XIV	São Sebastião	383,71	115.630
XV	Recanto das Emas	101,22	144.883
XVI	Lago Sul	190,23	27.830
XVII	Riacho Fundo I	25,50	65.523
XVIII	Lago Norte	57,49	34.880
XIX	Candangolândia	6,6	18.876
XX	Águas Claras	31,50	75.000
XXI	Riacho Fundo II	30,60	45.000
XXII	Sudoeste/Octogonal	6,20	46.829
XXIII	Varjão	1,50	7.650
XXIV	Parkway	64,20	19.252
XXV	SCIA/Estrutural	29,00	20.000
XXVI	Sobradinho II	285,00	71.805
XXVII	Jardim Botânico	8,07	25.000
XXVIII	Itapoã	-	46.252
XXIX	SAI	-	-
XXX	Vicente Pires	-	70.000

Fonte: Anuário do DF – GDF, 2009.

Taguatinga foi separada de Ceilândia, permanecendo como a RA III. Como pode-se observar na Tabela 4.1, Taguatinga é a décima segunda cidade em extensão e a terceira maior em população do Distrito Federal.

A cidade de Taguatinga (Figura 4.2) foi fundada em 5 de junho de 1958, passando a ser uma Região Administrativa pelo Decreto nº 4.545/64, ratificado pela Lei nº 049/89. Tem uma população de 223.452 habitantes (GDF, 2009). A região ocupa uma área de 105,00 km² e é composta de áreas urbanas e rurais.

Taguatinga não foi uma cidade planejada como Brasília. A assessoria de Planejamento da NOVACAP atribuiu aos senhores Lúcio Pontual Machado e Milton Pernambuco a responsabilidade de adaptar o que seria um planejamento com o que já existia (GDF, 2011).



Figura 4.2: Cidade de Taguatinga-DF (Fonte: GDF, 2011)

Muitas adaptações tiveram que ser realizadas, adequando o que havia sido construído pelos precursores. A implantação dos setores aconteceu na seguinte sequência (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Implantação dos setores em Taguatinga – DF

Ano	Acontecimento
1958	Setores QI e QR, atualmente QNB e QNC, parte do setor Central, QSB e QSC.
1960	Setores QNA, QSA, QND, QNE, QNF, parte da QI e QSD (antiga Vila Matias)
1961	Setores QNH, QNG, o setor automobilístico, hoje parte do Setor Central e Setor CSA.
1962	A segunda parte do Setor QI, compreendendo as quadras de 10 a 25 e o Setor QSE (antiga Vila Dimas)
1964	Setor QNJ, construído pelo sistema de habitação (SHIS)
1966	Setor QSF – segundo conjunto habitacional da SHIS na Cidade
1969	Setor QNL
1972	Setor QNM e, neste período, surgiu o complemento do Setor QSF
1976	Parte do Setor de Oficinas H. Norte
1979	Parte do Setor de Oficinas E. Sul
1981	Setor Auxiliar de Garagens, Oficinas e Comércio afins (SAGOCA)
1983	Parte do Setor QNL, também conhecido por “Chaparral”
1984	Bairro Águas Claras: antigo setor de áreas complementares, onde fixou-se a invasão conhecida como “Areal”
1987	Expansão M. Norte e Setor de Indústrias Gráficas (SIG)

Tabela 4.2: Implantação dos setores em Taguatinga - DF (Continuação)

Ano	Acontecimento
1989	Nova expansão da M. Norte
1991	Setor CSG
1992	Bairro Águas Claras
1996	Setor Desenv. Econ. (SDE) e o Centro metropropolitano (CM) Mansões Leste (SML)
1997	O Centro Metropolitano foi registrado em cartório

Fonte: (GDF, 2011).

4.2 - ACIDENTES DE TRÂNSITO

4.2.1 - Acidentes de trânsito nas RA's do Distrito Federal

A falta de planejamento pode acarretar problemas de circulação viária, proporcionando a possibilidade da ocorrência de acidentes de trânsito. Taguatinga é uma das três RA's do Distrito Federal com maior número de acidentes de trânsito com vítimas, ficando atrás apenas de Brasília (Tabela 4.3).

Tabela 4.3: Número de Acidentes em cidades do DF

Região Administrativa	Acidentes de Trânsito por Tipo			Em número de UPS m (*)
	Total	Com Morte	Com Ferido	
Brasília	1286	19	1267	6582
Taguatinga	1008	16	992	5168
Ceilândia	922	28	894	4834

(*) UPSm – Unidade Padrão de Severidade Modificada = (nº de acidentes com ferido x 5) + (nº de acidentes com mortes x 13).

Fonte: (DETRAN-DF, 2009).

Mais detalhadamente pode-se observar o número de acidentes de trânsito com mortes em vias arteriais urbanas das três cidades com maior número de acidentes de trânsito com mortes no período de 2000 a 2010 (Tabela 4.4).

Tabela 4.4: Número de Acidentes com mortes em vias arteriais de cidades do DF

VIAS ARTERIAIS	ANO									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Brasília</i>										
W3 Norte	3	2	2	3	3	2		2	2	1
W3 Sul	1	1		2	1	1	1	3	3	1
Eixo L Norte	2	1				2				2
Eixo LSul	1							2	1	1
Eixo W Norte			2				1			
Eixo W Sul	2		2		3	3		2		1
L2 Norte	2					1			2	2
L2 Sul	1	1	1	1			1	1		
L4 Norte	1		2		4	1	1			
L4 Sul	2	5	2		2	4	2			
Setor Policial Sul				1						
<i>Taguatinga</i>										
Av. Central	6	3	1	1	2	1			1	
Av. Elmo Serejo	3	1	6		4	5		4	2	4
Av. Comercial Norte		2	7	1	6	2		4		
Av. Comercial Sul		1		1				1		
Av. Sandú Norte	2	1	4	4	1	2		2		3
Av. Sandú Sul	1	2	1	1	1	1	1	2		3
Av. Hélio Prates	4	2	4	3	4	4	7	2	4	2
Via de Ligação		1		2	1			1		1
Via M4	1	3	1					1		
<i>Ceilândia</i>										
Via MN 1 (Hélio Prates)	9	3	4	6	9	1	5	7	4	3
Via NM 2 (Via Leste)		6		5	3	1	1	3	2	2
Via MN3	1	3			2	1		1		
Via O2					1	1		1	1	
Via de Ligação (Elmo Serejo)	2		1	5	2	2	2	2	2	2

Fonte: (DETRAN-DF, 2010).

4.2.2 - Acidentes nas vias arteriais de Taguatinga

Com a definição das interseções (Apêndice III) que seriam utilizadas no modelo em estudo, foi solicitado junto ao órgão de trânsito informações relativas aos acidentes ocorridos no período de 2005 a 2010 nas vias arteriais urbanas da cidade de Taguatinga.

Previamente foi analisado o banco de dados de acidentes disponível no órgão gestor para conhecer a forma de coleta e o tratamento de dados de acidentes adotados pelo órgão, e quais seus recursos disponíveis no banco de dados para a busca das informações relevantes para as interseções e/ou vias selecionadas. Verificou-se que na base de dados do DETRAN/DF os acidentes não são atribuídos especificamente a segmentos viários ou

interseções. Assim, essa localização foi determinada por meio da análise dos endereços dos acidentes ocorridos nas vias que formavam cada uma das interseções da amostra. A extensão das vias consideradas como partes integrantes das interseções foi definida conforme descrito na seção 3.2 do Capítulo 3.

Resumidamente, os números de acidentes de trânsito nessas vias são expressivos no período de 2005 a 2010 (Figura 4.3), principalmente os que envolvem colisão e atropelamento de pedestres. Para facilitar o entendimento do gráfico mostrado na Figura 4.3, as vias arteriais urbanas de Taguatinga foram agrupadas segundo a sua extensão. Os grupos formados são:

- Grupo I, vias com extensão inferior a 3,0 km: Av. M4, Av. Central, e Via de Ligação; e
- Grupo II, vias com extensão superior a 3,0 km: Av. Hélio Prates, Av. Elmo Serejo, Av. Comercial e Av. Sandú.

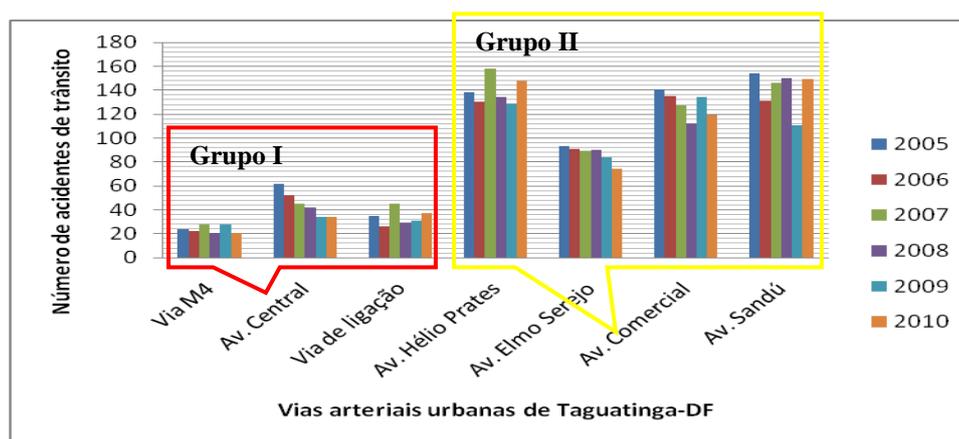


Figura 4.3: Acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas de Taguatinga (Fonte: DETRAN-DF, 2011)

No Grupo I houve uma diminuição no número de acidentes na Av. Central no período em estudo, enquanto que na Via M4 houve uma média de 24 acidentes neste período por ano. No Grupo II a Av. Hélio Prates teve o maior número de acidentes do período em estudo,

tendo sido em 2007, com 158 acidentes. Porém, somando-se o número de acidentes de todos os anos, a via arterial urbana de Taguatinga com o maior número de acidentes de trânsito foi a Av. Sandú, com 841 acidentes. A Av. Elmo Serejo também teve um declínio significativo no número de acidentes durante o período de 2005 a 2010.

Subdividindo os acidentes de trânsito nas vias arteriais urbanas por gravidade, são obtidos os dados resumidos nos gráficos da Figura 4.4 (acidentes com mortes) e da Figura 4.5 (acidentes com feridos).

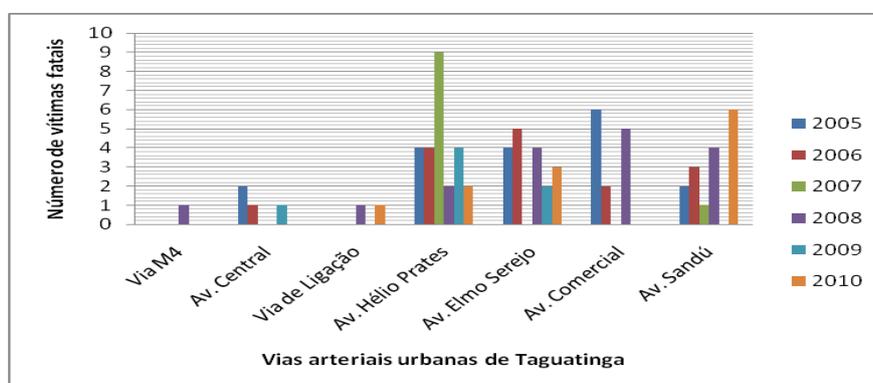


Figura 4.4: Acidentes com mortes (Fonte: DETRAN-DF, 2011)

No Grupo I, o número de mortes é relativamente baixo. Mesmo assim medidas para que não haja mais mortes são necessárias também nestas vias. Nas vias do Grupo II, que agregam o maior número de viagens diárias, há maiores riscos de ocorrências de acidentes de trânsito, sendo a Av. Hélio Prates a que apresenta o maior número de vítimas no período de 2005 a 2010, com uma média de 4 vítimas fatais por ano. Observa-se também um crescimento acelerado do número de acidentes com vítimas fatais na Av. Sandú (exceto para o ano de 2007 onde houve grande redução).

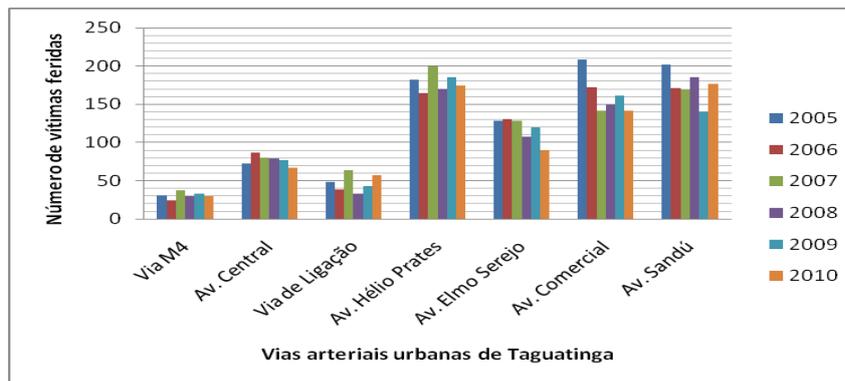


Figura 4.5: Acidentes com feridos (Fonte: DETRAN-DF, 2011)

Em relação ao número de vítimas feridas, tanto no Grupo I como no Grupo II a situação é alarmante. Cerca de 2,16 pessoas por dia ficaram feridas em acidentes de trânsito somente nessas vias arteriais entre os anos de 2005 e 2010. A média de acidentes na Av. Central é de 77 feridos neste período, enquanto que na Avenida Hélio Prates essa média foi de aproximadamente 180 vítimas feridas.

Quando se analisa a natureza dos acidentes, o gráfico da Figura 4.6 mostra o conjunto dos diferentes tipos de colisão (colisão, colisão traseira, colisão lateral, colisão frontal, engavetamento, choque com objeto fixo e capotamento).

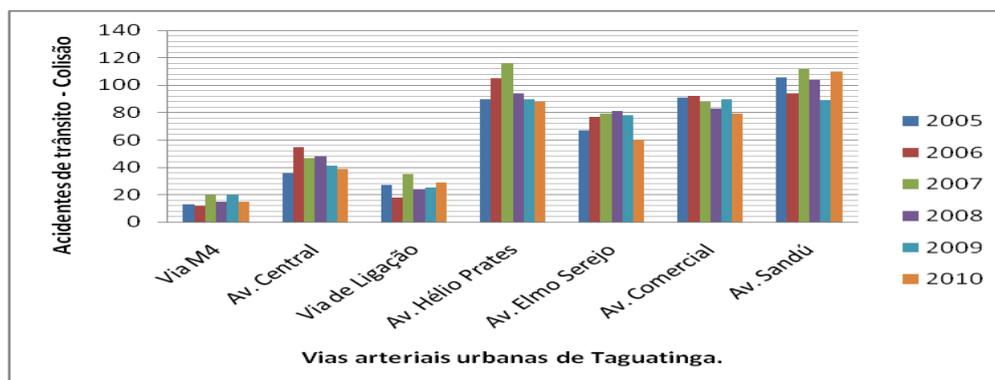


Figura 4.6: Acidentes de trânsito – colisões, choque e capotamento (Fonte: DETRAN-DF, 2011)

No Grupo I, na Via M4 aconteceram 95 acidentes e na Av. Central 266 acidentes. No Grupo II, na Av. Sandú aconteceram 615 acidentes envolvendo algum tipo de colisão, cerca de 6,5 vezes mais acidentes do que na Via M4. A Av. Hélio Prates ficou em segundo lugar, com 583 acidentes, e a Av. Comercial em terceiro, com 523 acidentes de trânsito.

O conjunto de acidentes considerando atropelamento de pedestre, atropelamento de animal, queda de pessoa, queda do veículo, e outros acidentes é apresentado no gráfico da Figura 4.7.

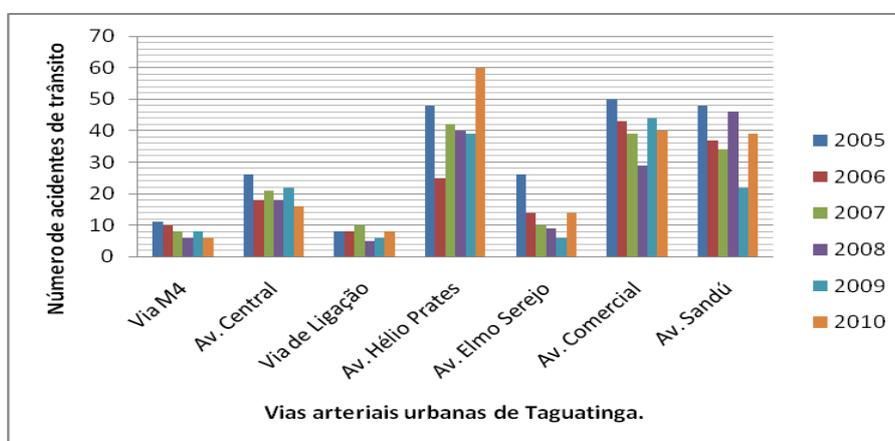


Figura 4.7: Número de atropelamentos, quedas e outros acidentes em vias arteriais urbanas de Taguatinga (2005-2010) (Fonte: DETRAN-DF, 2011)

No Grupo I, na Via M4 houve uma diminuição nestes tipos de acidentes no período em estudo, enquanto que na Av. Central e na Via de Ligação esses números praticamente permaneceram constantes. No Grupo II, a Av. Elmo Serejo começou a apresentar um declínio, mas voltou a elevar esse valor no ano de 2010. As avenidas Comercial, Sandú e Hélio Prates tiveram números de acidentes próximos uns dos outros. Cerca de 81% desses acidentes foram atropelamento de pedestres. Deve, portanto, haver uma maior preocupação quanto à segurança e educação dos usuários dessas vias, tanto pedestres quanto condutores.

4.3 - ELABORAÇÃO DE UM MPA PARA AS VIAS ARTERIAIS URBANAS DE TAGUATINGA

Nesta seção é apresentada a realização de todas as etapas previstas na Seção 3.2 (Capítulo 3) para efeito da elaboração de um modelo de previsão de acidentes (MPA) para as interseções localizadas nas vias arteriais da cidade de Taguatinga.

4.3.1 ETAPA 1 – Identificação das vias arteriais da área de estudo

O DETRAN-DF, via Instrução de Serviço N°. 311, de 29 de maio de 2001, classificou como vias arteriais as vias urbanas do Distrito Federal com características compatíveis com o especificado no Anexo I do Código de Trânsito Brasileiro (CTB). De acordo com o CTB, via arterial é “caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade”.

No caso da cidade de Taguatinga, foram classificadas (Figura 4.8) como arteriais as seguintes vias (Do lado leste da linha azul está localizada a cidade de Taguatinga e do lado Oeste, Ceilândia):

- Avenida Central
- Avenida Elmo Serejo
- Avenida Comercial Norte e Sul
- Avenida Sandú Norte e Sul
- Avenida Hélio Prates
- Via de ligação Taguatinga/Samambaia

- Via M4

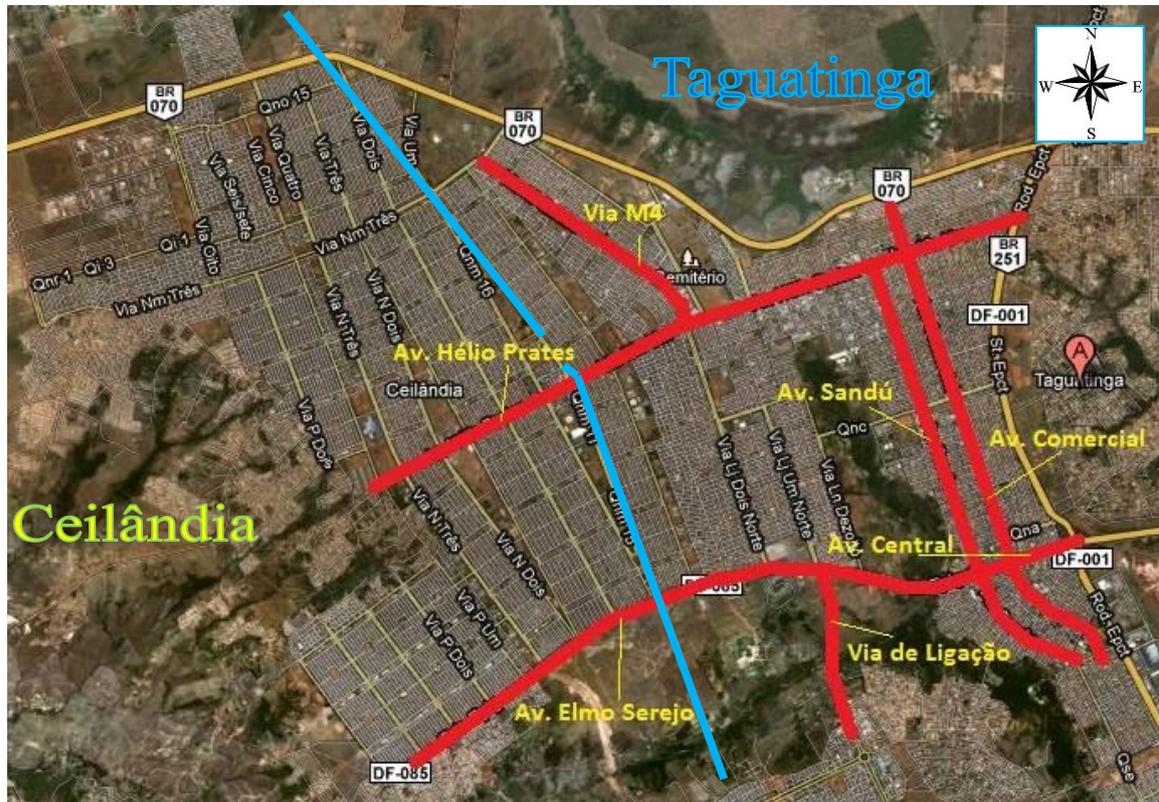


Figura 4.8: Localização das vias arteriais de Taguatinga-DF (Fonte: Google Earth, 2011)

A Instrução de Serviço N°. 251, de 20 de julho de 2004, que adicionou outras vias às referidas na Instrução de Serviço N°. 311, não alterou a lista de vias arteriais de Taguatinga.

