Serviço de Pós-Graduação - EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 14.../02.../03.

Ass.:.....*Kamathu*.....

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

**MÉTODO COMPARATIVO DE DESEMPENHO
PARA INTERSEÇÕES EM NÍVEL
DE RODOVIAS DE PISTA SIMPLES**

Rômulo Saraiva Xerez

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Transportes

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Alexandre Widmer

DEDALUS - Acervo - EESC

31100043033

São Carlos
2002

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RÔMULO SARAIVA XEREZ**

Dissertação defendida e julgada em 16-12-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **JOÃO ALEXANDRE WIDMER (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Dr. **OSWALDO CAVALCANTI DA COSTA LIMA NETO**
(Universidade Federal de Pernambuco/UFPE)

aprovado

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais, Elisabeth e Xerez,
e aos meus irmãos, Flávia (Vinha) e Rogério (Deto).

AGRADECIMENTOS

A Deus por me acompanhar em todos os caminhos que decidi trilhar, dando-me saúde e capacidade para prosseguir sempre.

Ao Prof. Dr. João Alexandre Widmer, pela orientação desta dissertação e por me encorajar a enfrentar todas as dificuldades inerentes a execução de uma pesquisa científica.

À minha família por me oferecer o suporte necessário para que não fraquejassem perante os inúmeros desafios que a vida nos impõe.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior - CAPES, por me conceder bolsa de estudo para desenvolver este mestrado.

A todos professores do Departamento de Transportes da EESC/USP que contribuíram para minha formação na área de transportes.

Aos funcionários do STT: Beth, Heloísa, Lillian, Magaly, Suely e Carlos (TOCO), por sempre estarem dispostos a ajudar.

Aos professores da UFPE, Oswaldo Lima Neto e Anísio Brasileiro por me incentivarem a fazer o mestrado e concederem cartas de recomendação para ingresso no programa de Pós-Graduação em Transportes da EESC/USP.

Ao Prof. Sérgio Demarchi (UEMA) por me ajudar tirando todas minhas dúvidas sobre o uso do INTEGRATION via email.

Aos meus amigos do QG&BASE: Alexandre (TOPÓ), Aluísio (Doido), Casé, Cláudio (Dibuá), Evinho, Flávio (Cabeludo), Gustavão, João Marcello, Marcelo (Alma), Marcão, Rafael (Babuê), Ricardinho, Renato Thiago e Renatão, por integrarem nossa grande família em São Carlos.

Aos amigos do STT: Adriana (Gauchinha), Andréa Castro, Andréa Hora, Andréa Schopf, Ana Paula Furlan, Ana Paula Larocca, Ary, Carlão, Cida, Cira, Cythya Mara, Cynthia Lotti, Cintia Egami, Cláudia Ferro, Fábio Wermesch, Fernanda Biroli, Genival, Giseli Ortolani, Giselle Moraes, Gloria, Guilherme, João Motta, Joel Krüeger, Josi, Juliana, Karênina, Marcela, Márcia Lika, Marilda, Mário Garrido, Martinha, Massulo, Mauro Kenji, Omar, Pastor, Patrícia Beghini, PC, Rogério, Rorato, Shirley, Scarlet e Zito, por fazerem do nosso ambiente de estudo um lugar agradável e de cooperação.

À Nívea Pons por estar ao meu lado em todos os momentos durante meu mestrado, me incentivando, confortando e ajudando incondicionalmente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo.....	4
1.2 Justificativa.....	4
1.3 Abrangência do Estudo.....	5
1.4 Estrutura da Dissertação.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Conflitos de Tráfego.....	7
2.2 Capacidade de Tráfego.....	10
2.3 Atraso e Espera em Interseções.....	15
2.4 Custo de Construção.....	17
2.4.1 Principais Custos de Construção Rodoviária.....	18
2.4.2 Serviços Rodoviários.....	20
2.4.3 Preço Unitário dos Serviços Rodoviários.....	21
3. INTERSEÇÕES ANALISADAS.....	22
3.1 Princípios de Segurança Adotados.....	22
3.2 Geometrias das Interseções Estudadas.....	24
3.2.1 Rotatória.....	24
3.2.2 Trevo Vazado Simples.....	25
3.2.3 Trevo Vazado com faixas de aceleração e desaceleração.....	27
3.2.4 Interseção em Nível com Divisão de Fluxo e Entrelaçamento.....	28
3.2.5 Interseção em Nível com Divisão de Fluxo e Canalização.....	29
3.3 Projeto Geométrico.....	30
4. MÉTODO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO.....	35
4.1 Condições Básicas.....	35

4.2 Fluxograma do Método.....	36
4.3 Método de Estimativa de Conflitos.....	37
4.3.1 Introdução - Conflitos de Tráfego.....	37
4.3.2 Caracterização das Interseções.....	38
4.3.3 Identificação dos pontos de conflito das interseções.....	39
4.3.4 Caracterização dos conflitos em cada ponto de conflito – velocidades envolvidas e ângulo de aproximação entre veículos numa potencial colisão.....	40
4.3.5 Cálculo das velocidades relativas e energia cinética.....	42
4.3.6 Classificação dos conflitos e cálculo dos pesos dos graus de severidade.....	44
4.3.7 Contabilização do número de conflitos por movimento.....	47
4.3.8 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade (TCEBS)	49
4.4 Capacidade Integral de Processamento.....	52
4.4.1 INTEGRATION.....	52
4.4.2 Estrutura Básica.....	52
4.4.3 Dinâmica Veicular.....	53
4.4.4 Preparação para Entrada de Dados.....	55
4.4.5 Entrada de Dados do INTEGRATION.....	55
4.4.6 Algoritmo de Cálculo.....	58
4.5 Atraso e Espera Média.....	62
4.6 Custo de Construção.....	64
4.6.1 Valores de Projeto Adotados.....	64
4.6.2 Cálculo dos Quantitativos.....	65
4.6.3 Preenchimento e Cálculo da Planilha de Custo de Construção.....	65
5. RESULTADOS.....	66
5.1 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade (TCEBS).....	66
5.2 Capacidade Integral de Processamento.....	69
5.3 Atraso e Espera Média.....	73
5.4 Custo de Construção.....	76
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	77
6.1 Número de Conflitos.....	77
6.2 Capacidade Integral de Processamento.....	79
6.3 Atraso e Espera Média.....	82