4.3.2 ETAPA 2 – Análise preliminar das interseções presentes em cada via arterial

Esta análise, realizada por meio de plantas digitais das vias e recursos do Google Earth, visou identificar as principais características das interseções existentes. Foram observadas: (i) condição da geometria geral do sistema viário onde estão situadas as vias arteriais; (ii) classes das vias interceptantes nas interseções: arteriais, coletoras ou locais; (iii) tipo de controle da interseção: semáforo, sinalização PARE ou DÊ A PREFERÊNCIA; (iv) características gerais de ocupação das áreas lindeiras; (v) presença de equipamento de fiscalização eletrônica em uma ou mais aproximações.

Foram identificadas 259 interseções, classificadas de acordo com os seguintes tipos: rotatória, retorno, “T”, cruz e “Y” (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Tipos de interseções encontradas em vias arteriais de Taguatinga – DF

VIAS ARTERIAIS	EXTENSÃO (Aproximada – Google Earth)	TIPOS DE INTERSEÇÕES						Total
		Rotatória	Retorno	"T"	Cruz	"Y"		
Av. Central	1,05	0	5	13	1	*	1	20
Av. Comercial	5,95	0	0	37	15	#	0	52
Av. Elmo Serejo	6,95	0	7	4	1	*	4	16
Av. Hélio Prates	7,45	0	24	54	3	\$	0	81
Av. Sandú	5,05	0	0	16	31	*	2	49
Via de Ligação	1,25	0	3	2	1	*	0	6
Via M4	2,95	2	11	21	1	*	0	35
TOTAL	30,65	2	50	147	53	7		259

* Com um cruzamento entre arterial x arterial;

Com dois cruzamentos arterial x arterial

\$ Com três cruzamentos arterial x arterial

Cada um dos tipos de interseção é definida por:

- Rotatória (ou rótula) – interseção na qual o tráfego circula num só sentido ao redor de uma ilha central (DNIT, 2005);
- Retorno – dispositivo de uma rodovia que permite a veículos de uma corrente de tráfego a transferência para a corrente de sentido contrário (DNIT, 2005);
- Em “T” - interseção em nível com três ramos;
- Em Cruz - interseção em nível com quatro ramos;
- Em “Y” - interseção em nível em bifurcação.

Foi identificada nesse primeiro momento a localização dos equipamentos de fiscalização eletrônica do tipo fixo, popularmente conhecidos como pardal ou arara. Foram encontrados

os equipamentos descritos no Apêndice I. Dentre esses equipamentos foram selecionados alguns para fornecerem dados de volume veicular para determinação do Volume Diário Médio Anual – VDMA a ser utilizado no na elaboração do MPA (ETAPA 7).

4.3.3 - ETAPA 3 – Seleção preliminar das interseções que integrarão a amostra do estudo

No caso de Taguatinga, decidiu-se selecionar as interseções de modo a cobrir espacialmente todas as vias arteriais da cidade (Tabela 4.6). Na Figura 4.9 é apresentada a posição das interseções da amostra em cada via arterial. Em função das restrições de tempo e de recursos financeiros para a realização da pesquisa, optou-se por limitar o número total de interseções a 33.

Tabela 4.6: Interseções selecionadas.

VIA ARTERIAL	INTERSEÇÕES	
	ARTERIAL X LOCAL	ARTERIAL X ARTERIAL
Av. M4	1,2,3 e 4	5
Av. Hélio Prates	6, 7, 8, 11 e 12	5, 9 e 10
Av. Comercial	13,14, 15, 16,17, 18, 19, 21 e 22	10 e 20
Av. Sandú	24, 25, 26, 27, 28 e 29	9
Av. Central	23	20
Av. Elmo Serejo	30, 31 e 32	33
Via de Ligação	-	33

Legenda das arteriais x arteriais:

05 – Av. M4 x Av. Hélio Prates

09 – Av. Sandú x Av. Hélio Prates

10 – Av. Comercial x Av. Hélio Prates

20 – Av. Central x Av. Comercial

33 – Av. Elmo Serejo xVia de Ligação.

4.7. Estas interseções foram, então, vistoriadas para confirmação *in loco* dos endereços, geometria das interseções e uso/ocupação do solo da área lindeira.

Tabela 4.7: Interseções selecionadas das vias arteriais de Taguatinga – DF.

	AVENIDA	EQUIP. FISC.	DATA	TIPO DE INTERSEÇÃO					INTERSEÇÃO	
				Rotatória	Retorno	"T"	Cruz	"Y"	SEM CONJ. SEMAFÓRICO	COM CONJ. SEMAFÓRICO
1	Via M4 x Rotatória 1 - Conj G QNM 40			1					1	
2	Via M4 x QNM 38					1			1	
3	Via M4 x Rotatória 2 - Conj M QNM 36			1					1	
4	Via M4 x Retorno 2				1				1	
5	Via M4 x Av. Hélio Prates	AVS 132	29/08/2001							
		AVS 131	29/08/2001							
		AVS 083	14/08/2001				1			1
		AVS 082	14/08/2001							
6	Av. Hélio Prates x Próx. Ao Cemitério	AVS 016	05/07/2001		1					1
7	Av. Hélio Prates x Esquina com o Bradesco					1			1	
8	Av. Hélio Prates x QJ 10 (Assembléia de Deus)	AVS 035	15/03/2003							
		AVS 034	19/09/2001			1				1
9	Av. Hélio Prates x Av. Sandú	AVS 063	37324			1				1
10	Av. Hélio Prates x Av. Comercial	AVS 015	05/07/2001							
		AVS 141	01/09/2008				1			1
11	Av. Hélio Prates x QNG 10-9					1			1	
12	Av. Hélio Prates x QNG 58					1			1	
13	Av. Comercial x QNG 35					1			1	
14	Av. Comercial x QNG 30					1			1	
15	Av. Comercial x QNE 17	AVS 093	10/07/2007							
		AVS 092	10/07/2007				1			1
16	Av. Comercial x QND 01/54	AVS 090	07/05/2007							1
17	Av. Comercial x QNB 11-12					1			1	
18	Av. Comercial x QNA 16-17	AVS 094	09/05/2007				1			1
19	Av. Comercial x Av. das Palmeiras	AVS 013	04/07/2001							
		AVS 014	04/07/2001				1			1
20	Av. Comercial x Av. Central	AVS 135	18/03/2009							
		AVS 011	04/07/2001							
		AVS 012	04/07/2001							
		AVS 117	02/09/2008				1			1
21	Av. Comercial x CSB 5-6					1			1	
22	Av. Comercial x CSB 9 (Colégio Marista)	AVS 079	04/05/2002				1			1
23	Av. Central x C02					1			1	
24	Av. Sandú x QNE 25-24						1			1
25	Av. Sandú x QNB 15 (Centro Educ.T)	AVS 078	11/05/2002				1			1
26	Av. Sandú x QNB 11						1		1	
27	Av. Sandú x QNB 7	AVS 091	03/05/2007				1			1
28	Av. Sandú x Conj 2 (Clínica São Francisco)	AVS 138	08/02/2003							
		AVS 139	09/09/2008			1				1
29	Av. Sandú x QSB 09 - QSC 18						1			1
30	Av. Elmo Serejo x Via LN 18							1	1	
31	Av. Elmo Serejo x Via LJ 2					1			1	
32	Av. Elmo Serejo x Via LN 29 (Metrô)							1	1	
33	Via de Ligação x Av. Elmo Serejo	AVS 049	09/08/2007							
		AVS 126	09/12/2008							
		AVS 111	19/12/2008							
		AVS 127	19/12/2008					1		
TOTAL				2	2	13	14	2	16	17

4.3.4 ETAPA 4 – Coleta de dados complementares das interseções candidatas para integrar a amostra

Foi verificado junto ao órgão de trânsito em quais das interseções selecionadas na ETAPA 3 houve significativas alterações durante o período do estudo (2005 a 2010), especialmente com relação a :

- geometria do local, sobretudo quanto ao número de faixas por aproximação e a presença de separador central dos fluxos opostos e/ou ilhas de canalização para os movimentos de conversão;
- forma de controle do tráfego (instalação ou remoção de semáforo, ou implantação de rotatória);
- implantação e/ou remoção de equipamentos de fiscalização de velocidade; e
- uso e ocupação da área lindeira.

Auxiliado pela realização de visita *in loco* nas interseções, pode-se fazer o registro fotográfico (Apêndice II) para cada interseção. As interseções que sofreram alterações significativas durante o período da análise foram retiradas da amostra a ser utilizada no modelo global básico (previsão do número de acidentes com base no volume de tráfego).

A única alteração significativa aconteceu na interseção 33, entre duas vias arteriais (Via de Ligação x Av. Elmo Serejo), que agora passou a ser um viaduto (Figura 4.10). Ou seja, da amostra inicial de 33 interseções só uma precisou ser excluída do estudo.



Figura 4.10: Interseção 33 – Via de Ligação x Av. Elmo Serejo (Fonte: <http://100porcentoceilandia.blogspot.com.br> – Acesso em: 17 jan 2011.)

Na realização do registro fotográfico foram levantadas informações sobre:

- a geometria do local;
- número de faixas por aproximação;
- presença de separador central dos fluxos opostos e/ou ilhas de canalização para os movimentos de conversão;
- forma de controle do tráfego – semaforizada ou não semaforizada;
- equipamentos de fiscalização de velocidade;
- uso e ocupação da área lindeira;
- parada de ônibus; e
- faixa de pedestre próximo à interseção. Um modelo dos registros fotográficos realizados é apresentado na Figura 4.11. Os registros de todas as interseções são apresentados no Apêndice II.

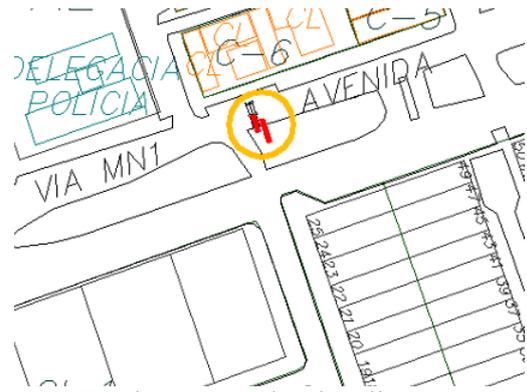
<p>VIA ARTERIAL – Av. Hélio Prates</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interseção em “T” • 3 faixas por pista • Semaforzada: Sim • Área lindeira: Comercial • Canteiro Central: Sim • Parada de ônibus: Não • Faixa de pedestre: Não • Equip. Fiscalização: Sim AVS 063 -09/03/2002 	<p>VIA ARTERIAL – Av. Sandú</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interseção em “T” • 2 faixas por pista • Semaforzada: Sim • Área lindeira: Comercial • Canteiro central: Não • Parada de ônibus: Não • Faixa de pedestre: Sim • Equip. Fiscalização: Não
<p>REGISTRO FOTOGRÁFICO</p>	
 <p>Vista superior da interseção.</p>	 <p>Equipamento de Fiscalização</p>
 <p>Av. Hélio Prates (ramo 1)</p>	 <p>Av. Sandú (ramo 2 – posto de gasolina)</p>
 <p>Av. Hélio Prates (ramo 3)</p>	 <p>Av. Sandú x Av. Hélio Prates</p>

Figura 4.11: Registro fotográfico da interseção Av. Hélio Prates x Av. Sandú

4.3.5 ETAPA 5 – Definição final da amostra a ser utilizada nos modelos

A partir da seleção e verificação das reais características das interseções, foram selecionadas 32 interseções (Tabela 4.8) para compor a amostra para a elaboração dos modelos.

Tabela 4.8: Amostra selecionada por tipo de interseção

VIAS ARTERIAIS	TIPOS DE INTERSEÇÕES					
	Rotatória	Retorno	"T"	Cruz	"Y"	Total
Av. Central			1	1		2
Av. Comercial			4	5		9
Av. Elmo Serejo			1		2	3
Av. Hélio Prates		1	5	1		7
Av. Sandú			1	5		6
Via de Ligação						
Via M4	2	1	1	1		5
TOTAL	2	2	13	13	2	32

Foram selecionadas 16 interseções semaforizadas e 16 não semaforizadas distribuídas nas vias arteriais urbanas conforme Tabela 4.9. Destas interseções: 04 são formadas por Via Arterial x Via Arterial; 12 são formadas por Via Arterial x Via Coletora; e 16 são formadas por Via Arterial x Via Local. A classificação das vias arteriais foi obtida no DETRAN-DF. A classificação das vias como coletoras e locais foi determinada através da visita *in loco* e dos registros fotográficos realizados.

Tabela 4.9: Interseções semaforizadas e não semaforizadas.

VIA ARTERIAL	INTERSEÇÕES	
	SEMAFORIZADAS	NÃO SEMAFORIZADAS
Av. Central	1	1
Av. Comercial	5	4
Av. Elmo Serejo		3
Av. Hélio Prates	4	3
Av. Sandú	5	1
Via de Ligação		
Via M4	1	4
TOTAL	16	16

4.3.6 ETAPA 6 – Coleta dos dados de acidentes para as interseções da amostra

Foi realizada uma análise no banco de dados sobre os acidentes de trânsito disponível no DETRAN-DF. Nessa análise levantou-se o número de acidentes de cada interseção da amostra ocorridos até uma distância de 20 metros da linha de retenção (em aproximações onde esta linha está devidamente demarcada) ou do prolongamento do meio-fio de cada via interceptante (nos casos sem linha de retenção pintada no pavimento) (ver Figura 3.4). Foram considerados apenas os acidentes em que os boletins de ocorrência identificavam o endereço completo, sendo eliminados os que constavam apenas as quadras ou a rua sem numeração, conforme exemplo a seguir:

Exemplo:

- Endereço eliminado – Quadra CNB 12
- Endereço eliminado – Quadra CNB 12 altura da Av. Comercial
- Endereço considerado – Quadra CNB 12, Av. Comercial, casa nº. 4

Para a presente dissertação, agrupou-se os acidentes de trânsito em dois grupos: atropelamentos e colisões, onde neste último estão incluídos todos os tipos de colisão, além de capotamento e choque em objeto fixo. O total de acidentes de trânsito por interseção é apresentado na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Acidentes de trânsito em interseções de vias urbanas de Taguatinga-DF

Interseção	ACIDENTES TOTAIS NA INTERSEÇÃO					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	1	0	2	0	0	1
2	0	1	1	0	0	0
3	3	3	1	4	0	3
4	1	1	1	1	1	0
5	11	12	12	10	11	9
6	7	10	5	2	1	0
7	0	0	1	0	0	0
8	0	1	2	5	0	0
9	2	4	0	2	1	0

Tabela 4.10: Acidentes de trânsito em interseções de vias urbanas de Taguatinga-DF (continuação).

Interseção	ACIDENTES TOTAIS NA INTERSEÇÃO					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
10	9	8	10	4	3	0
11	0	3	3	1	1	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	3	3	1	1	4	2
16	2	2	1	1	4	3
17	0	3	0	0	0	0
18	5	3	0	1	3	1
19	0	1	1	0	0	2
20	7	13	11	12	8	6
21	3	0	2	2	0	0
22	0	1	0	2	0	0
23	1	3	0	0	3	1
24	7	3	10	3	2	1
25	0	0	3	0	0	0
26	1	3	2	2	0	0
27	1	1	1	0	0	1
28	0	4	2	3	0	2
29	0	1	1	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	7	7	7	6	3
32	9	9	7	10	4	7

Fonte: (DETRAN-DF, 2011).

4.3.7 ETAPA 7 – Determinação do volume de tráfego nas interseções da amostra

Independente de ter ou não equipamento de fiscalização na interseção selecionada, foi realizada uma contagem volumétrica de três horas em cada aproximação de todas as interseções da amostra. Esta contagem foi realizada para determinação do Volume Diário Médio Anual – VDMA de cada aproximação da interseção, a partir da hora do dia, do dia da semana e do mês da contagem para se obter o VDMA de 2011/2012 e, posteriormente, estimar o VDMA dos demais anos do período do estudo (2005-2010).

Estas estimativas foram realizadas mediante o uso dos fatores de expansão apresentados no Anexo B. O resultado das contagens volumétricas realizadas é apresentado na Tabela 4.11,

e os valores correspondentes do VDMA para os anos do período de 2005 a 2010 são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.11: Contagem volumétrica de 3 horas por via e interseção

Interseção	Contagem volumétrica para 3 horas			
	Ano da contagem	Via arterial (principal)	Via secundária	Total por interseção
1	2012	2705	368	3073
2	2012	1917	40	1957
3	2012	2396	191	2587
4	2012	2790	259	3049
5	2011	12367	4732	17099
6	2011	7972	1506	9478
7	2012	7410	438	7848
8	2011	16713	3176	19889
9	2011	12967	897	13864
10	2011	10174	4070	14244
11	2011	2928	391	3319
12	2011	4729	40	4769
13	2011	2611	104	2715
14	2011	3509	87	3596
15	2011	4603	2562	7165
16	2011	4527	4336	8863
17	2012	4068	434	4502
18	2012	4987	4301	9288
19	2011	3502	3046	6548
20	2011	14258	2825	17083
21	2011	3608	130	3738
22	2012	2300	1122	3422
23	2011	8505	318	8823
24	2011	3430	824	4254
25	2011	5653	4751	10404
26	2012	5379	489	5868
27	2012	5132	399	5531
28	2011	6981	795	7776
29	2012	5976	199	6175
30	2012	9147	219	9366
31	2011	9304	1398	10702
32	2011	8198	519	8717

Tabela 4.12: VMDA de 2005 a 2010 para as interseções selecionadas

Interseção	ANO					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	18356	18366	18375	18384	17100	17931
2	11225	11231	11237	11242	10416	11119
3	15097	15105	15112	15120	13850	14513
4	17272	17281	17290	17298	16008	16833
5	89600	91047	92494	93122	92436	95282
6	57139	56223	55306	54127	53421	52597
7	45450	45472	45495	45518	45996	45058
8	166026	166109	166191	166274	285830	115959
9	70799	70834	70869	70905	75439	69014
10	65402	65434	65467	65499	63821	65269
11	13916	13923	13930	13937	11906	13298
12	24097	24109	24121	24133	25579	25442
13	14666	14445	14225	13958	13362	13222
14	19550	19238	18927	18558	17781	17571
15	31585	31601	31616	31849	29062	30213
16	40751	40771	40792	41027	38651	40328
17	19768	18565	19382	18824	18200	17206
18	46039	43945	45376	43685	41946	38604
19	37814	36352	37790	36847	35875	36899
20	86399	86103	85808	85938	82791	84932
21	17806	17815	17824	17833	17568	17490
22	16213	16222	16230	16238	16345	16338
23	40858	40878	40899	41279	40969	38925
24	20155	20165	20175	19617	19904	19843
25	46419	46442	46465	44357	45292	45405
26	26591	26604	26617	26143	26830	26765
27	25065	25078	25090	24643	25290	25229
28	41014	41035	41055	41076	40462	40653
29	30551	30566	30581	30597	30758	30865
30	44318	44340	44362	38623	38334	36421
31	57395	57423	57452	58122	57687	54808
32	63755	63787	63818	67182	66679	63352

4.3.8 ETAPA 8 – Elaboração dos modelos para a cidade de Taguatinga-DF

Para o desenvolvimento dos modelos de previsão de acidentes com vítimas, foram consideradas apenas as covariáveis relacionadas aos volumes (VDMA) que entram nas interseções provenientes da via principal e da via secundária (Tabela 4.13), num primeiro momento, a fim de testar a hipótese prevista na dissertação, de que é possível prever o

número de acidentes em interseções de vias arteriais urbanas de Taguatinga com base no volume diário médio anual (VDMA) e no tipo de controle da operação do tráfego (semaforizada e não semaforizada). E posteriormente, acrescentou-se a variável explicativa denominada ‘controle de tráfego’ (Tabela 4.14), para complementar a hipótese em questão, inserida por meio de uma variável binária, assumindo, por exemplo, valor 1 quando existe semáforo e 0 caso contrário.