6.4 Custo de Construção.....	85
6.5 Comparação qualitativa das alternativas.....	86
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
7.1 Conclusões sobre as alternativas de geometria.....	87
7.2 Conclusões sobre o método comparativo de desempenho.....	88
7.3 Recomendações para trabalhos futuros.....	89
7.4 Considerações Finais.....	91
ANEXO A – INTEGRATION.....	94
A1. Dados de Entrada.....	94
A1.1 Arquivo Mestre.....	94
A1.2 Arquivo de Nós.....	95
A1.3 Arquivo de Tramos.....	95
A1.4 Arquivo de Semáforos.....	96
A1.5 Arquivo de Demandas.....	97
A1.6 Arquivo de Incidentes.....	98
A1.7 Arquivo de Parâmetros Veiculares (maxi_acc.dat).....	98
A1.8 Arquivo de Permissão e Proibição.....	99
A2. Dados de Saída.....	100
ANEXO B – PLANILHAS DE CUSTO DE CONSTRUÇÃO.....	101
ANEXO C – PLANILHAS DE CONFLITOS.....	103
ANEXO D – PROJETO GEOMÉTRICO DAS INTERSEÇÕES.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
APÊNDICE A	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Trevo Vazado.....	3
FIGURA 2.1 Porcentagem dos itens no custo total da obra de construção de rodovias analisadas (PEDROZO et al., 2001).....	18
FIGURA 2.2 Porcentagem dos itens no custo total das obras de restauração de rodovias analisadas (PEDROZO et al., 2001).....	19
FIGURA 3.1 Rotatória.....	25
FIGURA 3.2 Trevo vazado simples de 60 e 80 Km/h.....	26
FIGURA 3.3 Trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração.....	27
FIGURA 3.4 Interseção em nível com divisão de fluxo e entrelaçamento.....	28
FIGURA 3.5 Interseção em nível com divisão de fluxo e canalização.....	29
FIGURA 3.6 Desenho esquemático e características do veículo padrão.....	31
FIGURA 4.1 Fluxograma do Método de Comparação de Desempenho.....	36
FIGURA 4.2 Fluxograma do Método de Estimativa de Conflitos.....	38
FIGURA 4.3 Exemplo de um desenho esquemático com geometria, movimentos e velocidades permitidas.....	39
FIGURA 4.4 Exemplo de Identificação dos pontos de conflito.....	40
FIGURA 4.5 Desenho esquemático dos vetores velocidades.....	42
FIGURA 4.6 Convenção para contagem de conflitos.....	48
FIGURA 4.7 Exemplo de representação dos conflitos e trajetórias dos movimentos numa ROTATÓRIA.....	48
FIGURA 4.8 Tela de simulação do INTEGRATION.....	59
FIGURA 4.9 Algoritmo de cálculo da capacidade integral de processamento.....	61
FIGURA 4.10 Característica Geométrica do Perfil.....	65
FIGURA 5.1 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para $VS = 10\%VP$	66
FIGURA 5.2 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para $VS = 20\%VP$	67

FIGURA 5.3 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 30%VP.....	67
FIGURA 5.4 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 40%VP.....	68
FIGURA 5.5 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 50%VP.....	68
FIGURA 5.6 Capacidade Integral de Processamento para VS = 10%VP.....	69
FIGURA 5.7 Capacidade Integral de Processamento para VS = 20%VP.....	69
FIGURA 5.8 Capacidade Integral de Processamento para VS = 30%VP.....	69
FIGURA 5.9 Capacidade Integral de Processamento para VS = 40%VP.....	70
FIGURA 5.10 Capacidade Integral de Processamento para VS = 50%VP.....	70
FIGURA 5.11 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da ROTATÓRIA.....	70
FIGURA 5.12 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOSIM60.....	71
FIGURA 5.13 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOSIM80.....	71
FIGURA 5.14 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOACEL.....	72
FIGURA 5.15 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da INTDIVENTRE.....	72
FIGURA 5.16 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da INTDIVCANAL.....	73
FIGURA 5.17 Atraso e Espera Média para VS = 10%VP.....	74
FIGURA 5.18 Atraso e Espera Média para VS = 20%VP.....	74
FIGURA 5.19 Atraso e Espera Média para VS = 30%VP.....	75

FIGURA 5.20 Atraso e Espera Média para VS = 40%VP	75
FIGURA 5.21 Atraso e Espera Média para VS = 50%VP	76
FIGURA 5.22 Custo de Construção de Interseções.....	76
FIGURA 6.1 Resumo de resultados - número de conflitos.....	78
FIGURA 6.2 Resumo de resultados – capacidade integral de processamento.....	79
FIGURA 6.3 Fluxos da via principal e secundária na capacidade integral de processamento.....	80
FIGURA 6.4 Resumo de resultados - atraso médio.....	82
FIGURA 6.5 Resumo de resultados - espera média.....	83
FIGURA 6.6 Resumo de resultados – custo de construção.....	85
FIGURA D1 ROTATÓRIA – Medidas em metros.....	121
FIGURA D2 TREVOSIM60/80 – Medidas em metros.....	122
FIGURA D3 TREVOACEL – Medidas em metros.....	123
FIGURA D4 INTDIVENTRE – Medidas em metros.....	124
FIGURA D5 INTDIVCANAL – Medidas em metros.....	125
FIGURA AP1 Representação da figura 21.1 do IPR (1976) – APÊNDICE A	
FIGURA AP2 Representação do DESENHO 23 do IPR (1976) – APÊNDICE A	
FIGURA AP3 Representação do DESENHO 24 do IPR (1976) – APÊNDICE A	
FIGURA AP4 Representação da figura IX-53 “channalized” do AASHTO (1994) – APÊNDICE A	
FIGURA AP5 Representação da figura IX-53 “flared” do AASHTO (1994) – APÊNDICE A	
FIGURA AP6 Representação da figura IX-68 do AASHTO (1994) – APÊNDICE A	
FIGURA AP7 Representação da figura D5.3h do ALBERTA (1999) – APÊNDICE A	

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 Relação dos serviços desenvolvidos nos custos de terraplenagem, pavimentação e drenagem.....	20
TABELA 3.1 Nomenclatura das interseções estudadas.....	24
TABELA 3.2 Valores de Projeto para Trevo Vazado com faixas de aceleração e desaceleração.....	33
TABELA 3.3 Valores de Projeto para Interseções com divisão de fluxo.....	33
TABELA 3.4 Comprimento de Pistas de Aceleração e Desaceleração.....	34
TABELA 4.1 Resumo para caracterização dos conflitos.....	42
TABELA 4.2 Numeração de Identificação do Tipo de Interseção.....	43
TABELA 4.3 Planilha de Cálculo da Energia Cinética.....	44
TABELA 4.4 Intervalo de classificação de severidade (Formulação matemática).....	45
TABELA 4.5 Intervalo de classificação de severidade dos conflitos analisados.....	45
TABELA 4.6 Classificação dos conflitos analisados.....	46
TABELA 4.7 Planilha de Cálculo do Peso do Grau de Severidade.....	47
TABELA 4.8 Cálculo dos Pesos do Grau de Severidade nesta aplicação.....	47
TABELA 4.9 Conflitos segundo o movimento executado numa ROTATÓRIA.....	49
TABELA 4.10 Planilha de Cálculo de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade.....	51
TABELA 4.11 Equivalência entre espaçamentos.....	57
TABELA 4.12 Parâmetros Veiculares.....	58
TABELA 4.13 Exemplo de planilha de interação do VR da capacidade integral de processamento.....	62
TABELA 4.14 Exemplo de planilha de cálculo da espera média.....	63
TABELA 7.1 Capacidades nos tramos.....	92
TABELA A.1: Descrição dos dados do arquivo mestre.....	94
TABELA A.2: Descrição dos dados contidos no arquivo de nós.....	95
TABELA A.3: Descrição dos dados contidos no arquivo de tramos.....	95
TABELA A.4: Descrição dos dados contidos no arquivo de semáforos.....	97
TABELA A.5: Descrição dos dados contidos no arquivo de demandas.....	97