Tabela 4.13: Síntese das variáveis utilizadas nos modelos

VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO
Controle de tráfego	0 (não semaforizadas)	1 (semaforizadas)
Equipamentos de fiscalização	0 (sem equipamento de fiscalização)	1 (com equipamento de fiscalização)
Número de faixas	2	5

A elaboração do modelo, portanto, iniciou com a definição das variáveis independentes consideradas para a estimativa da frequência média de acidentes nas interseções da amostra, considerando-se que a distribuição do erro da variável dependente é a binomial negativa. Em seguida, definiu-se a forma funcional do modelo. Para a presente dissertação foram testadas as diferentes formas funcionais referidas por Lord e Park (2008), Modelos 1 a 4. E foi sugerida outra relação, diferente da original, descrita na Equação 4.5. Conforme referido anteriormente, no desenvolvimento dos modelos considerou-se efeitos aleatórios e, portanto, o parâmetro β_{0t} presente nas equações originais de Lord e Park (2008) foram substituídos por β_0 (independe de t , como os demais parâmetros dos modelos).

I. Modelo 1

$$\ln \mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(F1_{it} + F2_{it})$$

$$y = e^{\beta_0} \times (VMDATI)^{\beta_1} \quad (4.1)$$

II. Modelo 2

$$\ln \mu_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln F1_{it} + \beta_2 \ln F2_{it}$$

$$y = e^{\beta_0} \times (VMDAA)^{\beta_2} \times (VMDAS)^{\beta_3} \quad (4.2)$$

III. Modelo 3

$$\begin{aligned}\ln \mu_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln(F1_{it} \times F2_{it}) \\ y &= e^{\beta_0} \times (VMDAM)^{\beta_1}\end{aligned}\tag{4.3}$$

IV. Modelo 4

$$\begin{aligned}\ln \mu_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln(F1_{it} + F2_{it}) + \beta_2 \ln\left(\frac{F2_{it}}{F1_{it}}\right) \\ y &= e^{\beta_0} \times (VMDATI)^{\beta_1} \times (VMDAD)^{\beta_2}\end{aligned}\tag{4.4}$$

V. Modelo 5

$$\begin{aligned}\ln \mu_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln F1_{it} + \beta_2 \ln F2_{it} + \beta_3 \ln(F1_{it} \times F2_{it}) \\ y &= e^{\beta_0} \times (VMDAA)^{\beta_1} \times (VMDAS)^{\beta_2} \times (VMDAM)^{\beta_3}\end{aligned}\tag{4.5}$$

em que:

- $F1 = VMDAA =$ Volume diário médio anual da via arterial
- $F2 = VMDAS =$ Volume diário médio anual da via secundária
- $F1+F2 = VMDATI =$ Volume diário médio anual total da interseção
- $F1 \times F2 = VMDAM =$ Volume diário médio anual da via arterial multiplicado pelo VDMA da via secundária
- $F2/F1 = VMDAD =$ Volume diário médio anual da via secundária dividido pelo VDMA da via arterial

Os modelos desenvolvidos foram calibrados por meio da técnica EEG (uma vez que os dados disponíveis são longitudinais), assumindo erros com distribuição Binomial Negativa por se tratar de dados de contagem com a presença de um grande número de observações com valor zero e, portanto, com alta dispersão.

Tabela 4.14: Modelos com a variável volume

MODELO COM VARIÁVEL VOLUME								
MODELO	PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO	Z Pr > Z		CORRELAÇÃO	QIC	R ²
1	β_0	-10,649	2,900	-3,67	0,0002	IND	-207,6934	
	LNVMDATI = β_1	1,078	0,2739	3,94	<0,0001			
	β_0	-10,9592	0,2745	-3,99	<0,0001	CS	-208,1395	0,0607322998
	LNVMDATI = β_1	1,1082	0,2591	4,28	< 0, 0001			
	β_0	-10,7605	2,9353	-3,67	0,0002	AR	-195,7457	
LNVMDATI = β_1	1,0855	0,2769	3,92	< 0,0001				
2	β_0	-8,5791	2,828	-3,03	0,0024	IND	-204,9238	
	LNVMDAA = β_1	0,5761	0,2915	1,98	0,0481			
	LNVMDAS = β_2	0,3963	0,1274	3,11	0,0019			
	β_0	-8,871	2,6513	-3,35	0,0008	CS	-205,5609	0,1710660518
	LNVMDAA = β_1	0,6031	0,2752	2,19	0,0284			
	LNVMDAS = β_2	0,3987	0,1288	3,1	0,0020			
	β_0	-8,6212	2,8693	-3	0,0027	AR	-194,9967	
	LNVMDAA = β_1	0,5797	0,2947	1,97	0,0492			
LNVMDAS = β_2	0,3936	0,1337	2,94	0,0032				
3	β_0	-7,6829	1,9067	-4,03	<0,0001	IND	-212,1146	
	LNVMDAM = β_1	0,4478	0,1003	4,46	<0,0001			
	β_0	-7,8724	1,8587	-4,24	<0,0001	CS	-212,2847	0,219211885
	LNVMDAM = β_1	0,4583	0,0975	4,70	<0,0001			
	β_0	-7,6812	1,9976	-3,85	0,0001	AR	-201,5929	
LNVMDAM = β_1	0,4461	0,1048	4,26	<0,0001				
4	β_0	-8,5674	3,182	-2,69	0,0071	IND	-203,7935	
	LNVMDATI = β_1	0,9276	0,2932	3,16	0,0016			
	LNVMDAD = β_2	0,2581	0,1345	1,92	0,0550			
	β_0	-8,9469	2,9675	-3,01	0,0026	CS	-204,6087	
	LNVMDATI = β_1	0,9638	0,2732	3,53	0,0004			
	LNVMDAD = β_2	0,2549	0,1340	1,90	0,0571			
	β_0	-8,6834	3,2225	-2,69	0,0070	AR	-192,2567	
	LNVMDATI = β_1	0,9344	0,2975	3,14	0,0017			
LNVMDAD = β_2	0,2522	0,1390	1,81	0,0697				
5	β_0	-8,5791	2,828	-3,03	0,0024	IND	-204,9238	
	LNVMDAA = β_1	0,5761	0,292	1,98	0,0481			
	LNVMDAS = β_2	0,3963	0,127	3,11	0,0019			
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000	0,00	0,0000			
	β_0	-8,871	2,6513	-3,35	0,0008	CS	-205,5609	
	LNVMDAA = β_1	0,6310	0,2752	2,19	0,0284			
	LNVMDAS = β_2	0,3987	0,1288	3,10	0,0020			
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000	0,00	0,0000			
	β_0	-8,6212	2,8693	-3	0,0027	AR	-194,9967	
	LNVMDAA = β_1	0,5797	0,2947	1,97	0,0492			
	LNVMDAS = β_2	0,3936	0,1337	2,94	0,0032			
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000	0,00	0,0000			

LEGENDA:

- LNVMDAA - Volume médio diário anual da via arterial
- LNVMDAS - Volume médio diário anual da via secundária
- LNVMDATI - Volume médio diário anual total na interseção
- LNVMDAM - Volume médio diário anual da via arterial multiplicado pela via secundária
- LNVMDAD - Volume médio diário anual da via secundária dividido pelo volume da via arterial
- Modelos escolhidos em negrito

Tabela 4.14: Modelo com as variáveis volume e controle de tráfego (CT) (Continuação)

MODELO COM VARIÁVEL VOLUME E CONTROLE DE TRÁFEGO							
MODELO	PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO	Z	Pr > Z	CORRELAÇÃO	QIC
4	β_0	-8,6861	3,542	-2,45	0,0142	IND	-191,6333
	LNVMDATI = β_1	0,9752	0,3568	2,73	0,0063		
	LNVMDAD = β_2	0,3580	0,1404	2,55	0,0108		
	CT = β_3	-0,3345	0,4892	-0,68	0,4941		
	β_0	-9,0518	3,2819	-2,76	0,0058	CS	-191,1106
	LNVMDATI = β_1	1,0153	0,3294	3,08	0,0021		
	LNVMDAD = β_2	0,3697	0,1399	2,64	0,0082		
	CT = β_3	-0,3836	0,4654	-0,82	0,4099	AR	-180,7169
	β_0	-8,7595	3,5803	-2,45	0,0144		
	LNVMDATI = β_1	0,9784	0,3616	2,71	0,0068		
	LNVMDAD = β_2	0,3538	0,1434	2,47	0,0136		
	CT = β_3	-0,3374	0,4995	-0,68	0,4993		
5	β_0	-8,6775	3,0690	-2,83	0,0047	IND	-192,8008
	LNVMDAA = β_1	0,5098	0,2714	1,88	0,0603		
	LNVMDAS = β_2	0,5145	0,1591	3,23	0,0012		
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000				
	CT = β_4	-0,3708	0,4475	-0,83	0,4073	CS	-192,2731
	β_0	-8,9493	2,8578	-3,13	0,0017		
	LNVMDAA = β_1	0,5261	0,2560	2,06	0,0398		
	LNVMDAS = β_2	0,5304	0,1563	3,39	0,0007		
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000			AR	-183,5356
	CT = β_4	-0,4134	0,4254	-0,97	0,3312		
	β_0	-8,6837	3,1075	-2,79	0,0052		
	LNVMDAA = β_1	0,5094	0,2725	1,87	0,0616		
	LNVMDAS = β_2	0,5124	0,1642	3,12	0,0018		
	LNVMDAM = β_3	0,0000	0,0000				
CT = β_4	-0,3722	0,4569	-0,81	0,4153			

Ao se acrescentar a variável explicativa, controle de tráfego (CT), não foram obtidos modelos satisfatórios (ver Tabela 4.14). Em todos os casos o parâmetro associado à variável CT não foi estatisticamente significativo para $\alpha=5\%$. Este resultado pode estar relacionado com o número de elementos da amostra que talvez seja pequena para a determinação da influência do tipo de controle (com ou sem semáforo) no número de acidentes de trânsito. Entretanto, ao acrescentar-se aos Modelos 1, 2 e 3 originais a variável explicativa equipamento de fiscalização (EF), o parâmetro associado à essa variável mostrou-se estatisticamente significativo $\alpha=5\%$ nos Modelos 2 e 3 (Tabela 4.15). Destaca-se que toda interseção que tem EF é semaforizada, porém a recíproca não é verdadeira. Dentre as 16 interseções semaforizadas da amostra, 14 tinham equipamento de fiscalização e duas não tinham. A variável EF assume valor 1 no caso da presença de equipamento de fiscalização e zero quando este equipamento não está presente.

Foram testados 5 modelos utilizando para cada um, três formas de estrutura de correlação: independente, intercambiável e auto-regressiva. Nota-se que os melhores modelos (1, 2 e 3) apresentaram a correlação de trabalho intercambiável, significando que torna constantes as correlações entre cada par de observações para uma mesma entidade. Ou seja, pelos resultados da Tabela 4.13, verifica-se que o VDMA influencia no número de acidentes de trânsito nas três diferentes formas em que foi considerado: o valor total do VDMA, considerando todas as aproximações da interseção (Modelo 1); o VDMA da via arterial e da via secundária considerados em separado e de forma aditiva no modelo (Modelo 2); e o produto do VDMA das duas vias. A calibração dos Modelos 4 e 5, que são derivados dos Modelos 1 e 2, respectivamente, ao incluir um termo adicional referente à interação dos volumes das duas vias, mostrou que o parâmetro associado a esse termo não é estatisticamente significativo para um nível de significância de 5% ($\alpha=5\%$).

Tabela 4.15: Modelo com as variáveis volume e controle de tráfego (CT)

MODELO COM VARIÁVEL VOLUME E CONTROLE DE TRÁFEGO							
MODELO	PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO	Z	Pr > Z	CORRELAÇÃO	QIC
1	β_0	-10,1148	3,580	-2,83	0,0047	IND	-204,352
	LNVMDATI = β_1	1,0167	0,3551	2,86	0,0042		
	CT = β_2	0,1957	0,4327	0,45	0,6510		
	β_0	-10,5442	3,3361	-3,16	0,0016	CS	-205,0184
	LNVMDATI = β_1	1,0603	0,3302	3,21	0,0013		
	CT = β_2	0,1569	0,4196	0,37	0,7085		
	β_0	-10,2451	3,6057	-2,84	0,0045	AR	-192,1698
LNVMDATI = β_1	1,0261	0,3577	2,87	0,4100			
CT = β_2	0,1932	0,4441	0,44	0,6634			
2	β_0	-8,6775	3,069	-2,83	0,0047	IND	-192,8008
	LNVMDAA= β_1	0,5098	0,2714	1,88	0,0603		
	LNVMDAS= β_2	0,5145	0,1591	3,23	0,0012		
	CT = β_3	-0,3708	0,4475	-0,83	0,4073		
	β_0	-8,9493	2,8578	-3,13	0,0017	CS	-192,2731
	LNVMDAA= β_1	0,5261	0,2560	2,06	0,0398		
	LNVMDAS= β_2	0,5304	0,1563	3,39	0,0007		
	CT = β_3	-0,4134	0,4254	-0,97	0,3312	AR	-183,5356
	β_0	-8,6837	3,1075	-2,79	0,0052		
	LNVMDAA= β_1	0,5094	0,2725	1,87	0,0616		
LNVMDAS= β_2	0,5124	0,1642	3,12	0,0018			
CT = β_3	-0,3722	0,4569	-0,81	0,4153	3	IND	-197,2822
β_0	-8,6945	2,6078	-3,33	0,0009			
LNVMDAM = β_1	0,5128	0,148	3,46	0,0005			
CT = β_2	-0,3685	0,4798	-0,77	0,4424		CS	-196,5585
β_0	-8,9660	2,4549	-3,65	0,0003			
LNVMDAM = β_1	0,5288	0,1384	3,82	0,0001			
CT = β_2	-0,4115	0,4538	-0,91	0,3645		AR	-187,8415
β_0	-8,6949	2,673	-3,25	0,0011			
LNVMDAM = β_1	0,5113	0,1514	3,38	0,0007			
CT = β_2	-0,3707	0,4902	-0,76	0,4496			

Tabela 4.16: Modelo com as variáveis volume e equipamento de fiscalização

MODELO COM VARIÁVEL VOLUME E EQUIPAMENTOS DE FISCALIZAÇÃO								
MODELO	PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO	Z	Pr > Z	CORRELAÇÃO	QIC	R ²
1	β_0	-11,2983	2,900	-3,9	<0,0001	IND	-205,4714	
	LNVM DATI = β_1	1,146	0,2787	4,11	<0,0001			
	EF = β_2	-0,1665	0,2898	0,57	0,5656			
	β_0	-12,0955	2,697	-4,48	< 0,0001	CS	-208,4251	
	LNVM DATI = β_1	1,228	0,2561	4,8	< 0,0001			
	EF = β_2	-0,3053	0,2032	-1,5	0,1330			
	β_0	-11,7552	2,8868	-4,07	<0,0001	AR	-193,2178	
	LNVM DATI = β_1	1,1897	0,2757	4,31	<0,0001			
	EF = β_2	-0,2636	0,2586	-1,02	0,3081			
2	β_0	-10,1406	2,8089	-3,61	0,0003	IND	-204,7505	
	LNVM DAA = β_1	0,606	0,2604	2,33	0,0200			
	LNVM DAS = β_2	0,5817	0,1595	3,65	0,0003			
	EF = β_3	-0,7105	0,3155	-2,25	0,0243			
	β_0	-10,0421	2,606	-3,85	0,0001	CS	-207,5221	0,17758291
	LNVM DAA = β_1	0,616	0,2518	2,45	0,0144			
	LNVM DAS = β_2	0,5519	0,1415	3,9	<0,0001			
	EF = β_3	-0,6001	0,1857	-3,23	0,0012			
	β_0	-10,122	2,8715	-3,53	0,0004	AR	-194,7054	
	LNVM DAA = β_1	0,6061	0,2644	2,29	0,0219			
	LNVM DAS = β_2	0,5749	0,1566	3,67	0,0002			
	EF = β_3	-0,7058	0,2742	-2,57	0,0100			
3	β_0	-10,0419	2,3668	-4,24	< 0,0001	IND	-210,3195	
	LNVM DAM = β_1	0,5900	0,1291	4,57	< 0, 0001			
	EF = β_2	-0,7167	0,3074	-2,33	0,0197			
	β_0	-9,7609	2,0915	-4,67	< 0,0001	CS	-212,8044	0,192817817
	LNVM DAM = β_1	0,5725	0,1117	5,13	< 0,0001			
	EF = β_2	-0,6096	0,1829	-3,33	0,0009			
	β_0	-9,9865	2,4003	-4,16	< 0,0001	AR	-199,9177	
	LNVM DAM = β_1	0,5851	0,1297	4,51	< 0,0001			
EF = β_2	-0,712	0,2753	-2,59	0,0097				

LEGENDA:

- LNVM DAA - Volume médio diário anual da via arterial
- LNVM DAS - Volume médio diário anual da via secundária
- LNVM DATI - Volume médio diário anual total na interseção
- LNVM DAM - Volume médio diário anual da via arterial multiplicado pela via secundária
- EF – Equipamento de Fiscalização
- Modelos escolhidos em negrito

A presença da variável explicativa número de faixas da via arterial (NF), acrescida aos Modelos 1, 2 e 3 originais, também não apresentou parâmetro estatisticamente significativo (Tabela 4.16).

Tabela 4.17: Modelo com as variáveis volume e número de faixas da via arterial

MODELO COM VARIÁVEL VOLUME E NÚMERO DE FAIXAS							
MODELO	PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO	Z	Pr > Z	CORRELAÇÃO	QIC
1	β_0	-10,7396	2,813	-3,82	0,0001	IND	-204,2675
	LNVMDATI = β_1	1,1296	0,2686	4,21	<0,0001		
	NF = β_2	-0,1883	0,1708	-1,1	0,2702		
	β_0	-11,051	2,6714	-4,14	<0,0001	CS	-205,2204
	LNVMDATI = β_1	1,1597	0,2516	4,61	<0,0001		
	NF = β_2	-0,1873	0,1577	-1,19	0,2348		
	β_0	-10,8865	2,8178	-3,86	0,0001	AR	-192,0707
LNVMDATI = β_1	1,1449	0,2635	4,34	< 0,0001			
NF = β_2	-0,2081	0,1618	-1,29	0,1983			
2	β_0	-8,6922	2,8076	-3,1	0,002	IND	-202,6983
	LNVMDAA= β_1	0,6073	0,3102	1,96	0,0503		
	LNVMDAS= β_2	0,3861	0,1358	2,84	0,0045		
	NF = β_3	-0,0511	0,1699	-0,3	0,7635		
	β_0	-8,9859	2,6015	-3,45	0,0006	CS	-203,6858
	LNVMDAA= β_1	0,6355	0,2862	2,22	0,0264		
	LNVMDAS= β_2	0,3881	0,1375	2,82	0,0048		
	NF = β_3	-0,0539	0,1584	-0,34	0,7335		
	β_0	-8,7839	2,7926	-3,15	0,0017	AR	-193,1303
	LNVMDAA= β_1	0,6230	0,3035	2,05	0,0401		
	LNVMDAS= β_2	0,3798	0,1427	2,66	0,0078		
	NF = β_3	-0,0701	0,165	-0,42	0,6711		
3	β_0	-7,7087	2,0016	-3,85	0,0001	IND	-207,5272
	LNVMDAM = β_1	0,4473	0,0993	4,50	< 0,0001		
	NF = β_2	0,0140	0,1760	0,08	0,9368		
	β_0	-7,9038	1,9614	-4,03	< 0,0001	CS	-207,8795
	LNVMDAM = β_1	0,4576	0,0965	4,74	< 0,0001		
	NF = β_2	0,0180	0,1674	0,11	0,9142		
	β_0	-7,6856	2,1053	-3,65	0,0003	AR	-197,3371
	LNVMDAM = β_1	0,446	0,103	4,33	<0,0001		
NF = β_2	0,0024	0,1795	0,01	0,9893			

3.4.9 ETAPA 9 – Validação dos modelos

A validação dos modelos exigiria a coleta de dados em outras interseções para, posteriormente, verificar se os mesmos se aplicam a qualquer interseção localizada em vias arteriais da cidade. No entanto, dadas as limitações de recursos para a coleta de dados, optou-se por utilizar todos os dados disponíveis para efeito de calibração dos modelos e realizar apenas uma avaliação da qualidade do seu ajuste aos dados da amostra, usando os elementos referidos e aplicar as equações obtidas no processo de calibração e verificação do quanto elas seriam capazes de bem representar os dados utilizados na sua calibração.

Isto é, a avaliação da qualidade de ajuste dos modelos e a seleção do modelo mais adequado à situação estudada, prevista no procedimento proposto para ser realizada na Etapa 8, será apresentada na presente seção.