TABELA A.6: Descrição dos dados contidos no arquivo de incidentes.....	98
TABELA A.7: Descrição dos dados do arquivo de parâmetros veiculares.....	98
TABELA A.8: Descrição dos dados contidos no arquivo de permissão e proibição.....	99
TABELA B1 Planilha de custo de construção da ROTATÓRIA.....	101
TABELA B2 Planilha de custo de construção da TREVEOSIM60/80.....	102
TABELA B3 Planilha de custo de construção da TREVOACEL.....	103
TABELA B4 Planilha de custo de construção da INTDIVENTRE.....	104
TABELA B5 Planilha de custo de construção da INTDIVCANAL.....	105
TABELA C1 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 20%VP.....	106
TABELA C2 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 10%VP.....	106
TABELA C3 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 10%VP.....	107
TABELA C4 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 10%VP.....	107
TABELA C5 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 10%VP.....	108
TABELA C6 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 10%VP.....	108
TABELA C7 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 20%VP.....	109
TABELA C8 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 20%VP.....	109
TABELA C9 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 20%VP.....	110
TABELA C10 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 20%VP.....	110
TABELA C11 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 20%VP.....	111
TABELA C12 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 20%VP.....	111
TABELA C13 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 30%VP.....	112
TABELA C14 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 30%VP.....	112
TABELA C15 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 30%VP.....	113
TABELA C16 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 30%VP.....	113
TABELA C17 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 30%VP.....	114
TABELA C18 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 30%VP.....	114
TABELA C19 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 40%VP.....	115
TABELA C20 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 40%VP.....	115
TABELA C21 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 40%VP.....	116
TABELA C22 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 40%VP.....	116
TABELA C23 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 40%VP.....	117
TABELA C24 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 40%VP.....	117

TABELA C25 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 50%VP	118
TABELA C26 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 50%VP	118
TABELA C27 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 50%VP	119
TABELA C28 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 50%VP	119
TABELA C29 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 50%VP	120
TABELA C30 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 50%VP	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
BDI	- Bonificação e Despesas Indiretas
BID	- Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD	- Banco Internacional para Construção e Desenvolvimento
CBUQ	- Concreto Betuminoso Usinado a quente
CNT	- Confederação Nacional dos Transportes
DENATRAN	- Departamento Nacional de Trânsito
DER-SP	- Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DMT	- Distância Média de Transporte
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DPRF	- Departamento da Polícia Rodoviária Federal
HCM	- Highway Capacity Manual
INTDIVCANAL	- Interseção em nível com divisão de tráfego e canalização
INTDIVENTRE	- Interseção em nível com divisão de tráfego e entrelaçamento
IPR	- Instituto de Pesquisa Rodoviária
NT	- Nível do terreno
SUE	- Stochastic User Equilibrium
TAC	- Transportation Association of Canada
TCEBS	- Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade
TRB	- Transportation Research Board
TREVOACEL	- Trevo Vazado com faixas de aceleração e desaceleração
TREVOSIM60	- Trevo Vazado Simples com velocidade de 60 Km/h
TREVOSIM80	- Trevo Vazado Simples com velocidade de 80 Km/h
V1	- Velocidade de aproximação do veículo 1
V2	- Velocidade de aproximação do veículo 2
VA	- Volume Referência Anterior
VP	- Volume de Tráfego da Via Principal
VR	- Volume Referência
VS	- Volume de Tráfego da Via Secundária

RESUMO

Xerez, R. S. (2002). *Método Comparativo de desempenho para interseções em nível de rodovias de pista simples*. São Carlos, 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Esta pesquisa propõe um método que compara os desempenho de interseções através de quatro medidas: número de conflitos de tráfego, capacidade integral de processamento, atraso e espera média e custo de construção. O método foi aplicado a um grupo de seis interseções, três configurações alternativas e três variações do conceito trevo vazado, conceito básico adotado na grande maioria das interseções em nível de rodovias rurais brasileiras. Em paralelo, desenvolveu-se um método de conflitos baseado no conceito de conflito equivalente. O programa INTEGRATION foi utilizado no cálculo da capacidade integral de processamento e atraso e espera média. É apresentada uma planilha simplificada de custo de construção para obtenção dos orçamentos das interseções. Uma comparação de desempenhos é realizada para uma condição particular de capacidade de tráfego. Como o método permite a parametrização, ele pode também ser utilizado para avaliar outras condições operacionais. Conclui-se que, para as condições operacionais avaliadas, as configurações do tipo trevo vazado tem desempenho inferior a duas alternativas investigadas na pesquisa, a rotatória e a rotatória alongada com entrelaçamento.

Palavras-chave: interseções, conflitos, capacidade, atraso, custo

ABSTRACT

Xerez, R. S. (2002). *Comparative Method of Road Intersection Performance*. São Carlos, 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This research proposes a method to compare road intersection performances through four measures: number of traffic conflicts, processing integral capacity, average delay and waiting time and construction cost. The method was applied to a group of six intersections, three alternative configurations of intersections and three variations of the "trevo vazado" concept, which is usual basic concept for projects of Brazilian road intersection. At the same time, a traffic conflict method, based on equivalent conflict concept, was developed. The INTEGRATION software was used to calculate the processing integral capacity and the average delays and waiting times. A simple construction cost table for estimating the construction cost of the intersections is presented. A performance comparison of the various intersection configurations is also presented for a particular level of processing capacity. As the method permits parametrization, it can be used to evaluate other operational conditions. It is concluded that, for the evaluated operational conditions, the configurations of the "trevo vazado" have an inferior performance than the roundabout and the along roundabout.

Keywords: intersection, traffic conflict, capacity, delay, cost

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no ano de 2000, o Departamento de Polícia Rodoviária Federal contabilizou 6.543 mortes em acidentes de trânsito e 110.387 acidentes somente nas rodovias federais policiadas (DPRF, 2000). Estes números fazem com que se questione as causas de tão elevados índices.