Com base nos resultados da Etapa 8, verifica-se que devem ser avaliados os seguintes modelos:

I. Modelo I: VOLUME 1

$$y = e^{-10,9592} \times (VMDATI)^{1,1082} \quad (4.6)$$

II. Modelo II: VOLUME 2

$$y = e^{-8,871} \times (VMDAA)^{0,6031} \times (VMDAS)^{0,3987} \quad (4.7)$$

III. Modelo III: VOLUME 3

$$y = e^{-7,8724} \times (VMDAM)^{0,4583} \quad (4.8)$$

IV. Modelo IV: VOLUME 2 + EF

$$y = e^{-10,0421} \times (VMDAA)^{0,6160} \times (VMDAS)^{0,5519} \times e^{-0,600 \times EF} \quad (4.9)$$

V. Modelo V: VOLUME 3 + EF

$$y = e^{-9,7609} \times (VMDAM)^{0,5725} \times e^{-0,6096 \times EF} \quad (4.10)$$

a) O critério de informação de quase-verossimilhança (QIC).

Visa identificar para um dado modelo o tipo de correlação existente entre as diferentes observações realizadas para cada entidade, mostrou que para os Modelos 1, 2 e 3 originais, a correlação existente entre os dados é do tipo intercambiável (CS), para o qual foi obtido o menor valor de QIC. Isto é, na calibração desses modelos foi verificado que a correlação entre duas observações para uma mesma entidade é constante. No caso dos modelos onde foi inserida a variável EF (Modelos 2 e 3 originais com a inclusão da variável EF) , o tipo de correlação com o menor valor de QIC foi a independente, segundo o qual as observações realizadas para as diferentes entidades são independentes entre si.

b) Análise do CURE *plot*

Para modelos satisfatórios, o gráfico de resíduos acumulados (CURE *plot*) deve apresentar uma oscilação moderada e aleatória em torno de zero, além de permanecer confinado na envoltória de dois desvios padrões (Hauer, 2004). Todos os modelos estiveram dentro dos limites da envoltória e com oscilação em torno de zero. Nas Figuras 4.12 a 4.16 são apresentados os CURE *plots* para todos os modelos em análise.

Comparando-se os gráficos verifica-se que todos eles atendem os critérios da qualidade de ajuste e possuem limites de envoltória muito próximos. Destaca-se, apenas, que para o Modelo I os limites da envoltória atingem patamares acima de 40, enquanto nos demais modelos o limite máximo é 40, o que indica que os desvios do Modelo I são um pouco maiores que dos demais modelos, embora essa diferença seja imperceptível quando se olha o gráfico dos resíduos acumulados.

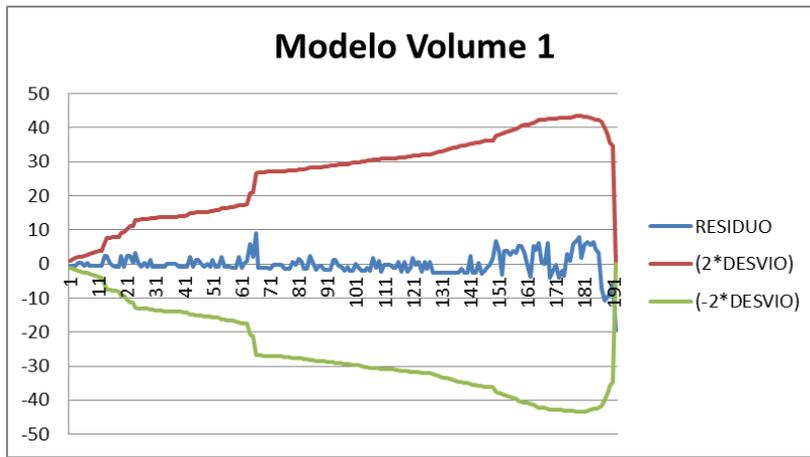


Figura 4.12: Cure plot Modelo I

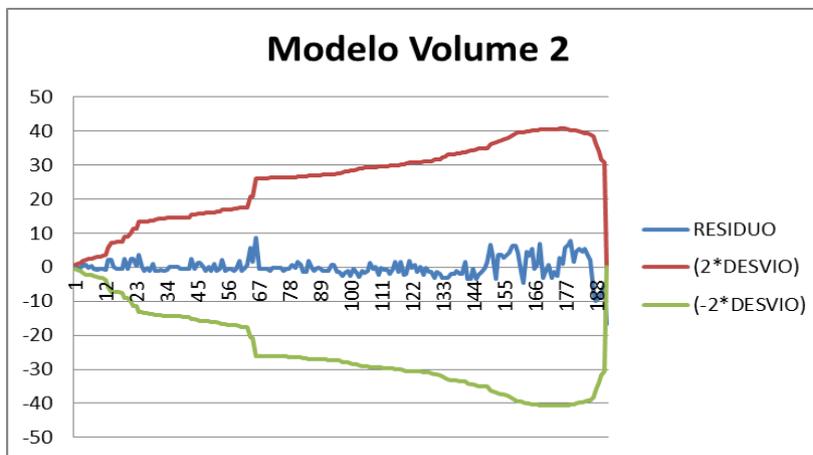


Figura 4.13: Cure plot Modelo II

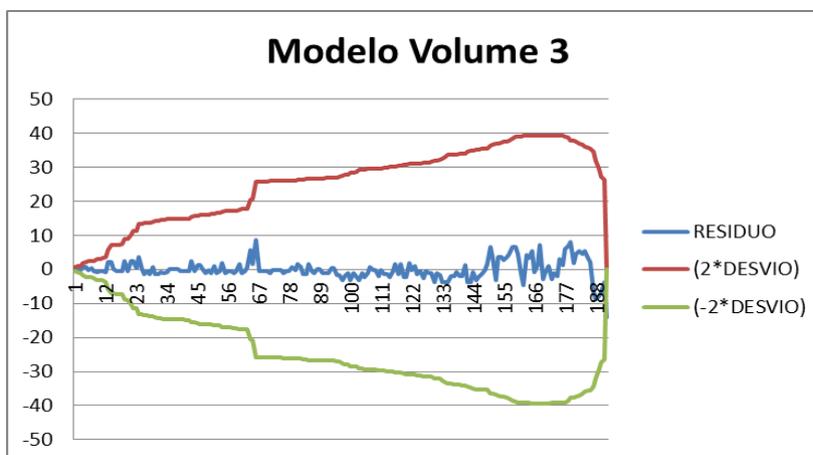


Figura 4.14: Cure plot Modelo III

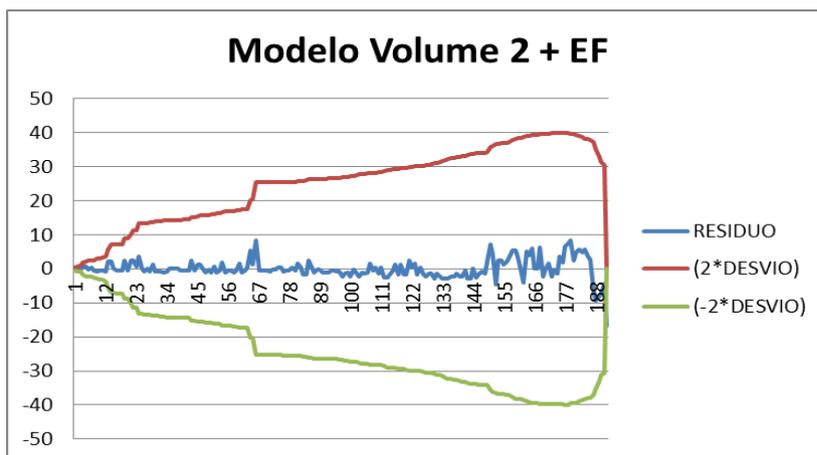


Figura 4.15: Cure plot Modelo IV

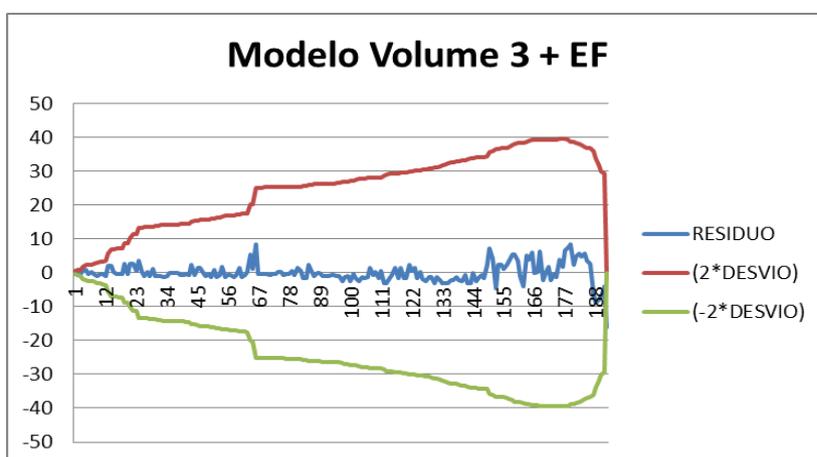


Figura 4.16: Cure plot Modelo V

c) Teste estatístico de coeficiente de determinação R^2

No teste estatístico o coeficiente de determinação R^2 , considerado como medida de desempenho com base nos resíduos padronizados difere dos demais. Pois, maiores valores de R^2 indicam um ajuste superior dos modelos. Para os modelos analisados foram obtidos os seguintes valores de R^2 : Modelo I = 0,060; Modelo II = 0,171; Modelo III = 0,219; Modelo IV = 0,178; e Modelo V = 0,193. Ou seja, embora os valores sejam todos baixos, os Modelos III e V mostraram-se superiores aos demais.

Os valores de R^2 foram muito próximos para os Modelos III e V e, portanto, não seria justificado eleger o Modelo III como o melhor modelo dentre os avaliados somente com base no seu valor. O Modelo V apresenta duas características que torna interessante sua adoção para a cidade de Taguatinga (enquanto um estudo mais abrangente que considere uma amostra maior de interseções não é realizado): (i) suas variáveis explicativas é o produto dos volumes das vias arterial e secundária (VMDAM); (ii) o parâmetro associado à variável EF permite estimar que a presença de controle semafórico com equipamento de fiscalização de avanço de sinal reduz o valor esperado da frequência de acidentes na interseção.

4.4 - TÓPICOS CONCLUSIVOS DO CAPÍTULO

O estudo de caso foi realizado na cidade de Taguatinga, pois a cidade possui o segundo maior número de acidentes de trânsito do Distrito Federal e por apresentar características geométricas e organizacionais como as demais cidades brasileiras pertencentes ao projeto na qual a presente dissertação se insere ('Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Urbanas Brasileiras', aprovado no âmbito do Edital MCT/CNPq No 18/2009).

Foram identificadas as vias arteriais de Taguatinga e nelas selecionadas as interseções que compuseram a amostra para realização dos modelos. Foi realizado um estudo detalhado de cada interseção, por meio de visita *in loco* e de mapas digitais, e também dos acidentes ocorridos nestas interseções. Coleta de dados de volume nas aproximações das interseções estudadas, bem como dados de volume coletados pelos equipamentos de fiscalização de avanço de sinal localizados em interseções de Taguatinga, devidamente tratados com métodos desenvolvidos por Mota (2012) permitiu a obtenção dos dados do VDMA necessários à calibração dos modelos.

Com base nas informações obtidas, puderam ser desenvolvidos modelos de previsão de acidentes. Foram testadas formulações tradicionais disponíveis na literatura técnica revisada, e os modelos revelaram que se pode prever o número de acidentes de trânsito nas interseções utilizando o procedimento proposto na presente dissertação, com base nos dados do VDMA das suas aproximações. Dois modelos revelaram-se com boa qualidade

de ajuste aos dados coletados. O primeiro deles considera como variável explicativa somente o produto do VDMA das vias arterial e secundária; o segundo modelo considera o VDMA total da interseção e, também, que a presença de equipamentos de fiscalização na interseção influencia no número de acidentes de trânsito.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os acidentes de trânsito estão presentes em todo o mundo, inclusive no Brasil, onde é o segundo maior problema de saúde pública, perdendo apenas para a desnutrição. E o trânsito é a terceira causa de morte ficando atrás apenas das doenças do coração e do câncer (OMS, 2009). Nas cidades brasileiras, em 2008, houve 653.827 vítimas em acidentes de trânsito, sendo 33.996 acidentes com mortes (OMS, 2009). No Distrito Federal esse número chegou a 1.456 acidentes com mortes (DENATRAN, 2008).

Os dados sobre acidentes de trânsito são de grande importância para o desenvolvimento de Modelos de Previsão de Acidentes (MPAs) ou funções de desempenho de segurança viária. Os MPAs relacionam o número de acidentes de trânsito com atributos geométricos e de operação da via. Neste contexto, os MPAs atuam como importante ferramenta para a decisão com relação à aplicação de recursos voltados à promoção da segurança viária, bem como para avaliar o desempenho de intervenção realizada com esse propósito. Apesar de sua importância, são poucos os modelos disponíveis para as cidades brasileiras. Dentre os motivos para essa situação destaca-se a dificuldade dos órgãos de trânsito em manter uma base de dados de acidentes com registros atualizados e confiáveis, além de dados do volume de tráfego nas principais vias das cidades. Assim, a ausência de MPAs representativos da realidade das cidades brasileiras é uma situação a ser enfrentada e superada.

A vantagem de se utilizar modelos de previsão de acidentes em interseções é que se pode calcular a taxa esperada de acidentes considerando alterações que podem ocorrer nas vias arteriais em estudo, sobretudo em relação ao volume de tráfego e a forma de controle da circulação na interseção. A presente dissertação justificou-se, pois se conseguiu desenvolver um procedimento para elaboração de MPA's para vias arteriais urbanas. Além de ter sido aplicado no estudo de caso, obtendo bons modelos para a cidade de Taguatinga, que se posto em prática, poderá ainda, auxiliar os gestores a tomar medidas para diminuição de acidentes de trânsito nesta cidade.

5.1 - VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E DA HIPÓTESE DA PESQUISA

Os objetivos propostos dessa pesquisa foram alcançados. Tinha-se como objetivo geral o desenvolvimento de um procedimento para elaboração de modelo de previsão de acidentes para interseções localizadas em vias arteriais urbanas. Tendo sido alcançado por meio dos objetivos específicos: (i) estudar as principais características geométricas e de uso do solo das interseções semaforizadas e não semaforizadas localizadas em vias arteriais urbanas de Taguatinga; (ii) caracterizar o padrão dos acidentes de trânsito ocorridos nas vias arteriais urbanas de Taguatinga; (iii) aplicar o procedimento para o desenvolvimento de um modelo de previsão de acidentes de trânsito para a cidade de Taguatinga; e (iv) avaliar o tipo de correlação entre as observações efetuadas para cada interseção estudada.

A hipótese de que a previsão do número de acidentes em interseções de vias arteriais urbanas de Taguatinga podia ser convenientemente realizada com base no volume diário médio anual (VDMA) e no tipo de controle da operação do tráfego (semaforizada e não semaforizada) foi parcialmente confirmada. O estudo mostrou que o VDMA influencia significativamente no número de acidentes de trânsito em três das diferentes formas em que foi considerado: o valor total do VDMA, considerando todas as aproximações da interseção (Modelo 1); o VDMA da via arterial e da via secundária considerados em separado e de forma aditiva no modelo (Modelo 2); e o produto do VDMA das duas vias. Entretanto, ao se acrescentar a variável explicativa controle de tráfego (CT), não foram obtidos modelos satisfatórios. Em todos os casos o parâmetro associado à variável CT não foi estatisticamente significativo para $\alpha=5\%$.

Este resultado pode estar relacionado com o número de elementos da amostra que talvez fosse pequena para a determinação da influência do tipo de controle (com ou sem semáforo) no número de acidentes de trânsito. Entretanto, ao acrescentar-se aos Modelos 1, 2 e 3 originais a variável explicativa equipamento de fiscalização (EF), o parâmetro associado a essa variável mostrou-se estatisticamente significativo (para $\alpha=5\%$) nos Modelos 2 e 3.

Tendo sido escolhido o Modelo V (anteriormente denominado Modelo 3 – Vol +EF) (Equação 5.1) por apresentar duas características que tornam mais interessante a sua adoção para a cidade de Taguatinga, que são: (i) suas variáveis explicativas é o produto do volume diário médio da via arterial e da via secundária (VMDAM), além da presença de equipamento de fiscalização, o que torna sua formulação mais intuitiva do que a apresentada pelo Modelo III, por exemplo, que também se mostrou um bom modelo, mas que sua única variável explicativa é o produto dos volumes das vias arterial e secundária (VMDAM); (ii) o parâmetro associado a variável EF permite estimar que a presença de controle semafórico com equipamento de fiscalização de avanço de sinal reduz a frequência de acidentes na interseção. Esta última verificação, embora deva ser considerada com cuidado, dado o tamanho da amostra considerada, dá um indício forte do potencial que estes equipamentos tem para contribuir com a segurança do tráfego nas interseções de Taguatinga.

$$y = e^{-9,7609} \times (VMDAM)^{0,5725} \times e^{-0,6096 \cdot EF} \quad (5.1)$$

5.2 - LIMITAÇÃO DA PESQUISA

A principal limitação da pesquisa foi o número pequeno de interseções incluído na amostra. Isto se deu pela falta, no órgão de trânsito do Distrito Federal, de uma base de dados mais ampla sobre os volumes de veículos nas interseções e/ou vias arteriais selecionadas. Essa base poderia ter sido ampliada, caso houvesse recurso financeiro e pesquisadores especializados em contagem volumétrica para a realização dos levantamentos de campo.

Outra dificuldade encontrada foi na determinação pontual da ocorrência do acidente de trânsito, pois o órgão responsável pelos boletins de ocorrência não mantém um padrão na anotação dos endereços, dificultando a localização exata do acidente na interseção ou segmento viário.

Pela dificuldade da obtenção das contagens volumétricas e determinação dos acidentes de trânsito, optou-se em trabalhar com 32 interseções e 6 anos. O fato da base de dados ser pequena pode ter sido a causa de não se ter conseguido inserir no modelo outras variáveis explicativas, como foi o caso do tipo de controle e número de faixas na aproximação da via principal. Isso também não permitiu, que modelos mais específicos sobre determinados tipos de acidentes (um modelo para prever o número de colisões e um modelo para estimar o número de atropelamentos) fosse elaborado.

5.3 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Recomenda-se para futuras pesquisas aumentar o número de elementos da amostra e investigar mais profundamente o efeito das variáveis que não se mostraram estatisticamente significativas na presente pesquisa, como é o caso das variáveis controle de tráfego (CT) e número de faixas da via arterial (NF).

A partir de uma amostra com maior número de interseções, recomenda-se analisar os dados em separado por tipo de acidentes de trânsito, visando determinar outros modelos. Nesses modelos, além de verificar a influência que o VDMA possui em acidentes de trânsito do tipo atropelamento (pedestres) ou/e colisões (veículos) será possível investigar a influência de outras variáveis explicativas, como presença ou ausência de canteiro central, parada de ônibus, faixa de pedestres, tipo de interseção (em T, Y, +, rotatória).

Finalmente, dado os recentes estudos realizados no PPGT referentes a fatores contribuintes de acidentes ocorridos em rodovias inseridas em áreas urbanas, futuros estudos visando a elaboração de MPAs para este tipo de via são recomendados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aty, M. A e Wang, X. (2007) Investigation of Signalized Intersection Right-Angle Crash Occurrence at Intersection, Roadway, and Approach Levels. Paper presented at the 84 Annual Meeting of the TRB, Washington, D. C..
- Barbosa, H. M. e Costa, T. G. (2011) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias urbanas de Belo Horizonte. ANPET, 2011. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2011/451_AC.pdf> Acesso em: 17 fev. 2012.
- Blog 100% Ceilândia. Disponível em: < <http://100porcentoceilandia.blogspot.com.br>> Acesso em: 17 jan. 2011.
- Brude, U.; Larson, J. (1993) Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclist are involed. How well do they fit? – Accident Analysis and Prevention, Vol. 25, nº. 5, p. 499-509.
- Cunto, F. J. C. (2009) Projeto de Pesquisa: Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias urbanas Brasileiras – Edital MCT/CNPq 18/2009 – UFC - Fortaleza - CE.
- Cunto, F. J. C. e Nodari, C. T. (2011) Aspectos conceituais sobre o desenvolvimento de modelos de Previsão de acidentes de trânsito. ANPET, 2011.
- Cunto, F. J. C., Neto, M. M. de C. e Barreira, D. S. (2011) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. ANPET, 2011. Disponível em:<http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2011/218_AC.pdf> Acesso em: 17 fev. 2012.
- CODEPLAN (2007) Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br>> Acesso em: 17 maio 2011.

Demétrio, C. G. B e Cordeiro, G. M. (2008) Modelos Lineares Generalizados e Extensões. Disponível em: <<http://verde.esalq.usp.br/~jorge/cursos/clarice/livro.pdf>> Acesso em: 11 fevereiro 2012.

DENATRAN (2007) Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito - Brasil – 2008. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.

DETRAN-DF (2009) Departamento Estadual de Trânsito do Distrito Federal. Anuário Estatístico sobre acidentes de trânsito (2006 a 2010).

_____ (2010) Departamento Estadual de Trânsito do Distrito Federal. Informações sobre acidentes de trânsito.

_____ (2011) Departamento Estadual de Trânsito do Distrito Federal. Informações sobre acidentes de trânsito.

DNIT (2005) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DF. Disponível em:<http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_projeto_de_intersecoes_versao_final.pdf> Acesso em:13 fev. 2012.