Diferentes fatores podem contribuir para o elevado número de acidentes. Geralmente atribui-se a causa do acidente ao motorista desatento, imprudente, alcoolizado ou drogado. Mas, segundo GOLD (1998), freqüentemente, os acidentes são causados pelo inter-relacionamento de um conjunto de fatores: humanos ou relativos ao comportamento humano; relativos aos veículos (estado operacional do veículo); relativos à via, meio ambiente e ambiente construído; e fatores institucionais/sociais (regulamentação e fiscalização).

Os fatores relativos à via, meio ambiente e ambiente construído referem-se a todos fatores vinculados diretamente ao projeto, à construção da via ou interseção, à área de influência, à manutenção do sistema viário e à natureza.

A Confederação Nacional dos Transportes, CNT (2001), realizou a radiografia das condições pavimentação, sinalização e engenharia em 45.294 quilômetros rodovias nacionais e apontou que:

- a) 52,2 % da extensão apresenta um pavimento em estado deficiente, ruim ou péssimo (23.667 Km);
- b) 38,4% da extensão não está sinalizada de forma adequada (17.396 Km);
- c) 91,7% de extensão avaliada possui condições de engenharia deficiente ou ruim.

Os elevados percentuais apresentados acima indicam que os fatores relativos à via, meio ambiente e ambiente construído podem ter uma grande contribuição na composição de fatores causadores de acidentes.

Este estudo não pretende se alongar sobre as causas dos acidentes de trânsito mas estudar um dispositivo rodoviário responsável por uma grande parcela destes números apresentados acima, as interseções. Os números do Conselho Nacional de Segurança dos Estados Unidos, 56% de todos os acidentes nas vias urbanas e 32% de todos os acidentes em vias rurais, ocorrem em interseções (NATIONAL SAFETY COUNCIL 1985 apud TRB 1987). TURNER (1998) realizou um levantamento de acidentes durante cinco anos em áreas urbanas da Nova Zelândia e verificou que 55% dos acidentes ocorreram em interseções. No Reino Unido, 31% dos acidentes sérios e fatais ocorrem em interseções (O'CONNOR, 1995). Todas estas estatísticas reforçam o argumento de que as interseções são pontos da via com elevado risco de acidentes.

Genericamente, uma interseção é definida como uma área onde duas ou mais rodovias se unem ou se cruzam, incluindo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. O principal objetivo de um projeto de interseção é reduzir a severidade dos conflitos potenciais entre carros, ônibus, caminhões, bicicletas, pedestres, e proporcionar conveniência, simplicidade e conforto as pessoas que trafegam nas interseções (AASHTO, 1994).

Nas interseções rodoviárias brasileiras, muitas vezes os acidentes acontecem devido a um projeto mal elaborado que não proporciona aos motoristas as condições mínimas de segurança, isto é, oferecer a distância mínima de visibilidade para tomada de decisão. No Brasil, a geometria de interseção de rodovia de pista simple predominante é o trevo vazado, que pode ser visualizado na FIGURA 1.1.

FIGURA 1.1 Trevo Vazado

A configuração geométrica do trevo vazado permite grandes diferenciais de velocidade e obriga o motorista da via secundária a direcionar sua atenção para os dois lados para executar a manobra. Estes fatores dificultam a avaliação dos condutores nas tomadas de decisão e conseqüentemente colaboram para ocorrência de acidentes. Esta dificuldade pode ser confundida com despreparo ou imprudência do motorista e ainda, sob o enfoque de GOLD (1998), como a combinação de fatores relativos ao comportamento humano e à via, meio ambiente e ambiente construído.

Esta realidade nacional demonstra a necessidade de investimentos na sensibilização e mobilização da sociedade, na criação de soluções de engenharia de tráfego e implantação de inovações tecnológicas, na obtenção e gestão adequada de recursos financeiros para redução de acidentes, na capacitação de profissionais e na coleta, organização e análise de dados de acidentes de trânsito, o que requer decisão política para priorizar a segurança de trânsito (DENATRAN, 2002)

1.1 Objetivo

O objetivo do trabalho é propor alternativas de geometria para o trevo vazado e um método comparativo de desempenho de interseções em nível de rodovias de pista simples de forma que a escolha seja coerente com o nível de desempenho esperado.

1.2 Justificativa

Esta pesquisa propõe-se a estudar interseções em nível de rodovias rurais de pista simples com aplicação no Estado de São Paulo pelas seguintes razões:

- a) Em rodovias com duas faixas de tráfego, as interseções são os locais mais prováveis de terem a maior concentração de acidentes juntamente com as pontes e curvas horizontais (BRINKMAN e SMITH 1984 apud TRB 1987);
- b) A tarefa de escolher a geometria de interseção mais adequada para uma determinada situação, ou a decisão de manter, ou não, uma geometria existente, é complexa, uma vez que a definição do tipo de geometria a ser adotada é uma ponderação de um conjunto de fatores como: humanos, físicos, econômicos, de tráfego e veiculares (Alberta Infrastructure, 1999);
- c) A malha rodoviária brasileira (incluindo rodovias federais, estaduais e municipais) possui 1.724.924 quilômetros de rodovias, dos quais 164.247 quilômetros são pavimentados e quase a totalidade é constituída de rodovias de pista simples, as quais representam mais de 95% das estradas pavimentadas (MT, 2001);
- d) A atual configuração adotada na grande maioria das rodovias brasileiras, trevo vazado ou semi rotatória, permite elevado diferencial de velocidade entre o veículo da via principal e o veículo da via secundária que executa o cruzamento, contribuindo para a gravidade dos acidentes;

- e) A disponibilidade de informações sobre as características técnicas da frota que circula nas rodovias paulistas e dos preços dos serviços rodoviários praticados no Estado de São Paulo.

1.3 Abrangência do Estudo

O estudo propõe três alternativas à interseção em nível do tipo trevo vazado e inclui uma variação da mesma com respeito à presença ou não de faixa de aceleração e desaceleração na via principal.

O método comparativo avalia as geometrias de interseção utilizando quatro critérios: número de conflitos, capacidade integral de processamento, atraso e espera médios e custo de construção.

O método é aplicado para uma determinada situação de avaliação, isto é, um situação particular definida através da fixação de algumas condições básicas. O método proposto, entretanto, não se restringe a esse cenário particular, pois é possível aplicá-lo em qualquer outra situação com a devida parametrização das variáveis.

1.4 Estrutura da Dissertação

A apresentação da estrutura da dissertação é importante para situar o leitor quanto à ordem e conteúdo de cada capítulo. Esta dissertação está dividida em sete capítulos, incluindo o capítulo 1 – INTRODUÇÃO.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica em que é situado o enfoque da pesquisa no panorama geral das pesquisas sobre interseções rodoviárias de pista simples e são apresentados os principais conceitos envolvidos no trabalho.

No capítulo 3, encontram-se informações e conceitos sobre segurança rodoviária e projeto geométrico aplicados. São apresentados também o funcionamento e a representação gráfica das interseções.

O capítulo 4 expõe as condições básicas em que se deu o estudo e o método desenvolvido.