Ferraz, A. C. P., Raia Junior, a. A. ; Bezerra, Barbara Stolte (2008). Segurança no Trânsito. São Carlos: NEST.

GDF (2009) Governo do Distrito Federal, Brasília – DF. Disponível em: <http://www.df.gov.br/> Acesso em: 07 fev. 2011.

_____ (2011) Governo do Distrito Federal, Brasília – DF. Disponível em: <http://www.df.gov.br/> Acesso em: 03 mar. 2011.

Gomes, S. C. G. V. (2010) Avaliação da Influência da Infraestrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano. Tese de Doutorado, Publicação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra – Portugal, 404 Pg.

Googe Earth (2011)

- Greibe, P.(2003) Accident Prediction Models for Urban Roads. Em: Accident Analysis and Prevention, 35, Dinamarca, p.273-285.
- Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E. , Hughes, W. E., e Vogt, A. (2000) Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways, Federal Highway Administration, Final Report, FHWA-RD-99-207.
- Hauer, E. (2004) Statistical Road Safety Modeling. Transportation Research Record No. 1897, pp. 81-87.
- IBGE (2010) Censo 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>>. Acesso em: 07 abr. 2011.
- Leden, L. (2002) Pedestrian Risk decreases with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. Em: Accident Analysis and Prevention Vol 34, p. 457-464.
- Lord, D. e Park, P. Y. J. (2008) Investigating the effects of the fixed and varying dispersion parameters of Poisson-gamma models on empirical Bayes estimates.
- Lord, D. e Persaud, B. N. (2000) Accident prediction models with and without trend. Application of the generalized estimating equations procedure – Em: Transportation Research Record 1717, p. 102-108.
- Maher, M. J. e I. Summersgill (1996) A Comprehensive Methodology for the Fiting of Predictive Accident Models – Accident Analysis and Prebention, Reino Unido, v. 28, n. 3 p. 281-296.
- Maycook, G. e Hall, R. D. (1984) Accidents at 4-Arm Roundabouts. TRL1120, Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Crowthorne, Ingraterra.
- Ministério da Saúde (2010) Ministério da Saúde, Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br/portal/saude/default.cfm>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

_____(2009) Ministério da Saúde, Brasília, DF.

Mota, G. G. e Silva, A. R. (2012), Previsão, por meio de técnicas de series temporais e imputação de dados, do volume total de veículos em interseções de Taguatinga para o ano de 2012. UnB – Departamento de Estatística. Brasília/DF.

Mota, G. G., Silva, A. R. e Jacques, M. A. P. (2012), Base de dados dos equipamentos de fiscalização eletrônica. UnB – Programa de Pós-graduação em Transportes e Departamento de Estatística. Brasília/DF. Não Publicado.

Mountain, L. e B. Fawaz (1996) Estimating Accidents at Junctions Using Routinely-Available Input Data – *Traffic Engineering & Control*, 37 (11), p. 624-628.

Nelder e Wedderburn (1972) Estimating Accidents at Junctions Using Routinely-Available Input Data – *Traffic Engineering & Control*, 37 (11), p. 624-628.

OMS (2009) Organização Mundial da Saúde. Disponível em: < <http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 24 abr. 2011.

Pan, W. (2001) Akaike's Information Criterion in Generalized Estimating Equations. *Biometrics* 57, pp. 120-125.

Resende, M. D. V de e Biele, J. (2002) Estimação e predição em modelos generalizados mistos com variáveis binomiais. *Rev. Mat. Estat.*, São Paulo, 20: 39-65.

Sayed, T. e Rodriguez, F. (1999) – Accident prediction models for urban unsignalized intersections in British Columbia – Em: *Transportation Research Record* 1665, p. 93-99.

SETUR (2011) Secretaria de Turismo do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.setur.df.gov.br/>> Acesso em: 2 mar. 2011.

Venezuela, M. K. (2008) – Equação de estimação generalizada e influência local para modelos de regressão beta com medidas repetidas. Tese de Doutorado - USP.

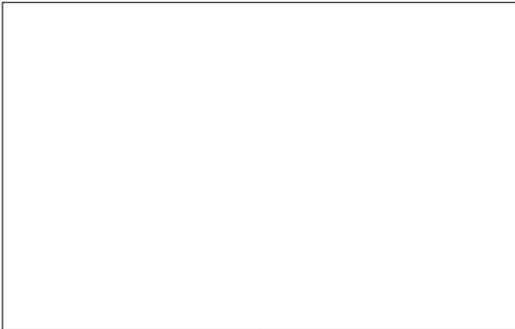
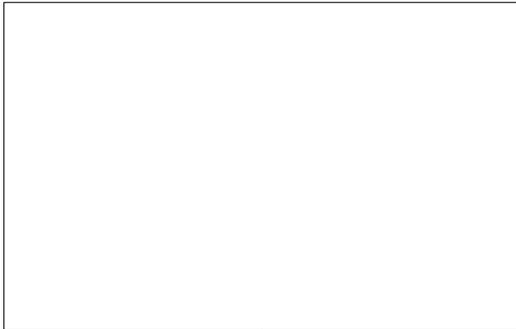
APÊNDICES

APÊNDICE I - Caracterização da Interseção

CARACTERIZAÇÃO DA INTERSEÇÃO

ENDEREÇO: _____

1- Registro fotográfico:
• 12 fotos de cada interseção (sendo 4 mostrando a interseção; 8 mostrando a quadra em que a interseção está inserida).

	
↓ Interseção no mapa (DETRAN)	↓ Interseção com alteração

2- Características da área lindeira:

- Está inserida em área: () Residencial () Comercial () Mista.
Se comercial, a maioria das empresas são de: () Grande porte () Médio porte () Pequeno porte
- A interseção é: () Semaforizada () Não semaforizada
- Possuem quantas faixas por pista? () Pista simples (uma faixa para cada sentido) () 2 () 4 () 6
- Há canteiro central? () Sim () Não
- Há parada de ônibus próxima a interseção? () Sim () Não
- Há faixa de pedestre? () Sim () Não
- Há faixa de retenção? () Sim () Não
- A sinalização horizontal está visível? () Sim () Não
- Há sinalização vertical? () Sim () Não
Se sim, está em qual estado? () Visível () Encoberta pela vegetação () Deteriorada pela ação da natureza () Pichada
- Há defeitos no pavimento próximo a interseção? () Sim () Não
Se sim, quais? () Panelas (buracos) () Trincas () Trilha de roda () Outros

3- Volume – Equipamentos de Fiscalização:

- Há Equipamentos de Fiscalização? () Sim () Não

Se sim, quais e seus dados sobre volume foram obtidos a partir de quando?

APÊNDICE II - Registro Fotográfico

Registro Fotográfico 1: Via M4 x Rotatória 1 – Conj. G QNM 40 _____	109
Registro Fotográfico 2: Via M4 x QNM 38 – Conj. E _____	110
Registro Fotográfico 3: Via M4 x Rotatória 2 – Conj. M QNM 36 _____	111
Registro Fotográfico 4: Via M4 x Retorno _____	112
Registro Fotográfico 5: Via M4 x Av. Hélio Prates _____	113
Registro Fotográfico 6: Av. Hélio Prates x Próximo ao Cemitério _____	114
Registro Fotográfico 7: Av. Hélio Prates x Bradesco _____	115
Registro Fotográfico 8: Av. Hélio Prates x Assembléia de Deus _____	116
Registro Fotográfico 9: Av. Hélio Prates x Av. Sandú _____	117
Registro Fotográfico 10: Av. Hélio Prates x Av. Comercial _____	118
Registro Fotográfico 11: Av. Hélio Prates x QNG 10-9 _____	119
Registro Fotográfico 12: Av. Hélio Prates x QNG 58 _____	120
Registro Fotográfico 13: Av. Comercial x QNG 35 _____	121
Registro Fotográfico 14: Av. Comercial x QNG 30 _____	122
Registro Fotográfico 15: Av. Comercial x QNE 17 _____	123
Registro Fotográfico 16: Av. Comercial x QND 01 – QND 54 _____	124
Registro Fotográfico 17: Av. Comercial x QNB 11-12 _____	125
Registro Fotográfico 18: Av. Comercial x QNA 16-17 _____	126
Registro Fotográfico 19: Av. Comercial x Av. das Palmeiras _____	127
Registro Fotográfico 20: Av. Comercial x Av. Central _____	128
Registro Fotográfico 21: Av. Comercial x CSB 5-6 (Super Maia) _____	129
Registro Fotográfico 22: Av. Comercial x CSB 9 (Colégio Marista) _____	130
Registro Fotográfico 23: Av. Central x C02 _____	131
Registro Fotográfico 24: Av. Sandú x QNE 25-24 _____	132
Registro Fotográfico 25: Av. Sandú x QNB Conj. 15 (Centro Educ. Taguatinga) _____	133
Registro Fotográfico 26: Av. Sandú x QNB 11 _____	134
Registro Fotográfico 27: Av. Sandú x QNB 7 _____	135
Registro Fotográfico 28: Av. Sandú x Conj. 2 (Clínica São Francisco) _____	136
Registro Fotográfico 29: Av. Sandú x QSB 09 – QSC 18 _____	137
Registro Fotográfico 30: Av. Elmo Serejo x Via LN 18 _____	138
Registro Fotográfico 31: Av. Elmo Serejo x Via LJ 2 _____	139
Registro Fotográfico 32: Av. Elmo Serejo x Via LN 29 _____	140
Registro Fotográfico 33: Via de Ligação x Av. Elmo Serejo _____	141

Registro Fotográfico 1: Via M4 x Rotatória 1 – Conj. G QNM 40

VIA ARTERIAL

- Interseção tipo rotatória
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

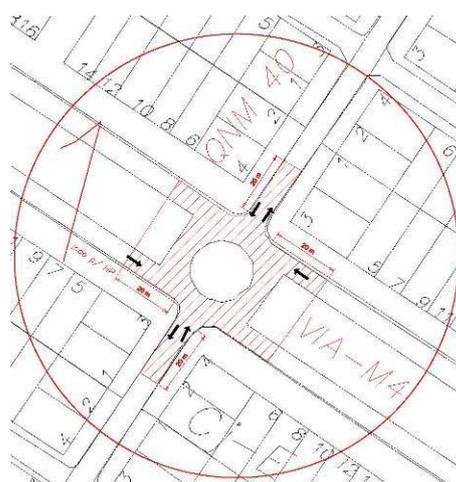
VIA LOCAL

- Interseção tipo rotatória
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Via M4



Via M4 - rotatória 1



Setor de Oficinas



Via M4

Registro Fotográfico 2: Via M4 x QNM 38 – Conj. E

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim

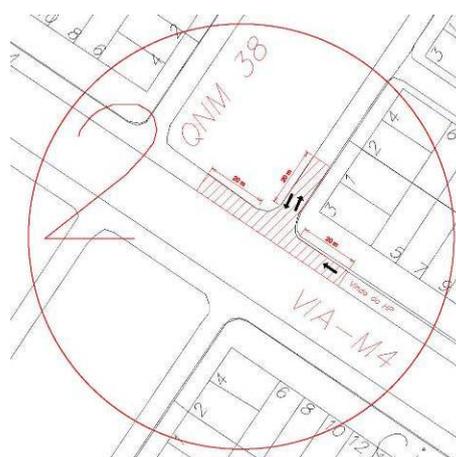
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. M4 x QNM 38



QNM 38



Av. M4



Av. M4

Registro Fotográfico 3: Via M4 x Rotatória 2 – Conj. M QNM 36

VIA ARTERIAL

- Interseção tipo rotatória
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

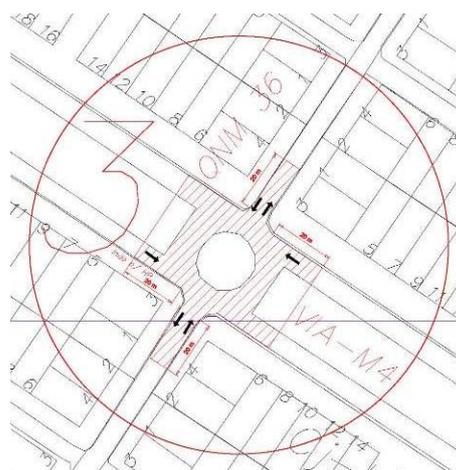
VIA LOCAL

- Interseção tipo rotatória
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Rotatória 2



Via M4



Rotatória 2x Via M4



Rotatória 2

Registro Fotográfico 4: Via M4 x Retorno

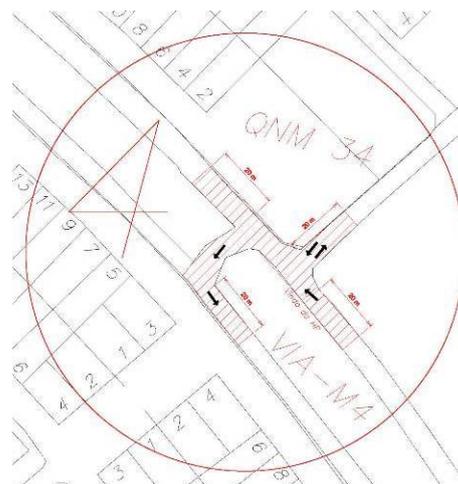
VIA ARTERIAL

- Interseção tipo retorno
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Via M4 - retorno



Via M4



Via M4 indo para Hélio Prates



Via M4

Registro Fotográfico 5: Via M4 x Av. Hélio Prates

VIA ARTERIAL – Av. M4

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 132 e AVS 131

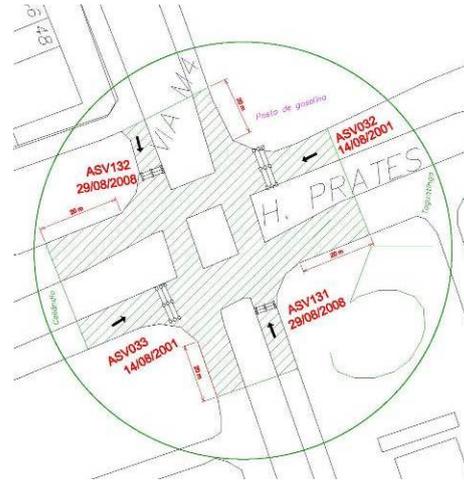
VIA ARTERIAL – Av. Hélio Prates

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 033 e AVS 032

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. H. Prates x Via M4 (ramo 1)



Av. H. Prates x Via M4 (ramo 2)



Av. H. Prates x Via M4 (ramo 3)



Av. H. Prates x Via M4 (ramo 4)

Registro Fotográfico 6: Av. Hélio Prates x Próximo ao Cemitério

VIA ARTERIAL

- Interseção tipo “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Sim
- AVS 016

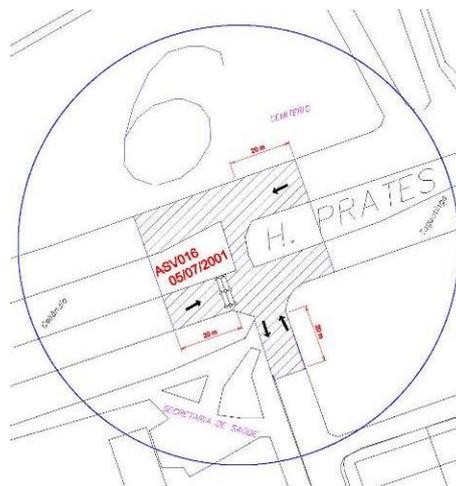
VIA LOCAL

- Interseção “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

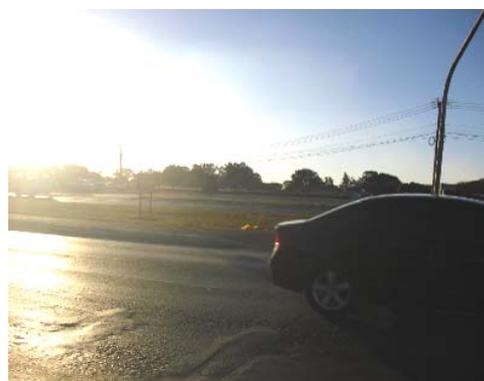
REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. H. Prates (interseção)



Av. H. Prates (ramo 1)



Av. H. Prates (ramo 2)



Av. H. Prates (ramo 3)

Registro Fotográfico 7: Av. Hélio Prates x Bradesco

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip Fiscalização: Não

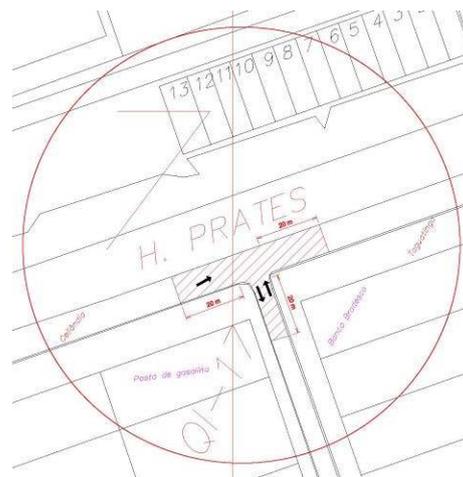
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip Fiscalização: Não

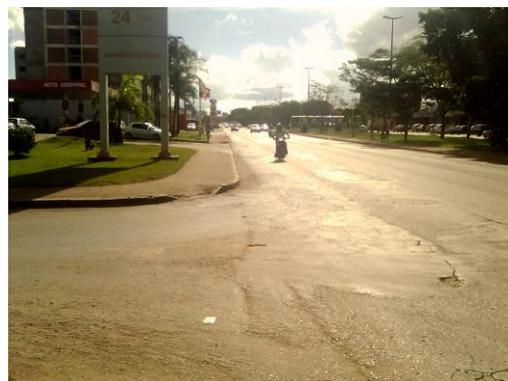
REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. HP x esquina do Bradesco



Av. H. Prates



Interseção 7



Via secundária

Registro Fotográfico 8: Av. Hélio Prates x Assembléia de Deus

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Sim
- AVS 034 e AVS 035

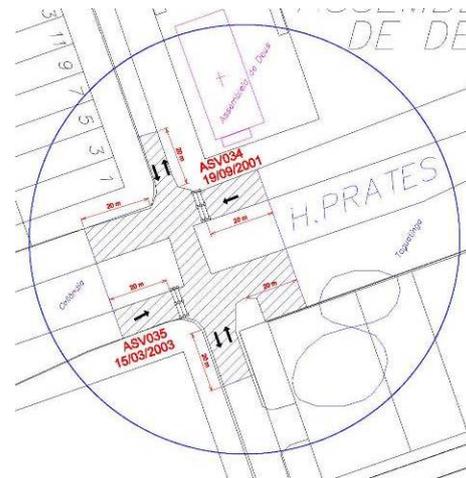
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. H. Prates x QI 10



QI 10 (ramo 1)



Av. H. Prates



Av. H. Prates x QI 10 (ramo 4)

Registro Fotográfico 9: Av. Hélio Prates x Av. Sandú

VIA ARTERIAL – Av. Hélio Prates

- Interseção em “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 063 -09/03/2002

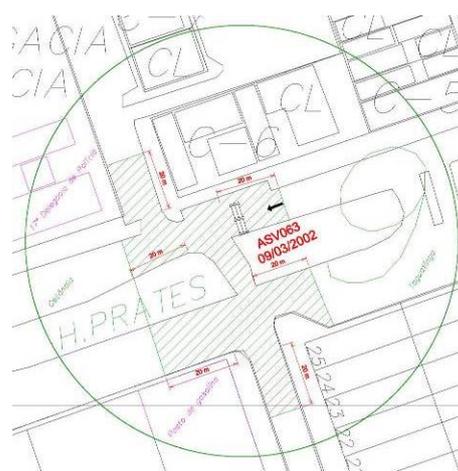
VIA ARTERIAL – Av. Sandú

- Interseção em “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Hélio Prates (ramo 1)



Av. Sandú (ramo 2 – posto de gasolina)



Av. Hélio Prates (ramo 3)



Av. Sandú x Av. Hélio Prates

Registro Fotográfico 10: Av. Hélio Prates x Av. Comercial

VIA ARTERIAL – Av. Hélio Prates

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 015 -05/07/2001

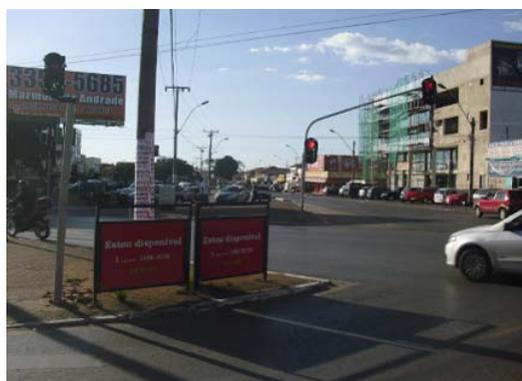
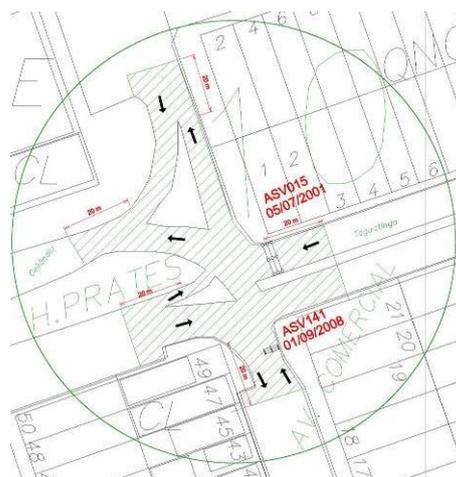
VIA ARTERIAL – Av. Comercial