No capítulo 5 são apresentados os resultados organizados em 4 subtópicos referentes aos critérios de avaliação.

No capítulo 6, apresenta-se a discussão dos resultados obtidos de cada geometria e uma análise comparativa dos resultados segundo cada critério e para uma mesma condição de tráfego.

O capítulo 7 apresenta os pontos mais relevantes da análise e as consequentes conclusões. São indicados também as possíveis opções de continuidade da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho propõe uma abordagem ampla para o estudo de interseções. A idéia de avaliar desempenho de interseções segundo a segurança, a capacidade, o atraso e a espera em interseções e o custo de construção exige que se realize uma diversificada revisão bibliográfica.

O levantamento bibliográfico realizado indica que há muita produção científica (manuais, artigos, teses e dissertações) sobre interseções, contudo, os enfoques dados ao tema são restritos, pois abordam separadamente cada aspecto de avaliação ou análise, ou não tratam especificamente sobre interseções em nível de rodovias de pista simples.

Assim, organizou-se o panorama das pesquisas sobre interseções em quatro tópicos: conflitos de tráfego, capacidade de tráfego, atraso e espera em interseções e custo de construção. Nesses tópicos, são apresentadas algumas pesquisas correlatas com os enfoques adotados, os conceitos e as abordagens admitidas para cada critério de avaliação de desempenho admitido neste trabalho.

Embora os trabalhos levantados não possuam a amplitude almejada neste estudo, eles são importantes na fundamentação e formulação dos métodos propostos. Outros trabalhos não relatados neste capítulo estão referenciados no corpo da dissertação ou estão inseridos nas referências bibliográficas consultadas.

2.1 Conflitos de Tráfego

Conflito de tráfego não é apenas a possibilidade de acidentes entre veículos de fluxos conflitantes, mas também a eventual redução das velocidades operacionais dos veículos, a obrigação de parada dos veículos da via não

prioritária, as demoras causadas por essas paradas e a redução na capacidade de tráfego na interseção (DEMARCHI, 1995).

O objetivo desta pesquisa, no que diz respeito a conflitos de tráfego, é encontrar uma solução para quantificar os conflitos de tráfego em interseções de rodovias de pista simples não implantadas, isto é, ainda em fase de projeto.

De acordo com os trabalhos consultados sobre conflitos de tráfego, foi possível agrupá-los em grupos de enfoques: métodos de estimativa de acidentes, análise de segurança baseado em números de acidentes, métodos de conflitos baseados em observação e métodos de frequência ou quantificação de conflitos.

TURNER & NICHOLSON (1998) apresentam uma revisão de modelos utilizados na prática para relacionar acidentes e fluxos de tráfego. E comparando-os, concluíram que modelos lineares para estimar diferentes tipos de acidentes (baseados em fluxos conflitantes) apresentam melhores resultados que os modelos para estimar o total de conflitos (baseados nos fluxos das aproximações).

HYDÉN (1991) testa os efeitos da adoção de rotatórias em larga escala numa cidade sueca. Em seus estudos de conflitos, aponta uma redução de 44% do risco de acidentes. Avalia também os efeitos de produção de poluentes e ruídos.

O trabalho de O'CINNEIDE & TROUTBECK (1995), além de apresentar um breve resumo de resultados de pesquisas baseadas em levantamentos de números de acidentes, faz uma comparação de segurança entre algumas interseções adotadas na Europa e nos Estados Unidos quanto às dimensões adotadas para os principais componentes geométricos de uma interseção em nível como faixas de mudança de velocidade, raios de entrada e saída de interseções, etc. Nesta comparação, foram selecionadas as seguintes configurações: interseção comum em forma de cruz, interseções com faixas de mudança de velocidade, interseção com faixa exclusiva para conversão à esquerda e rotatória. Em seus levantamentos, verificou-se que a conversão de 181 interseções em rotatórias na Holanda produziu uma redução 47% no número de acidentes e 71% no número de vítimas;

PARKER & ZEGEER (1989) apresenta um método de conflitos para avaliação de segurança de interseções existentes baseado na observação de pessoal treinado para detectar e contar os conflitos de tráfego. Seus resultados são utilizados para diagnosticar a segurança e os problemas operacionais, bem como avaliar a eficácia de tratamento de engenharia em interseções com grande ocorrência de acidentes.

Tanto o trabalho de HYDÉN (1991) quanto o trabalho de ALMQVIST & EKMAN (2001) contém a técnica sueca de conflitos de tráfego. Assim como PARKER & ZEGEER (1989), também utiliza a observação treinada. Contudo, permite a classificação dos conflitos em graves e leves utilizando ábacos que através da entrada das distâncias e das velocidades estimadas dos conflitos durante a observação indicam a severidade do conflito.

DOMINGUES JR. & FERRAZ (2001) apresenta uma técnica de análise de conflitos que é baseada na observação manual, faz uso do conceito de conflito equivalente para aglutinar numa única contagem os três graus de severidade que considera (leve, moderado e grave) e propõe uma função linear de correlação entre o total de conflitos e o número de acidentes. Sua técnica é aplicada às interseções existentes de vias urbanas brasileiras e necessita de calibração dos fatores de equivalência de acordo com o tipo de interseção.

O Manual de Interseções do IPR (1976), dentro do capítulo, Pontos de Interferência, propõe um método simples de quantificação de conflitos baseado nos fluxos conflitantes da interseção. É importante salientar que diferente dos outros métodos apresentados, o método do IPR (1976) é aplicado em interseções ainda em fase de projeto, isto é, interseção não existente.

O método de conflitos proposto neste estudo foi concebido inspirado principalmente nos trabalhos de ALMQVIST & EKMAN (2001), DOMINGUES JR. & FERRAZ (2001) e IPR (1976). O processo de quantificação de cada tipo de conflito foi baseado no IPR (1976), que considera um conflito como a passagem do veículo por um ponto de conflito ou interferência, e este, como um ponto em que existe a possibilidade de choque entre veículos que se deslocam das diferentes aproximações de uma interseção. Desta forma, o número total de conflitos de cada

grau de severidade é igual ao somatório dos fluxos que passam por todos os pontos de conflitos de mesma severidade dentro da área da interseção. Assumiu-se o escalonamento de três graus de severidade (baixa, média e alta) e o conceito de fator de equivalência entre conflitos, assim como DOMINGUES JR. & FERRAZ (2001). Contudo, os processos de cálculo do fator de equivalência são diferentes, pois, em DOMINGUES JR. & FERRAZ (2001), o fator de equivalência é obtido através de contagens de conflitos no local da interseção e no método em questão, é calculado através de tratamento dado às medidas de diferenciação do grau de severidade, ou melhor, às energias cinéticas dos conflitos identificados dentro do conjunto de interseções analisadas. A energia cinética possui a mesma função da velocidade estimada no conflito do método de ALMQVIST & EKMAN (2001), isto é, classificar a severidade do conflito avaliado.