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 141 - 01/09/2008

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



Av. Hélio Prates (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



Av. Hélio Prates (ramo 4)

Registro Fotográfico 12: Av. Hélio Prates x QNG 58

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não

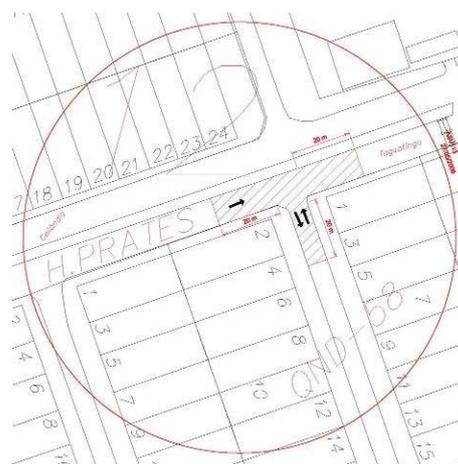
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. H. Prates x QNG 58



Av. H. Prates (ramo 1)



Av. H. Prates (ramo 2)



QNG 58 (ramo 3)

Registro Fotográfico 13: Av. Comercial x QNG 35

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Não

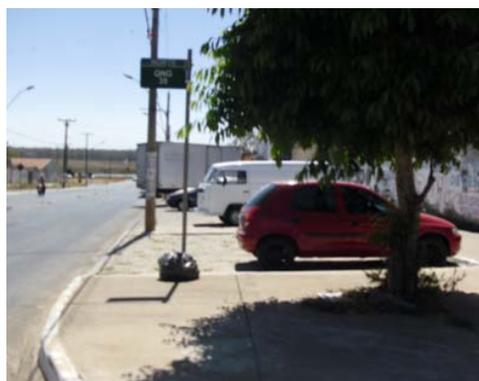
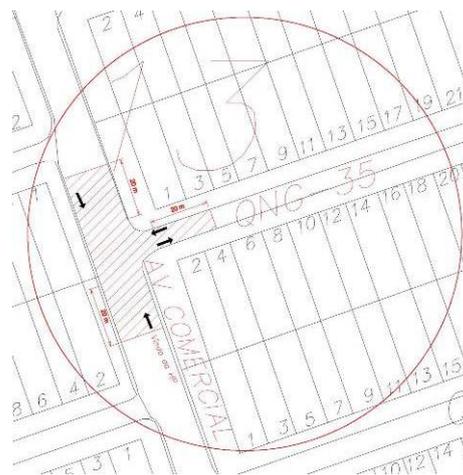
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



QNG 35 (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



Av. Comercial x QNG 35

Registro Fotográfico 14: Av. Comercial x QNG 30

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Não

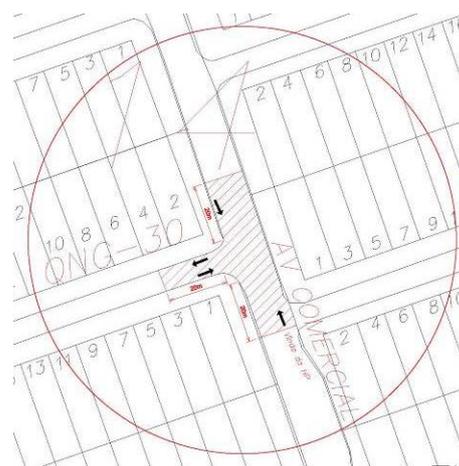
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



QNG 30 (ramo 3)



Av. Comercial

Registro Fotográfico 15: Av. Comercial x QNE 17

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada: Sim
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Sim
- AVS 093 e AVS 092

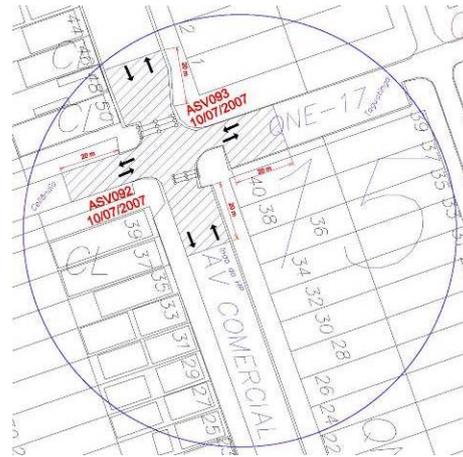
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada: Sim
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



QNE 17 (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



QNE 17 (ramo 4)

Registro Fotográfico 16: Av. Comercial x QND 01 – QND 54

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

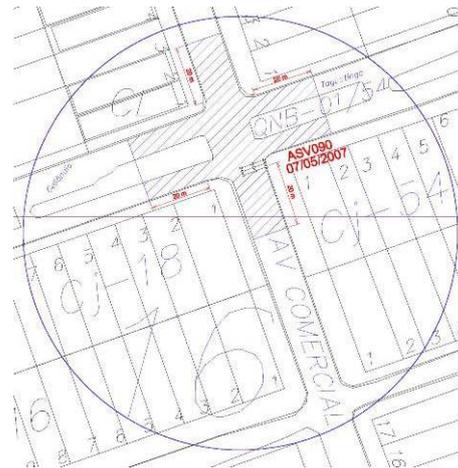
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



QNE x Av. Comercial (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



QND 54 (ramo 3)



Av. Comercial (ramo 2)

Registro Fotográfico 17: Av. Comercial x QNB 11-12

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

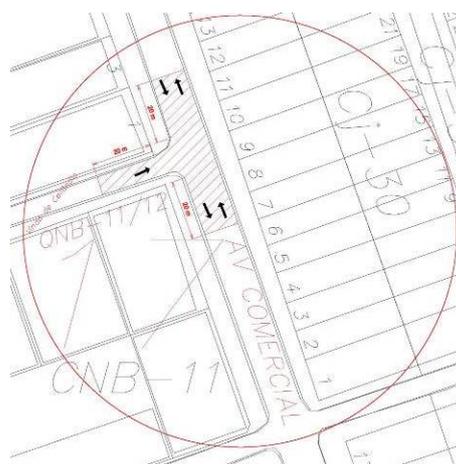
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



QNB 11 – 12 (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



Av. Comercial x QNB 11-12

Registro Fotográfico 18: Av. Comercial x QNA 16-17

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 094 – 9/5/2007

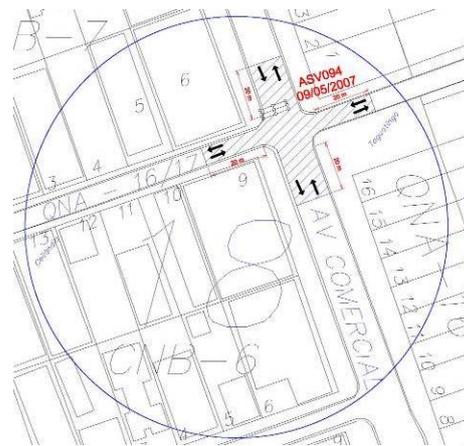
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



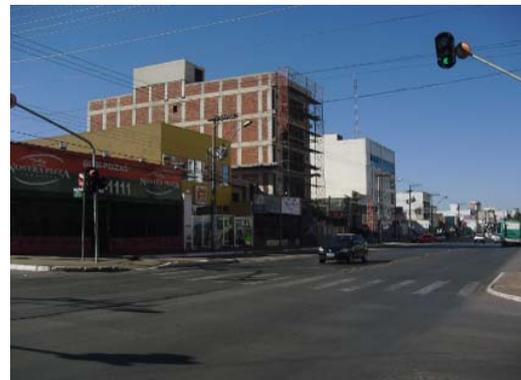
QNB 4 – 5 (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



QNA 16 (ramo 3)



Av. Comercial (ramo 4)

Registro Fotográfico 19: Av. Comercial x Av. das Palmeiras

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 014 -04/07/2001

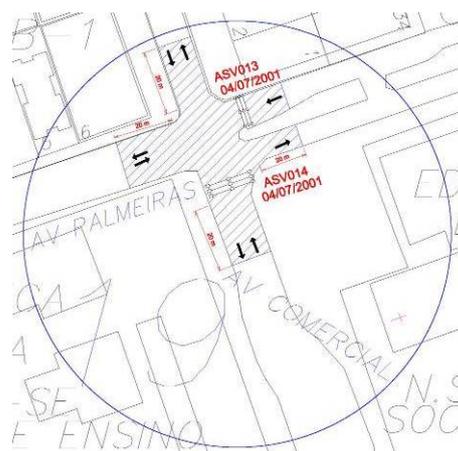
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 013 -04/07/2001

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



Av. das Palmeiras (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



Av. das Palmeiras (ramo 4)

Registro Fotográfico 20: Av. Comercial x Av. Central

VIA ARTERIAL – Av. Comercial

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 135 -18/03/2009 e AVS 117 - 02/09/2008

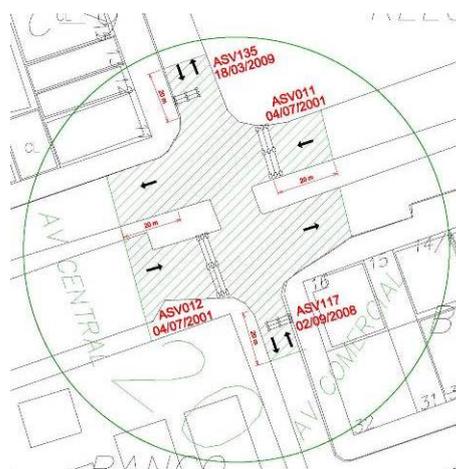
VIA ARTERIAL – Av. Central

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 011 -04/07/2001 e AVS 012 - 04/07/2001

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Comercial (ramo 1)



Av. Central (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)



Av. Central (ramo 4)

Registro Fotográfico 21: Av. Comercial x CSB 5-6 (Super Maia)

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

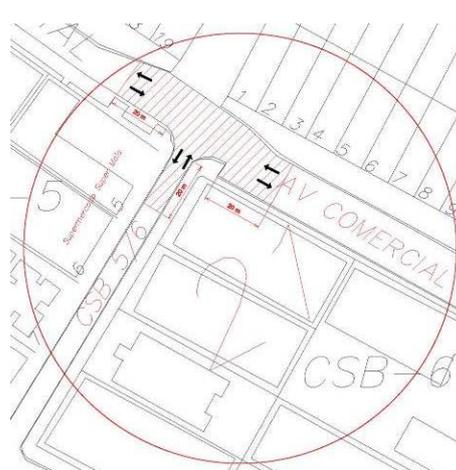
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



CSB 06 (ramo 1)



CSB 05 (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



Av. Comercial (ramo 3)

Registro Fotográfico 22: Av. Comercial x CSB 9 (Colégio Marista)

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- ASV 079 – 4/5/2002

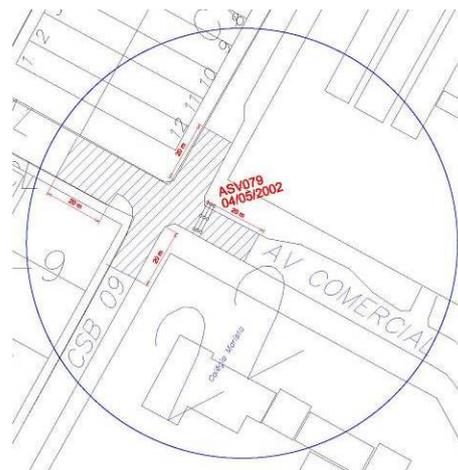
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



QSB 09 - Marista (ramo 1)



Av. Comercial (ramo 2)



QSA 24 - Centro de Ensino 03 (ramo 3)



Av. Comercial (ramo 4)

Registro Fotográfico 23: Av. Central x C02

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

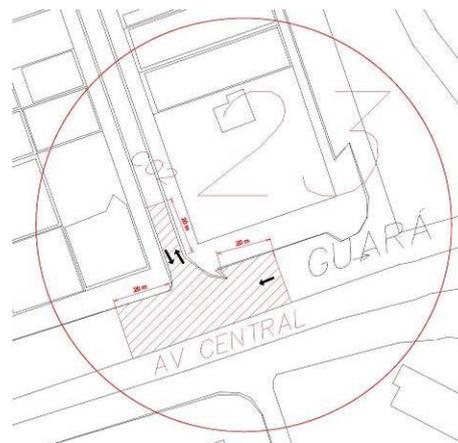
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



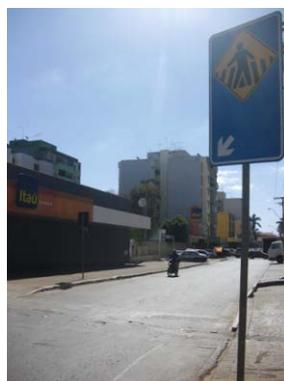
Vista superior da interseção.



Av. Central (ramo 1)



Av. Central (ramo 2)



C-02 (ramo 3)



C-02 (ramo 3)

Registro Fotográfico 24: Av. Sandú x QNE 25-24

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

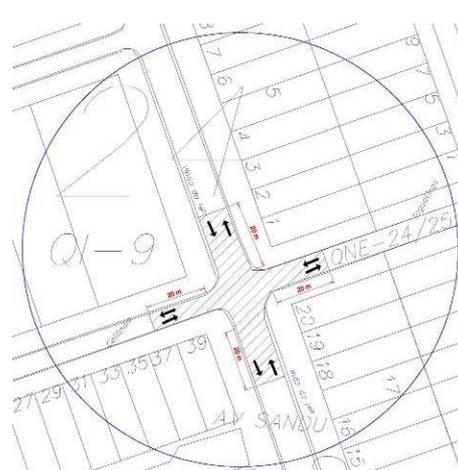
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



QI 09 (ramo 1)



Av. Sandú (ramo 2)



QNE 25 - 24 (ramo 3)



Av. Sandú (ramo 4)

Registro Fotográfico 25: Av. Sandú x QNB Conj. 15 (Centro Educ. Taguatinga)

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforzada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

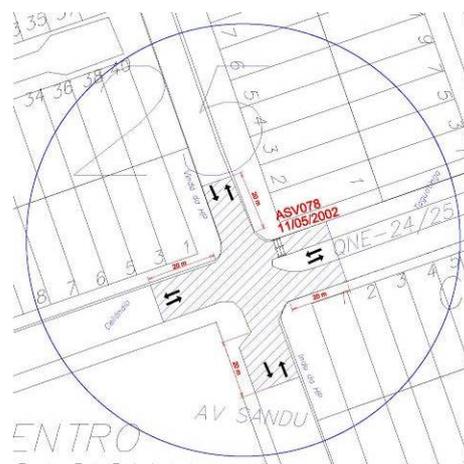
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforzada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 078 - 11/05/2002

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



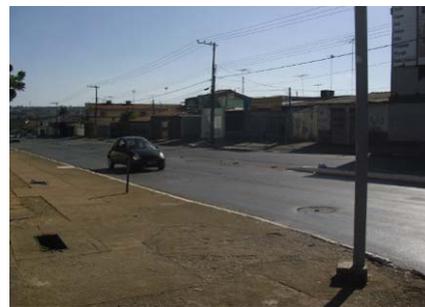
Av. Sandú (ramo 1)



QNB Conj. 15 (ramo 2)



Av. Sandú (ramo 3)



QNB Conj. 15 (ramo 4)

Registro Fotográfico 26: Av. Sandú x QNB 11

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

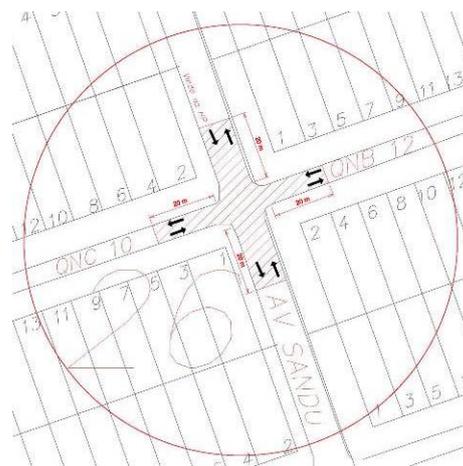
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



QNC 10x Av. Sandú (ramo 1)



Av. Sandú (ramo 2)



QNB 11 (ramo 3)



Av. Sandú (ramo 4)

Registro Fotográfico 27: Av. Sandú x QNB 7

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 091 -03/05/2007

VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada: Sim
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Sandú (ramo 1)



QNB 07 (ramo 2)



Av. Sandú (ramo 3)



QNB 07 (ramo 4)

Registro Fotográfico 28: Av. Sandú x Conj. 2 (Clínica São Francisco)

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Sim
- AVS 138 -08/02/2003 e AVS 139 - 09/09/2008

VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Sandú x CSB 02



Av. Sandú (ramo 1)



CSB 02 (ramo 2)



Av. Sandú (ramo 3)

Registro Fotográfico 29: Av. Sandú x QSB 09 – QSC 18

VIA ARTERIAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

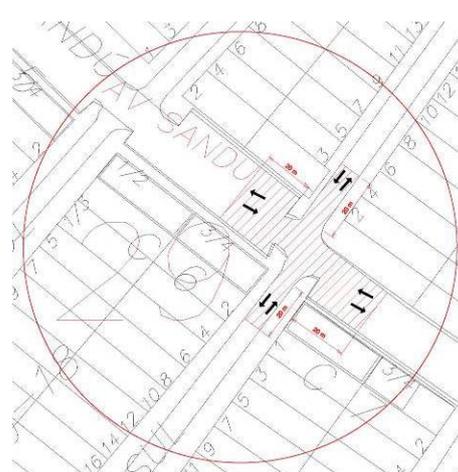
VIA LOCAL

- Interseção em “+”
- Semaforizada
- Área lindeira: Mista
- Canteiro Central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Sandú (ramo 1)



Av. Sandú (ramo 2)



QSB 09 (ramo 3)



Interseção

Registro Fotográfico 30: Av. Elmo Serejo x Via LN 18

VIA ARTERIAL

- Interseção em “Y”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

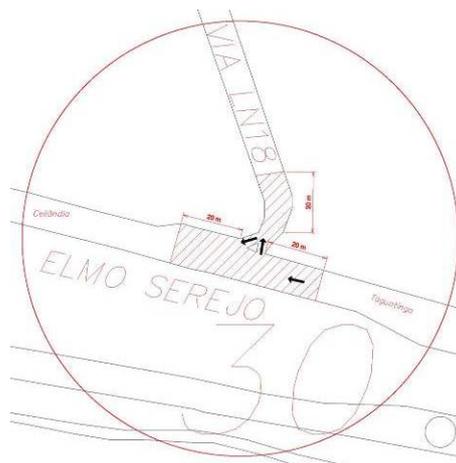
VIA LOCAL

- Interseção em “Y”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Residencial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Sim
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Elmo Serejo x LN 18



LN 18



Av. Elmo Serejo



Av. Elmo Serejo

Registro Fotográfico 31: Av. Elmo Serejo x Via LJ 2

VIA ARTERIAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

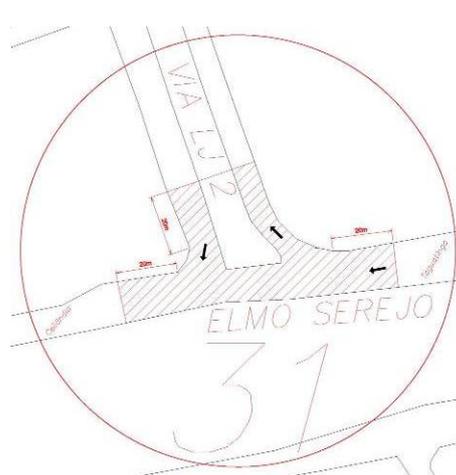
VIA LOCAL

- Interseção em “T”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Sim
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Av. Elmo Serejo x Via LJ 2



Via LJ 2 (ramo 2)



Via LJ 2 (ramo3)



Av. Elmo Serejo x Via LJ 2

Registro Fotográfico 32: Av. Elmo Serejo x Via LN 29

VIA ARTERIAL

- Interseção em “Y”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

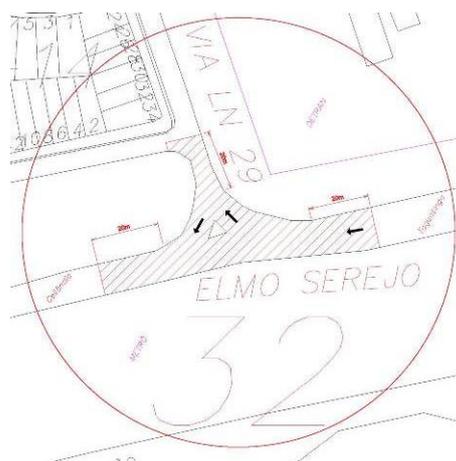
VIA LOCAL

- Interseção em “Y”
- Não semaforizada
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Não
- Parada de ônibus: Não
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Não

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Via LN 29



Av. Elmo Serejo x Via LN 29 (ramo 2)



Via LN 29 (ramo 2)



Av. Elmo Serejo (ramo 3)

Registro Fotográfico 33: Via de Ligação x Av. Elmo Serejo

VIA ARTERIAL

- Atualmente é um viaduto
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro Central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Sim
- Desligados

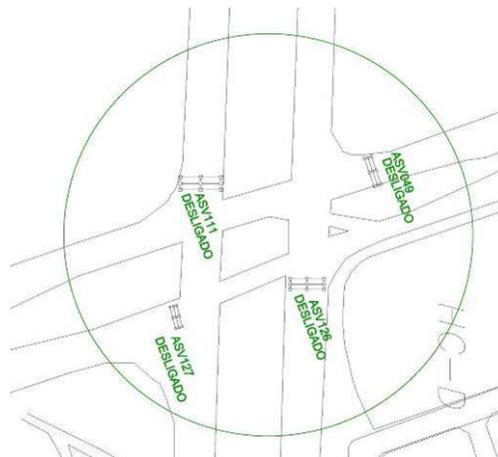
VIA LOCAL

- Atualmente é um viaduto
- Área lindeira: Comercial
- Canteiro central: Sim
- Parada de ônibus: Sim
- Faixa de pedestre: Não
- Equip. Fiscalização: Sim
- Desligados

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Vista superior da interseção.