A severidade das colisões é determinada em grande parte pela velocidade de impacto e pelo ângulo de impacto. Quanto maior a velocidade, maior a severidade da colisão. E quanto maior o ângulo de impacto, maior a severidade da colisão (ROBINSON et al., 2000). Desta forma, adotou-se a velocidade relativa entre dois veículos como o vetor que une os dois fatores determinantes da severidade de uma colisão.

Contudo, observou-se que a energia cinética representaria melhor o grau de severidade de uma colisão por entender que grande parte da energia cinética se converte em energia de deformação e atrito no caso de um choque entre veículos.

É importante salientar que o método oferece a possibilidade de avaliar a eficácia de ações para o acréscimo de segurança em dispositivos de interseção, sem, contudo, ter a necessidade de implantá-las. Para isso é necessário apenas incluir no grupo de avaliação, as interseções sem e com modificações.

O método de conflito proposto é mostrado por inteiro no Capítulo 4 – Método de Comparação de Desempenho.

2.2 Capacidade de Tráfego

Capacidade de uma interseção é definida como o máximo fluxo de uma aproximação permitido pelos fluxos das outras aproximações da interseção (HCM, 2000). A capacidade de uma interseção em nível é calculada para cada um dos movimentos realizados, em função das características geométricas da interseção, dos conflitos existentes entre os fluxos de veículos e do tipo de controle de tráfego existente na interseção (DEMARCHI, 1995).

Métodos de cálculo da capacidade de tráfego em interseção não semaforizada estão disponíveis nos principais manuais de interseção ou de rodovias. Os primeiros procedimentos de cálculo da capacidade foram apresentados na edição de 1950 do Highway Capacity Manual (HCM) e desde então muitos outros manuais o tomaram como referência. O manual de interseções do IPR (1976) e Leite (1976) adotam o método do HCM de 1965. As versões mais recentes do HCM estão disponíveis no TRB (1994) e TRB (2000).

Segundo o TRB (2000), a capacidade de um movimento numa interseção é calculada a partir da capacidade potencial do movimento, que pode sofrer ajustamento quanto: aos efeitos de impedância, compartilhamento de mesma faixa, efeitos de semáforos no fluxo a jusante, cruzamento em duas etapas e de alargamento da entrada da interseção. A capacidade potencial depende dos fluxos conflitantes, do "gap" crítico e do tempo de acompanhamento, isto é, o tempo entre a partida do primeiro veículo e a do veículo seguinte na via secundária. Tanto "gap" crítico quanto o tempo de acompanhamento sofrem ajustamentos, o primeiro, de veículos pesados e rampa, e o segundo, de veículos pesados. Suas grandezas são derivados de valores base ou padrão para cada tipo de manobra, os quais são frutos de modelos empíricos desenvolvidos na Alemanha.

Muitos trabalhos propõem adaptações no método do HCM para adequação a alguma situação real ou para o aprimoramento do método de cálculo do "gap" crítico através de modelagem do processo de aceitação de "gap". Hoje podem ser facilmente encontrados mais de 20 a 30 métodos publicados em todo o mundo sobre a estimativa do "gap" crítico (BRILON et al., 1999).

TROUTBECK & KAKO (1999) desenvolveram um novo modelo de aceitação de “gap” baseado na prioridade limitada para o fluxo principal. O sistema de prioridade limitada é proposto baseado na suposição que o fluxo de veículos da via principal é levemente atrasado para acomodar o fluxo minoritário. O modelo foi aplicado em rotatórias e mostrou resultados similares aos resultados empíricos encontrados em rotatórias do Reino Unido que apresentaram altos fluxos de tráfego, isto é, locais onde ocorrem um maior percentual de “gaps” forçados.

DEMARCHI (1995) determina, através de um modelo de simulação, as medidas de desempenho e o nível de serviço de interseções rodoviárias não semaforizada. O simulador escolhido utiliza modelos Logit para definição do “gap” crítico de cada tipo de veículo. Estes modelos foram calibrados utilizando-se a máxima verossimilhança, técnica que permite o uso tanto de “gaps” aceitos como rejeitados na calibração.

A utilização do método do HCM em qualquer situação ou local pode ser questionada, pois seus modelos empíricos foram desenvolvidos para uma realidade diferente da realidade que caracteriza a geometria, os veículos e os motoristas de cada caso particular.

Tendo consciência da complexidade do tema, optou-se pela simulação do tráfego utilizando como ferramenta computacional um simulador de tráfego, com o objetivo de reproduzir satisfatoriamente as condições reais de tráfego. Neste sentido, modelou-se a componente de tráfego a partir de características típicas da frota que circula nas rodovias paulista.

Há um grande número de programas de simulação de tráfego disponíveis no mercado. Esses simuladores podem ser ferramentas importantes para estudo de grande abrangência, como o impacto de modificações numa rede viária urbana de uma cidade, ou estudos de pequena abrangência, como o comportamento do tráfego em diferentes alternativas de geometria de interseções rodoviárias.

MAIOLINO & PORTUGAL (2001) realizaram um levantamento das características dos simuladores de tráfego potencialmente utilizáveis e dos

aspectos mais relevantes na escolha do simulador para a aplicação no seu trabalho.

Embora o estudo MAIOLINO & PORTUGAL (2001) vise o estudo de corredores de ônibus, sua sistemática de escolha do simulador e seu levantamento serviram de base para a escolha e conhecimento das alternativas de simuladores de tráfego para aplicação neste estudo.

São aspectos importantes na escolha do simulador: os dados de entrada requeridos, os dados de saída disponibilizados, a plataforma computacional necessária para execução do “software”, o custo de aquisição, possível treinamento e suporte, e a possibilidade de ajustes no “software” visando sua adequação aos padrões locais, uma vez que esses programas são estrangeiros e calibrados para realidade de seus locais de origem.

MAIOLINO & PORTUGAL (2001) listaram as características dos seguintes simuladores: AIMSUN2, CONTRAM, CORSIM, DRACULA, INTEGRATION, PARAMICS e VISSIM.

Os dados de entrada requeridos para este estudo são:

- Tamanho da rede viária: número máximo de tramos e de nós;
- Geometria da interseção: características físicas como faixas adicionais;
- Controle das interseções: placas de “Pare” ou “Dê Preferência”;
- Tipos de veículo: número máximo de classes de veículos;
- Facilidade e conveniência da entrada dos dados de demanda;
- Uso da rede: número máximo de veículos simultâneos;
- Comportamento do motorista: aceitação dos “gaps”.