Taguatinga - Ceilândia



Viaduto



Indo em direção a Ceilândia.



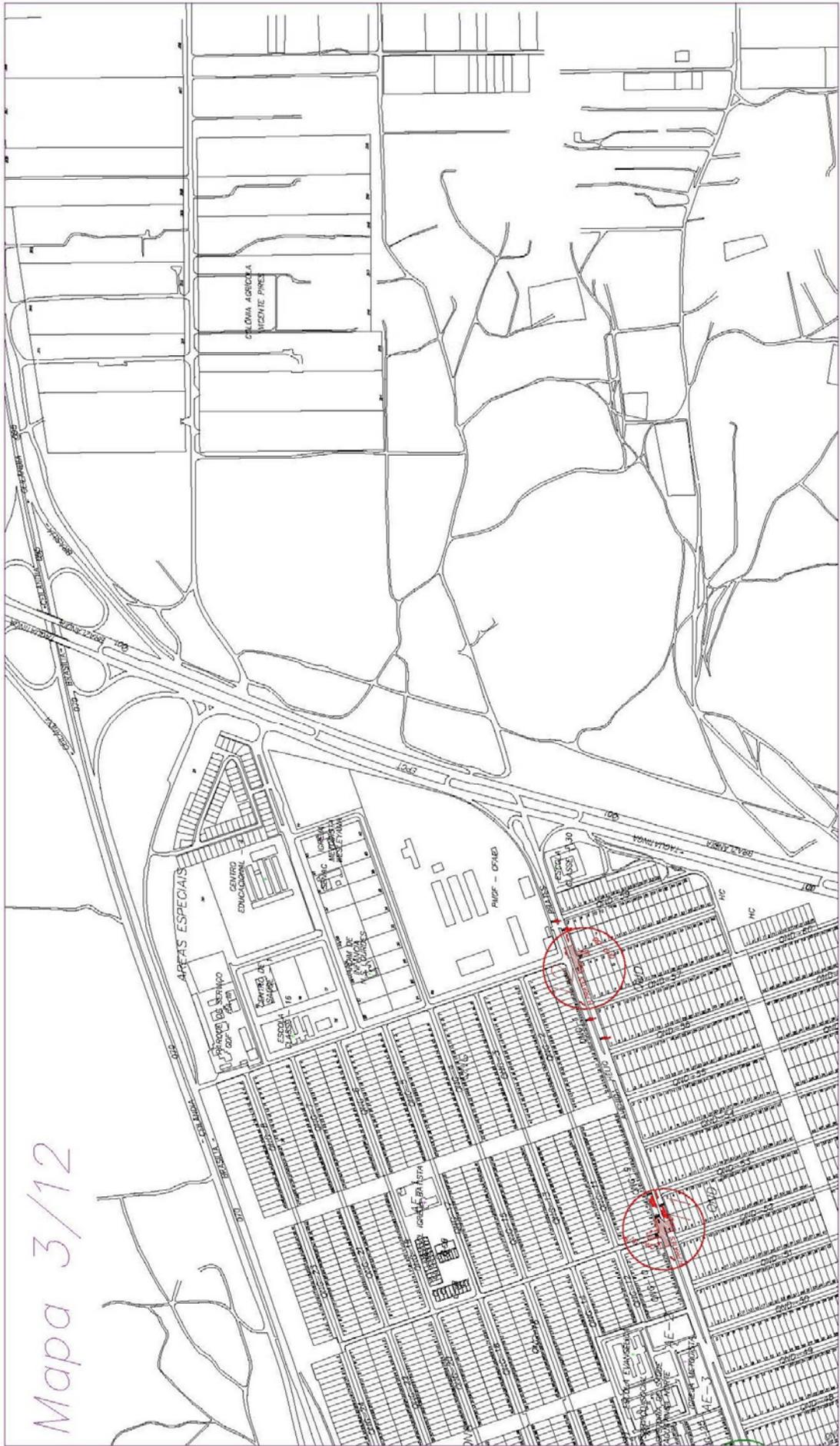
Viaduto

APÊNDICE III – Mapas de Localização das Interseções

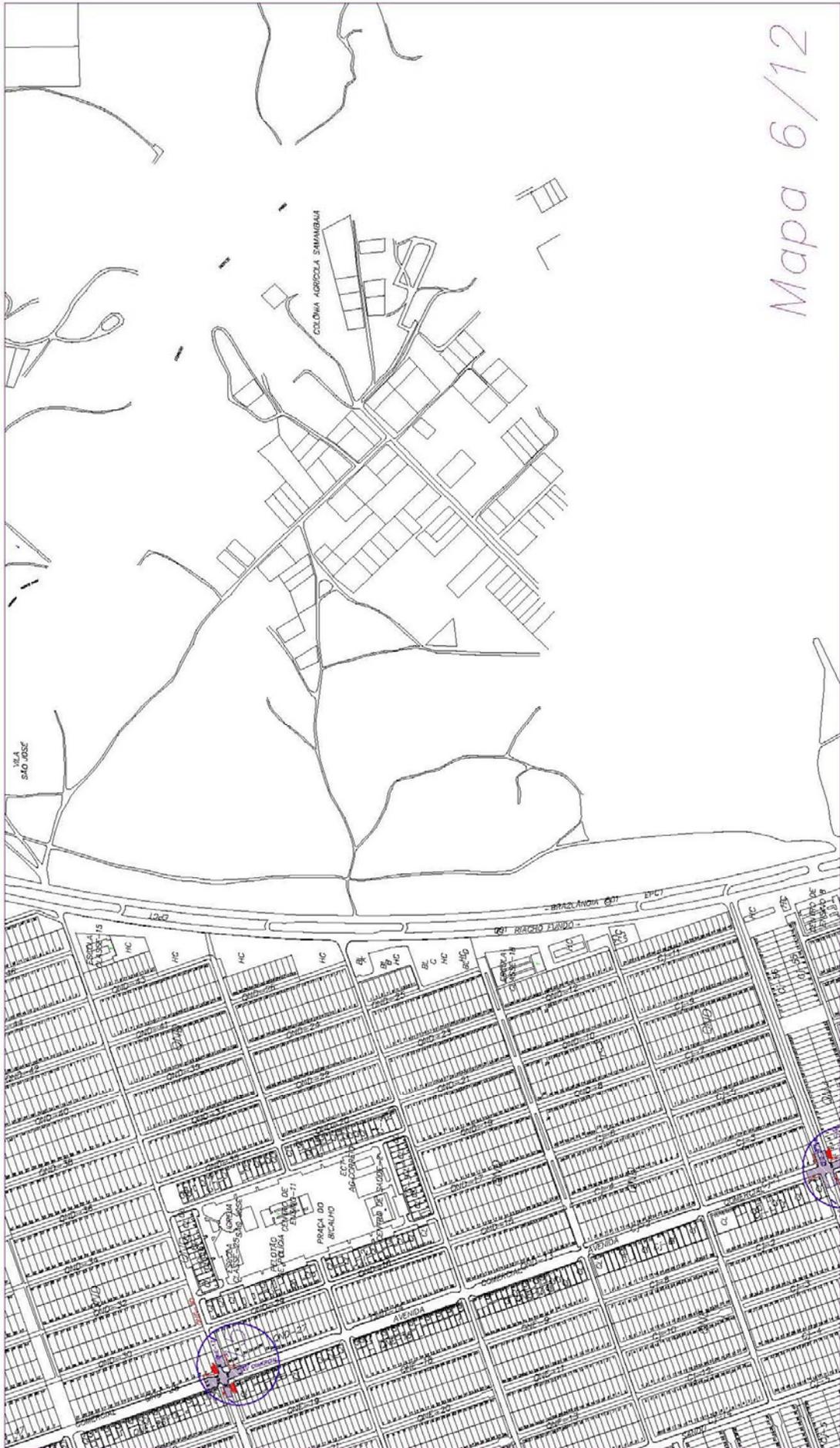




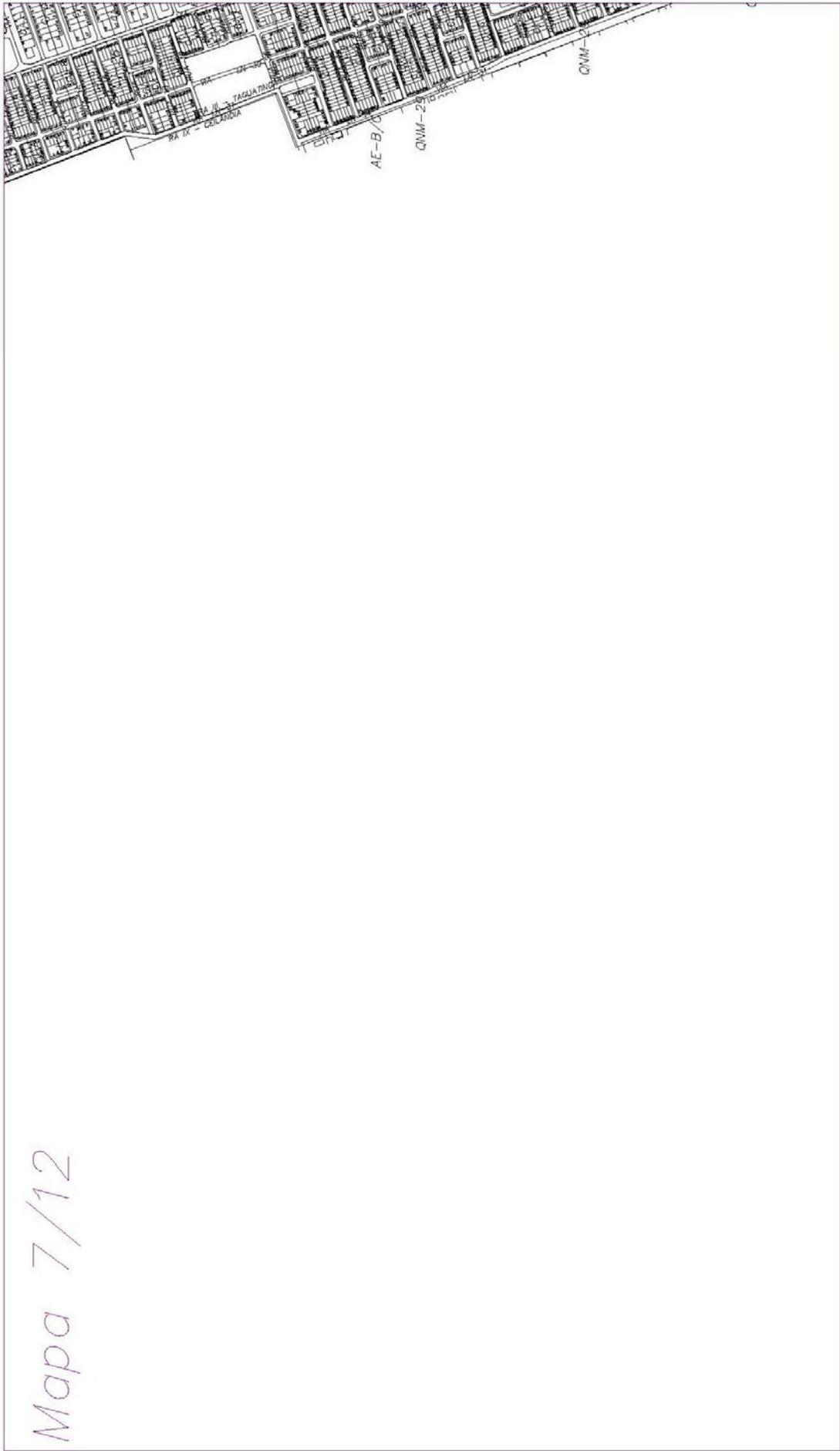




Mapa 3/12



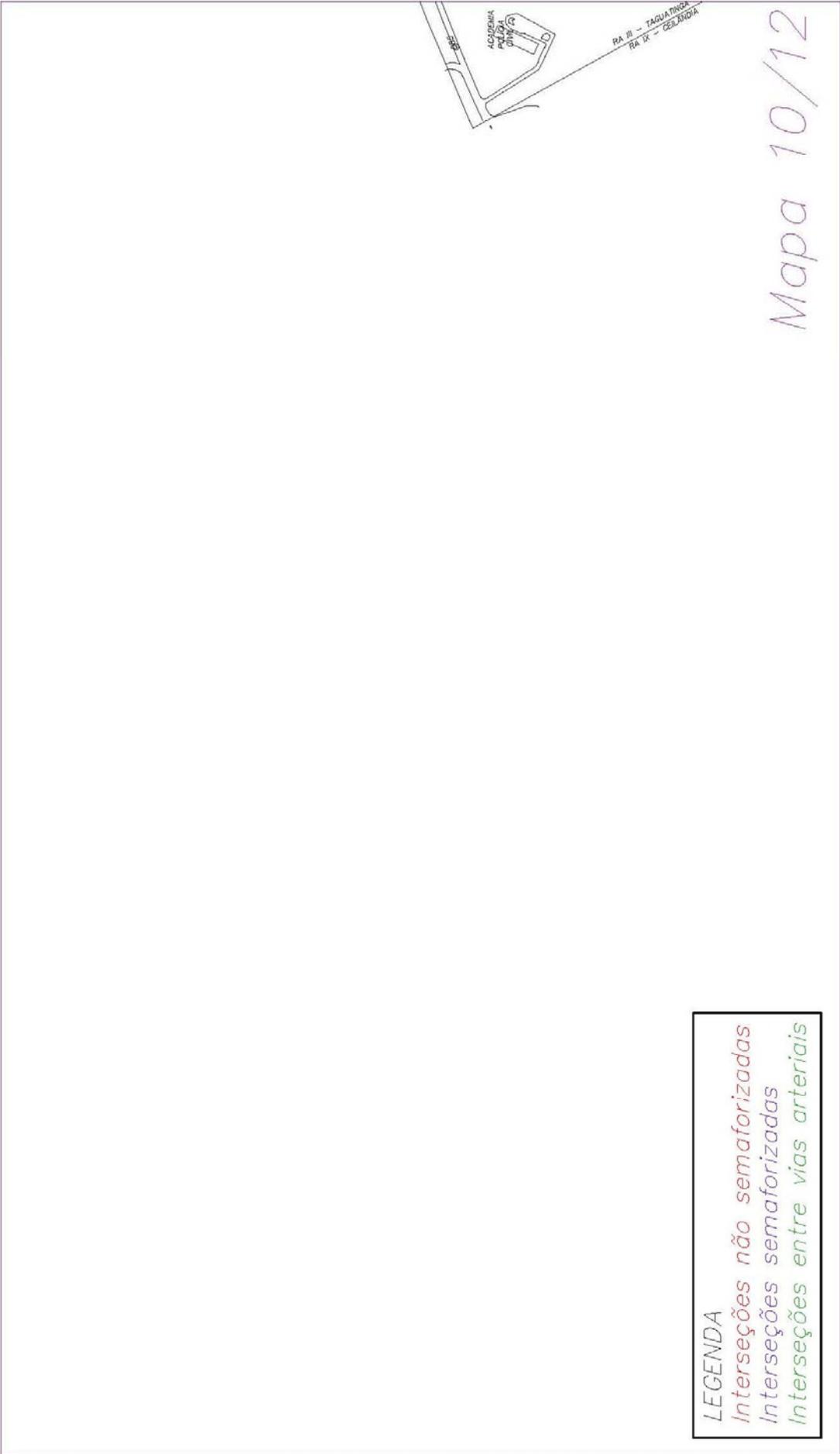
Mapa 6/12





MODELO MUNICIPAL DE FAGUATUNGA

Mapa 8/12



Mapa 10/12

LEGENDA
Interseções não semaforizadas
Interseções semaforizadas
Interseções entre vias arteriais

ANEXOS

ANEXO A– Método de Imputação de Dados

O procedimento de imputação descrito aqui foi extraído de Mota e Silva (2012) e foi aplicado com os seguintes objetivos:

- estimar valores de fluxos horários para o caso da não ocorrência de registros em determinados horários (*missing values* na base original); e
- estimar valores de fluxos horários para substituir valores registrados que foram detectados pela análise estatística como abaixo do esperado para o horário (valores discrepantes na base original).

A imputação foi realizada para volumes horários de um determinado dia da semana de um mês específico. Tendo sido realizadas no máximo 03 imputações para um mesmo horário/dia/mês/ano/equipamento. Quando foi necessário mais do que 03 imputações, então não se fez nenhum tratamento nos dados e os volumes horários existentes não foram alterados. No caso de algum desses dados representarem sub-registros e pertencerem a um dia com volumes presentes para todos os horários, teve-se volumes diários calculados sem a devida qualidade.

I. Identificação dos valores a serem imputados pelo método de *Jackknife*

Primeiramente escolhe-se um equipamento e certo dia da semana de um mês em algum ano. Tem-se então n observações para cada horário desse dia. Por exemplo, o mês de agosto de 2011 têm cinco segundas-feiras. Nesse caso $n=5$, pois são cinco observações em cada horário da segunda-feira desse mês naquele ano. Definindo-se x_i como o i -ésimo valor observado para o horário em estudo daquele dia/mês/ano/equipamento (*com $i=1, \dots, n$*), obtém-se a média (Equação A.1) e o desvio-padrão (Equação A.2) desse horário, por meio das equações a seguir:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Equação A.1})$$

$$dp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Equação A.2})$$

Observa-se que os valores faltantes para um determinado dia referente ao horário estudado não são considerados. Ou seja, n é o número de observações disponíveis para o horário considerado.

Em seguida, aplica-se a técnica de *reamostragem de Jackknife* com os seguintes passos:

- I. Determina-se a amostra *Jackknife 1* e calcula sua respectiva média para $X(1) = \{ x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n \}$ (Equação A.3).

$$\bar{X}_{(1)} = \frac{\sum_{i=2}^n x_i}{(n-1)} \quad (\text{Equação A.3})$$

- II. Determina-se a amostra *Jackknife 2* e calcula sua respectiva média para $X(2) = \{ x_1, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n \}$ (Equação A.4).

$$\bar{X}_{(2)} = \frac{x_1 + \sum_{i=3}^n x_i}{(n-1)} \quad (\text{Equação A.4})$$

- III. Determina-se a amostra *Jackknife p* e calcula-se sua respectiva média para $X(p) = \{ x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_{n-1}, x_n \}$ (Equação A.5).

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^{p-1} x_i + \sum_{i=p+1}^n x_i}{(n-1)} \quad (\text{Equação A.5})$$

IV. Determina-se a amostra Jackknife n e calcula-se sua respectiva média para $X(n) = \{x_1, x_2, \dots, x_{n-2}, x_{n-1}\}$ (Equação A.6).

$$\bar{X}_{(n)} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{x_i}{n-1} \quad (\text{Equação A.6})$$

Para cada amostra $X_{(i)}$ de Jackknife, criou-se então, a seguinte função indicadora (Equação A.7)

$$I_1(X_{(i)}) = \begin{cases} 1 & \text{se } \bar{X}_{(i)} > \bar{X} \\ 0 & \text{se } \bar{X}_{(i)} \leq \bar{X} \end{cases} \quad (\text{Equação A.7})$$

Dessa forma, puderam-se separar os conjuntos de dados que tinham as observações com valores menores daquelas com maiores valores.

Sendo C o conjunto formado pela união das amostras de Jackknife, onde $I_1(X_{(i)}) = 1$. Essa união foi arranjada de forma que valores presentes em duas ou mais amostras deveriam estar em C quantas vezes aparecerem em amostras diferentes. Por exemplo, para $n=4$, correspondente a um conjunto sem nenhum valor faltante, tinha-se que:

$$I_1(X_{(1)}) = 1, I_1(X_{(2)}) = 0, I_1(X_{(3)}) = 0 \text{ e } I_1(X_{(4)}) = 1.$$

Sabendo-se que: $X_{(1)} = \{x_2, x_3, x_4\}$ e $X_{(4)} = \{x_1, x_2, x_3\}$, logo: $C = \{x_1, x_2, x_2, x_3, x_3, x_4\}$. Sendo n_i a frequência de x_i presente no conjunto C . Para x_i não pertencente ao conjunto C , atribui-se $n_i = 0$.