Para a aplicação desenvolvida neste trabalho, é necessário que o simulador disponibilize algumas saídas:

- Visualização gráfica do funcionamento da interseção como forma de verificação dos dados de entrada e validação da simulação;
- Volumes alocados;

- Disponibilidade de medidas referentes ao atraso com veículo parado e com a aceleração e desaceleração;

Todos os simuladores apresentados atendem aos aspectos de entradas requeridas e das saídas disponibilizadas. Embora a versão do INTEGRATION incluída na comparação feita por MAIOLINO & PORTUGAL (2001) seja uma versão antiga para DOS, incluiu-se o INTEGRATION na versão "small" 2.3a for Windows de fevereiro de 2000 no conjunto de alternativas, por estar disponível no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

De acordo com tudo o que foi exposto, escolheu-se o INTEGRATION por atender a todos os requisitos listados acima e principalmente por estar disponível e ainda se ter experiência no seu uso, uma vez que Departamento de Transportes/EESC/USP produziu uma série de trabalhos com as mais diversas aplicações utilizando-o como ferramenta computacional.

O programa utiliza as mesmas variáveis influentes do cálculo de capacidade descritos no TRB (2000). Por exemplo, o programa assume a mesma distribuição de "headway" da via principal indicado no modelo básico de capacidade do HCM (2000), distribuição exponencial. Em ambos os métodos é necessário estabelecer: geometria; os fluxos prioritários; tipo de sinalização de controle; percentual de veículos pesados; etc.

O INTEGRATION é capaz de reproduzir o comportamento dinâmico de um veículo isoladamente e a interação entre eles dentro de um fluxo de tráfego através de modelos analíticos, sendo exigido apenas a entrada das características técnicas dos veículos da simulação e da via (link).

Nesta aplicação, adotou-se as características dos veículos típicos que trafegam nas rodovias paulistas com base no trabalho de levantamento de campo de DEMARCHI (1995); e admitiu-se condições hipotéticas de velocidades praticadas neste dispositivos, isto é, velocidade de fluxo livre igual à velocidade máxima permitida.

Contudo, o programa não fornece diretamente a capacidade de cada movimento de uma aproximação, nem a capacidade de todas as aproximações, no caso de uma rotatória. Assim, elaborou-se um método de cálculo que, através de um algoritmo, obtém o valor do fluxo total de veículos processados pelo dispositivo, isto é, o volume total de veículo que saiu de sua origem e conseguiu completar todo o percurso até seu destino dentro de um determinado período de tempo, neste caso, uma hora. Este valor foi denominado de capacidade integral de processamento.

É importante salientar que o método proposto para cálculo da capacidade integral de processamento não é exato, pois acumula falhas intrínsecas do simulador e da simplificação considerada na elaboração do algoritmo de cálculo.

2.3 Atraso e Espera em Interseções

Segundo o TRB (1994), a qualidade de operação de uma interseção em nível não semaforizada pode ser definida em função da espera a que estão sujeitos os veículos da via secundária durante a manobra de cruzamento. Na versão do HCM do TRB (2000), foi ampliado o conceito da espera para o conceito de atraso.

A espera de um veículo é definida como o intervalo de tempo compreendido entre o instante de sua chegada até o instante de sua partida da interseção, ou seja, o instante do início da manobra de cruzamento do veículo. Caso já exista fila na aproximação, o instante de chegada corresponde ao momento em que o veículo junta-se ao final da fila (TRB, 1994). De uma forma simplista, espera total de um veículo é o tempo que o veículo permanece parado.

O atraso em interseção corresponde a um intervalo de tempo que inicia quando o motorista aciona os freios para desacelerar o veículo devido à presença da interseção à frente e termina quando o motorista alcança a velocidade de fluxo livre, isto é, o veículo pára de acelerar. É formado por quatro parcelas: atraso na desaceleração, espera na fila, espera de uma brecha no fluxo da via principal e atraso na aceleração (TRB, 2000). Assim, o atraso é a composição dos tempos de desaceleração e aceleração com a espera.

O atraso em interseções contribui significativamente com o tempo de viagem e com a escolha de rotas numa rede viária urbana (NIELSEN et al., 1998). Em consequência, uma boa parte dos trabalhos que tratam sobre atraso em interseções são voltados para interseções urbanas. Outros trabalhos estudam o nível de serviço de interseções através da espera média total ou atraso médio total. O TRB (2000) e o TRB (1994) correlacionam intervalos de atraso e espera, respectivamente, com níveis de serviço de interseção.

NIELSEN et al. (1998) descreve um modelo onde os atrasos em interseções são incluídos no algoritmo do SUE (Stochastic User Equilibrium). Seu modelo é aplicável a redes urbanas com interseções com ou sem semáforos e com rotatórias, e para cada tipo de interseção realizou uma modelagem diferente. Testou em larga escala seus modelos e conseguiu bons resultados.

HYDÉN & VÁRHELYI (1999), no mesmo artigo que estudou os efeitos de segurança da adoção das rotatórias no grande número de interseções urbanas não semaforizadas, estudou também seus efeitos no atraso dos motoristas e observou que houve uma redução média no atraso dos veículos da via secundária de 4,4 segundos por veículo, o que corresponde a quase duas vezes o atraso imposto aos veículos da via principal que perderam prioridade com a implantação das rotatórias (2,3 segundos por veículo).

DEMARCHI (1995), dentre outros objetivos, definiu o nível de serviço de duas interseções rodoviária em nível através da espera média total e reportou-se aos intervalos de classificação contidos no TRB (1994).

O motorista que trafega pela via principal depara-se com três situações distintas de passagem por uma interseção em nível:

- a) O motorista do veículo da via principal tem total preferência e mantém a velocidade;
- b) O motorista do veículo da via principal é obrigado a reduzir a velocidade ou parar e aguardar a oportunidade de realizar a manobra;

- c) O motorista do veículo da via principal reduz a velocidade em conformidade com a geometria da interseção.

Desta forma, para melhor avaliar as situações identificadas no grupo de geometria selecionadas, optou-se por utilizar ambos os conceitos, espera e atraso. Este fato não agrega um maior esforço para obtenção destas medidas, uma vez que o INTEGRATION fornece o atraso médio total e, separadamente, o atraso médio parado (espera) e o atraso incorrido com desaceleração e aceleração.

2.4 Custo de Construção

Embora haja muita produção científica sobre interseções, não se identificaram trabalhos com o enfoque no custo de construção de interseções rodoviárias. Desta forma, redirecionou-se a busca para trabalhos sobre custos rodoviários, onde há também grande disponibilidade de pesquisas. Adotou-se o trabalho de PEDROZO et al. (2001), intitulado de Custo Rodoviários – Análise e Sistematização, como base para identificação dos principais custos de construção rodoviária. A escolha se deve ao fato do seu trabalho apresentar uma análise de uma amostra de 17 orçamentos de obras de construção de rodovias, financiadas pelo BID, e mais 16 de obras de restauração financiadas pelo BIRD. Considerou-se a amostra de PEDROZO et al. (2001), adequada para o nível de aprofundamento necessário ao alcance dos objetivos do trabalho no segmento de custo de construção.