Para o exemplo anterior: $n_1 = 1$; $n_2 = 2$; $n_3 = 2$; $n_4 = 1$, definiu-se então que uma segunda variável indicadora poderia ser obtida por (Equação A.8):

$$I_2(n_i) = \begin{cases} 1 & \text{se } n_i > \min(n_i) \text{ e } n_i \neq 10 \\ 0 & \text{se } n_i = \min(n_i) \text{ ou } n_i = 10 \end{cases} \quad (\text{Equação A.8})$$

No exemplo anterior, tem-se $I_2(x_1) = 0$, $I_2(x_2) = 1$, $I_2(x_3) = 1$ e $I_2(x_4) = 0$, pois $\min(n_i) = 1$. Sendo assim, pôde-se escrever que a média (Equação A.9) e o desvio-padrão (Equação A.10) eram:

$$\bar{X}^* = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i \times I_2(n_i)]}{\sum_{i=1}^n I_2(n_i)} \quad (\text{Equação A.9})$$

$$dp^* = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})^2 \times I_2(n_i)]}{[\sum_{i=1}^n I_2(n_i)] - 1} \quad (\text{Equação A.10})$$

Se $\min(n_i) = \max(n_i)$, \bar{X}^* e dp^* não são calculáveis, porque $I_2(x_i) = 0$ para todo (x_i) .

A intenção de determinar-se \bar{X}^* e dp^* é para encontrar uma média e um desvio-padrão do horário em estudo, onde os valores discrepantes (sub-registros) não influenciem. Seja LI um limite inferior, tal que (Equação A.11):

$$LI = \begin{cases} \bar{X}^* - 2 dp^* & \text{se } \bar{X}^* \text{ e } dp^* \text{ existem} \\ \bar{X} - dp & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (\text{Equação A.11})$$

Tal limite é calculado com a finalidade de auxiliar na identificação dos valores que devem ser imputados. Se $x_i < LI$ ou se x_i for uma informação faltante (*missing*) então foi imputado um valor em seu lugar. Caso contrário, foi mantido x_i .

Ressaltasse que, somente foi imputado no máximo três valores para um horário de certo dia/mês/ano/equipamento devido ao fato de que, na maioria das vezes, ter-se apenas quatro ou cinco observações para um determinado horário.

II. Método de imputação

Após identificação dos valores a serem imputados, ordenou-se em ordem crescente (caso haja valores faltantes, esses serão os primeiros da ordem). Criando-se então outra variável indicadora (Equação A.12):

$$I_2(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_i \geq LI \\ 0 & \text{se } x_i < LI \text{ ou } x_i \text{ é um valor faltante} \end{cases} \quad (\text{Equação A.12})$$

Ou seja, imputou-se valores somente para substituir os (x_i) que apresentaram $I_2(x_i) = 0$.

No primeiro valor a ser imputado (o menor), imputou-se o \bar{X} calculado anteriormente. Que é a média de todos os dados observados para aquele horário (Equação A.13):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Equação A.13})$$

No segundo valor, imputou-se a média dos valores que estavam acima do limite inferior (Equação A.14).

$$\bar{X}^{**} = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i \times I_2(x_i)]}{\sum_{i=1}^n I_2(x_i)} \quad (\text{Equação A.14})$$

E para o terceiro e último valor, calculou-se uma média geral novamente (Equação A.15).

$$\bar{X}^{***} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)_{\text{atualizado}}}{n} \quad (\text{Equação A.15})$$

Como os dois menores valores já foram atualizados anteriormente tem-se $\bar{X} \neq \bar{X}^{***}$. Assim, imputaram-se os valores faltantes para estimar, posteriormente, os valores para os volumes diários médios anuais (VDMA) utilizados na presente pesquisa de dissertação.

ANEXO B – Estimativa dos Valores dos Volumes Diários Médios Anuais (VDMA)

I. Estrutura do banco de dados

O banco constava de 29 equipamentos de contagem volumétrica veicular com dados disponíveis por hora, dia, mês e ano, apresentando deficiências, tais como: (i) inexistência de dados registrados para determinados horários de um dia; (ii) inexistência de dados registrados para determinados dias da semana (todos os horários sem dados registrados); (iii) valores observados em determinados horários bastante discrepantes dos registrados para o mesmo dia da semana de um mesmo mês/ano. Sendo necessário o tratamento desses dados.

Mota e Silva (2012) referiram-se ao termo *conjunto* para referir a cada um dos 7 conjuntos formados pelos diferentes dias da semana (domingo a sábado) e *dia* para referir a cada elemento de um determinado conjunto.

II. As etapas do tratamento foram as seguintes:

- Agrupou-se os dados de volumes horários de cada dia em função do dia da semana; e
- Formando-se conjuntos de dias, referentes aos seguintes tipos de dias da semana: 1-Domingo e Feriado; 2-Segunda; 3-Terça; 4-Quarta; 5-Quinta; 6-Sexta; 7-Sábado. O número de elementos de cada conjunto dependeu do mês e ano a que se referia.

III. Construção da base de dados imputada

Aplicar o método de imputação de dados (Apêndice A) para:

- atribuir valores de volumes horários para os casos em que estes volumes não existiam (missings);
- atribuir valores de volumes horários para o caso em que estes volumes estavam fora do que seria esperado para o horário, levando-se em conta o respectivo dia da semana (o conjunto a que pertencia);

Após a imputação, obteve-se dois bancos de dados que foram comparados entre si, para um estudo de consistência [Banco Original (antes da imputação) e Banco Imputado].

IV. Procedimento de limpeza dos bancos de dados

Tendo em posse os dois bancos (Original e Imputado), foi adotados dois procedimentos de limpeza de dados a fim de calcular os fatores de expansão. Dessa forma, foi possível comparar os fatores obtidos a partir de quatro bases de dados distintas:

- a) aplicando o Procedimento 1 no Banco Original e em seguida no Banco Imputado;
- b) assim como o Procedimento 2 em ambos os bancos. Tais procedimentos de limpeza são descritos a seguir:

A. *Procedimento de limpeza 1*

- a) Para cada equipamento, ano e mês, os conjuntos que não tiverem pelo menos um dia com contagem volumétrica em todos os horários foram retirados da base de dados;
- b) Para os dias de cada conjunto com informações para todos os horários foram calculados os volumes diários;

- c) Os volumes diários calculados em (b) foram usados para calcular o volume médio diário do conjunto correspondente;
- d) O volume médio de diário calculado em (c) foi adotado como o valor do volume diário representativo do conjunto;
- e) O volume mensal foi calculado pela soma dos volumes diários representativos de cada conjunto, multiplicados pelo número de dias do conjunto a que se referiam;
- f) Considerando os volumes horários dos dias usados para calcular o volume médio diário de cada conjunto, calculou-se os volumes médios horários correspondentes.

B. *Procedimento de limpeza 2*

- a) Para cada equipamento, ano e mês, os conjuntos que não tiverem todos os dias com contagem volumétrica em todos os horários foram retirados da base de dados;
- b) Para os dias de cada conjunto com informações para todos os horários foram calculados os volumes diários;
- c) Os volumes diários calculados em (b) foram usados para calcular o volume médio diário do conjunto correspondente;
- d) O volume médio diário calculado em (c) foi adotado como o valor do volume diário representativo do conjunto;
- e) O volume mensal foi calculado pela soma dos volumes diários representativos de cada conjunto, multiplicados pelo número de dias do conjunto a que se referem;
- f) Considerando os volumes horários dos dias usados para calcular o volume médio diário de cada conjunto (ver letra b), calcular os volumes médios horários correspondentes.

A diferença entre os dois procedimentos de limpeza encontra-se no item (a). Enquanto no *Procedimento de Limpeza 1* basta que um conjunto tenha um dia com informações completas para todos os horários, para que fosse mantido na base de dados. Enquanto que, no *Procedimento de Limpeza 2* a permanência do conjunto requeria que todos os dias contidos nele estivessem com os volumes horários completos.

Nos dois Procedimentos de limpeza, caso um ou mais conjuntos tenham sido eliminados, o volume mensal calculado em (e) foi um volume subestimado para o mês. Os meses que estiverem nessa situação não foram considerados para efeito da determinação dos fatores de expansão diário (referente a cada conjunto) e mensal (referente ao mês).

A aplicação dos dois procedimentos de limpeza produziu quatro bases de dados, a partir das quais foram calculados os fatores de expansão horário, diário e mensal. Sendo elas: (i) Banco Original - Procedimento 1; (ii) Banco Imputado - Procedimento 1; (iii)

Banco Original - Procedimento 2 e (iv) Banco Imputado - Procedimento 2.

Esperou-se que a base obtida pelo Procedimento de limpeza 2 aplicado no banco imputado (Banco Imputado - Procedimento 2) resultasse na base mais consistente porque somente foram incluídos os dias onde todos os volumes horários foram revisados e ajustados pelo Procedimento de imputação, isto é, tanto os valores nulos como os sub-registros foram eliminados.

No entanto, o uso desta base deve reduzir bastante o número de fatores de expansão diário e mensal que poderiam ser obtidos. A seguir, procedimento usado para atribuição de valores faltantes ou sub-registros é especificado.

V. Método de imputação (ver Apêndice A)

VI. Fator de expansão horária para um determinado para dia/mês/ano/equipamento

Permite a estimativa do volume médio diário para um tipo de dia da semana $d =$ [domingo/feriado, segunda, terça, ..., sábado] a partir de contagens realizadas no período de uma hora $h =$ [0h-1h, 1h-2h, : : : , 23h-24h] (Equação B.1).

$$F_{h(d,m,a)} = \frac{\text{volume médio do dia da semana } d}{\text{volume médio da hora } h \text{ do dia } d} \quad (\text{Equação B.1})$$

Para um determinado mês/ano, tinham-se 168 fatores de expansão horária (24x7). Para um ano, 2016 fatores horários (24 x7 x12).

VII. Fator de expansão diário para um determinado mês/ano/equipamento

Permite a estimativa do volume mensal para um mês $Y =$ [Jan, Fev, ... , Dez] a partir dos valores obtidos para o dia da semana d (Equação B.2).

$$F_{h(d,m,a)} = \frac{\text{volume total do mês } Y}{\text{volume médio do dia da semana } d} \quad (\text{Equação B.2})$$

Para um determinado mês/ano, tinham-se 7 fatores de expansão diária. Para um ano, 84 fatores diários (7x12).

VIII. Fator de expansão mensal para um determinado ano/equipamento

Permite a estimativa do volume anual para um ano $Z =$ [2005, 2006, ... ,2010] a partir dos valores obtidos para o mês Y (Equação B.3).

$$F_{h(d,m,a)} = \frac{\text{volume total do ano } Z}{\text{volume total do mês } Y} \quad (\text{Equação B.3})$$

Os três fatores de expansão foram calculados para cada uma das quatro bases de dados (Banco Original – Procedimento 1, Banco Original - Procedimento 2, Banco Imputado - Procedimento 1 e Banco Imputado - Procedimento 2). Sendo possível a realização da comparação entre as quatro estimativas de volumes mensais e anuais obtidas pela aplicação dos diferentes fatores de expansão.

IX. Comparação entre procedimentos

Uma vez que os dados são assimétricos (não respeitando o critério da normalidade), foram realizados *testes de Wilcoxon* para os quatro bancos resultantes das limpezas a fim de verificar se os procedimentos de limpeza e imputação implicaram em alguma mudança no cálculo dos fatores. Esperou que tais diferenças fossem nítidas para conjunto de dias da semana que originalmente estavam com vários valores faltantes ou sub-registros. Como um auxílio ao teste formal não-paramétrico, analisou-se também gráficos com o objetivo de averiguar visualmente os casos onde os procedimentos se distinguem.

X. Imputação de dados

As Figuras B.1 ilustra a funcionalidade do método de imputação de dados. Os pontos interligados por uma linha vermelha são os dados originais. Enquanto que estão ligados por uma linha azul, representam o conjunto de dados após a execução do método de imputação. Para o equipamento ASV012, nas proximidades do primeiro dia de setembro de 2008 nota-se facilmente como o processo conseguiu capturar e reproduzir a variabilidade do processo ao redor desses dados que, princípio, eram *missings*. Ao longo do tempo, percebe-se também a eficácia do método ao tratar subregistros. Entretanto, como comentado no Apêndice A, o processo não realiza mais que três imputações para um conjunto de dias em certo mês/ano/equipamento.

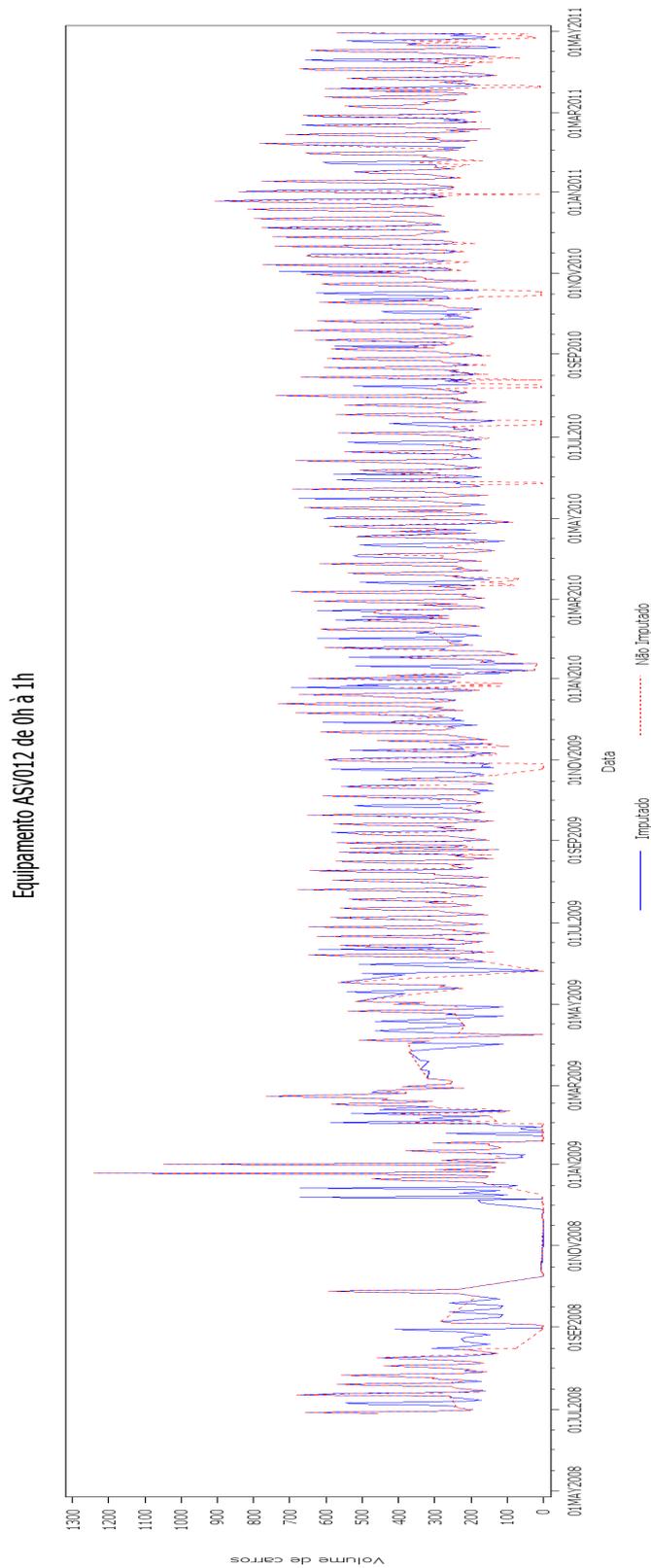


Figura B.1 – Comparação Banco Original e Banco Imputado (Pardal ASV 012) (Fonte: Mota e Silva, 2012)

Com o método de imputação realizado, determinou-se uma lista com os equipamentos eletrônicos que eram menos inconsistentes durante o período de funcionamento. Para gerar

tal lista, foi levado em consideração a quantidade de missings e sub-registros antes da imputação dos dados. Depois de realizada a imputação de dados e a limpeza descrita na foram calculados os fatores de expansão, sendo feitos gráficos para comparação visual entre os métodos de limpeza.

As Figuras B.2 e B.3 apresentam essa comparação para o fator de expansão dia/mês aplicado ao equipamento ASV063, ano de 2008 e para os meses de julho e dezembro, respectivamente. Na Figura B.2, percebe-se que não há uma diferença tão perceptível entre os métodos quanto há na Figura B.3. Isso evidencia o fato de que, para esse equipamento eletrônico e nesse ano, os dados coletados em julho foram mais consistentes que os coletados em dezembro.

Ainda com relação às duas Figuras, percebe-se que o fator de expansão para os domingos e feriados é muito maior que os outros. Tal resultado era esperado, pois o número de veículos nesses dias é bem menor. De forma que, caso se queira expandir o volume observado em um domingo para o mês inteiro, seria necessário um fator mais alto do que o de uma terça-feira, por exemplo, que é um dia considerado útil, com grande volume de veículos em circulação.



Figura B.2 – Comparação Procedimentos de Limpeza (Fonte: Mota e Silva, 2011)

Comparação fatores dia-mês entre métodos

ponto=ASV063 ano=2008 mes=12

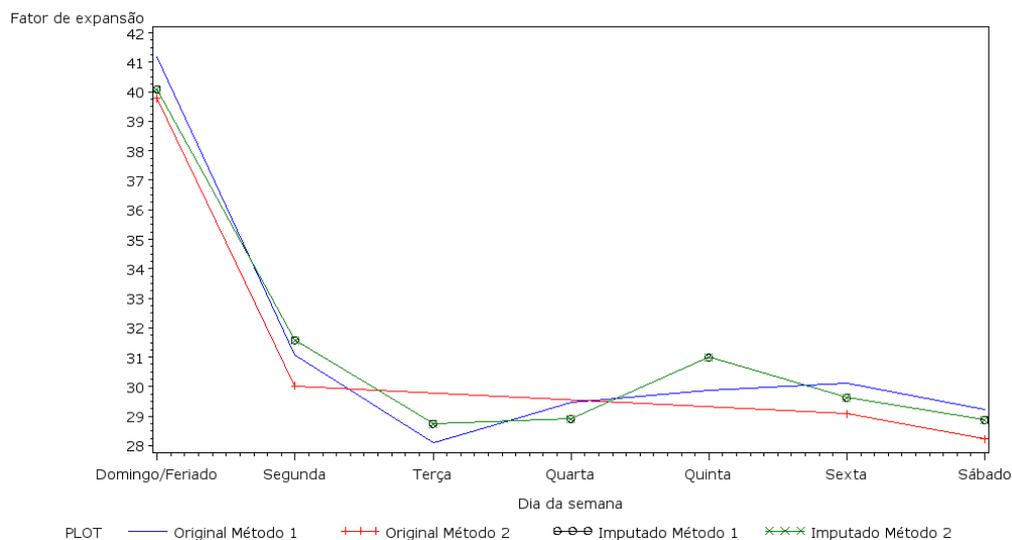


Figura B.3 – Comparação Procedimentos de Limpeza (Fonte: Mota e Silva, 2011)

Prosseguindo com a comparação dos procedimentos de limpeza, a diferença entre os procedimentos também é observada na Figura B.4 que ilustra o fator de expansão mês-ano do registrador ASV063 no ano de 2008. Entretanto, não nota-se grandes diferenças no fator de expansão hora-dia, principalmente após as 5 horas (Figura B.5) para o mesmo pardal, mesmo ano, no mês de dezembro para as sextas-feiras.

Com o objetivo de apresentar quão próximas as estimativas por fatores de expansão estão do volume real de veículos em um ano, realizou-se um exemplo. Para cada um dos 6 equipamentos escolhidos, separou-se um dia e, em seguida, um horário. Os fatores de expansão referentes àquele local, dia e horário foram aplicados à observação a fim de estimar o volume do ano inteiro (Tabela B.1). Percebe-se então que as estimativas estão relativamente próximas do real.

Tabela B.1 – Cálculo da estimativa do volume de veículos no ano

Equipamento	Dia Selecionado	Hora Selecionada	Volume observado	FE Hora-Dia	FE Dia-Mês	FE Mês-Ano	Volume ano (real)	Volume estimado do ano
ASV013	12/10/2009	15 às 16	126,56	22,87	53,02	10,93	1677397	1388994,88
ASV014	05/01/2009	13 às 14	389,25	14,45	29,39	11,70	1933942	1967499,46
ASV032	12/09/2008	15 às 16	1291,25	15,76	27,54	12,59	7056610	7361279,09
ASV033	09/05/2010	19 às 20	1091,08	16,64	41,60	11,34	8567729	9092237,33
ASV131	04/09/2009	14 às 15	415,00	20,06	28,21	12,20	2866050	2813219,47
ASV132	07/06/2010	9 às 10	426,50	20,63	29,91	12,01	3161152	3187033,65

Assim sendo, foram estimados os Volumes diários médios anuais (VDMA) para cada interseção da presente dissertação.