O custo de implantação de qualquer obra rodoviária inclui custos de terraplenagem, pavimentação, drenagem, obras de arte, sinalização, etc. Contudo, não é objetivo neste trabalho realizar um estudo mais aprofundado sobre custo de construção rodoviária, mas identificar quais componentes do custo rodoviário representam as maiores parcelas do custo total. A finalidade de segregar os componentes mais representativos é criar um orçamento básico de fácil quantificação e que permita obter valores próximos do valor total da obra.

O orçamento é definido genericamente como a previsão monetária em que são fixados as metas e os objetivos, estruturados em planos e programas que devem ser executados em um período determinado, nos quais são apresentados os custos das atividades propostas para alcançar esses fins, bem como os

quantitativos que medem as realizações. Contudo, para a aplicação que se deseja neste trabalho, o orçamento aparece como uma ferramenta de mensuração da ordem de grandeza monetária de cada dispositivo de interseção analisado, isto é, o orçamento básico proposto é o meio de quantificação do critério de custo de construção.

2.4.1 Principais Custos de Construção Rodoviária

Para identificação dos principais custos de construção é necessário realizar um levantamento de orçamentos ou planilhas de custos de obras rodoviárias. A participação percentual de cada componente do custo de construção oscila com diversas variáveis envolvidas no projeto ou no meio físico, como a classe da rodovia, o relevo, o tipo de material do subleito, etc.

PEDROZO et al. (2001) apresentam a distribuição percentual dos itens do custo total para o conjunto de orçamentos de obras, as quais foram locadas em rodovias de Classes II e III, em região montanhosa do Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados do levantamento são apresentados na FIGURAS 2.1 e 2.2.

FIGURA 2.1 Porcentagem dos itens no custo total da obra de construção de rodovias analisadas (PEDROZO et al., 2001)

Pode-se observar na FIGURA 2.1 que os itens pavimentação, terraplenagem e drenagem juntos correspondem a 82% do custo total de construção para uma situação de construção de rodovias em área montanhosa onde há uma maior necessidade de gasto com defensas e com sinalização, uma vez que nestas áreas há um maior número de placas de sinalização de advertência.

FIGURA 2.2 Porcentagem dos itens no custo total das obras de restauração de rodovias analisadas (PEDROZO et al., 2001)

Na FIGURA 2.2, os itens pavimentação e drenagem correspondem a 91% do custo total de reconstrução. Neste segundo levantamento não se faz presente o item terraplenagem por se tratar de obra de restauração. Contudo, é contundente a participação de apenas dois custos, pavimentação e drenagem.

Com base nestes números, pode-se concluir que os itens pavimentação, terraplenagem e drenagem concentram os maiores percentuais do custo total da construção. E consequentemente, a seleção destes três componentes para elaboração de um orçamento fará com que o valor estimado seja próximo do valor total da obra.

2.4.2 Serviços Rodoviários

As atividades de terraplenagem, pavimentação e drenagem, cada uma é composta por uma série de serviços. O levantamento dos serviços se deu em duas etapas. Primeiro foi o levantamento propriamente dito nos principais manuais de engenharia rodoviária referenciados na bibliografia. A segunda foi a adequação dos serviços quanto à nomenclatura e abrangência do serviço às tabelas de Preço Unitário de Serviços Rodoviários fornecidas pelo DER_SP (2002) e DNER (2002). Os serviços rodoviários são apresentados na TABELA 2.1 juntamente com a unidade de remuneração.

TABELA 2.1 Relação dos serviços desenvolvidos nos custos de terraplenagem, pavimentação e drenagem.

SERVIÇOS	Unidade
1. TERRAPLENAGEM	
Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m2
Raspagem do terreno	m2
Transporte de 1/2 cat. até 1 km	m3xkm
Compactação de aterro $\geq 95\%$ PS	m3
Esc. carga transp. mat 1a cat DMT 50m	m3
2. PAVIMENTAÇÃO	
Regularização do subleito	m2
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	m3
Base solo estabilizado granul. s/ mistura	m3
Imprimadura betum. impermeabilizante	m2
Imprimadura betuminosa ligante	m2
Camada rolamento CBUQ - gr-C s/dop (10cm)	m3
Acostamento CBUQ - gr-C s/dop (5cm)	m3
3. DRENAGEM	
Dreno longitudinal prof. p/corte em solo - DPS 01	m
Sarjeta canteiro central concreto - SCC 01	m
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01	m

2.4.3 Preço Unitário dos Serviços Rodoviários

Os orçamentos de obras rodoviárias são o resultado da associação dos quantitativos de serviços extraídos de projeto e as composições de preços unitários dos serviços. É muito importante a definição da forma de medir e de pagar os serviços para elaboração dos custos. Entende-se por preço unitário de serviços rodoviários como a soma do custo unitário com uma outra parcela denominada BDI (Bonificação e Despesas Indiretas).

O custo unitário dos serviços é obtido através do somatório de todos os insumos utilizados no determinado serviço, isto é, os equipamentos, a mão-de-obra, os materiais e os transportes. O BDI não corresponde apenas ao lucro sobre o serviço mais ainda a todos os custos indiretos decorrentes da estrutura da obra (e da empresa).

Os orçamentos dos projetos de interseção elaborados neste trabalho são baseados em preços unitários de serviços rodoviários para o Estado de São Paulo. Adotou-se como referência as tabelas de preços unitários fornecidos pelo DER-SP (2002) e DNTER (2002), uma vez que reproduzem relativamente bem os preços praticados no mercado, são periodicamente atualizadas e são comumente utilizadas como valor de referência para a negociação dos valores de obras rodoviárias. Embora o título do critério seja custo de construção da interseção, o valor atribuído a este critério é o preço pago pela obra à empresa de construção.

3. INTERSEÇÕES ANALISADAS

3.1 *Princípios de Segurança Adotados*

A procura de concepções de geometrias de interseções em nível que substituíssem o conceito do trevo vazado deu-se através de uma busca nos principais manuais nacionais e internacionais de interseções em nível, a fim de reunir um maior número de concepções de geometrias para uma posterior triagem, levando em consideração alguns princípios de segurança defendidos pelo professor Chister Hydén, prêmio mundial Volvo de Segurança no Trânsito 1991 e autor de *A Técnica Sueca de Conflitos de Tráfego* (HYDÉN, 1991). São mostradas no APÊNDICE A, algumas configurações de interseções sugeridas por esses manuais.

Os princípios de segurança de Hydén reunidos por DOTTA (1998) são:

- Baixa velocidade nos cruzamentos (uma pré-condição para sucesso de outros princípios);
- Tomada de decisão simples;
- Boa visibilidade;
- Alto grau de atenção;
- Igualdade (o fato de estar dirigindo numa via preferencial não confere grandes regalias ao condutor, apenas dá a vantagem de passar primeiro no cruzamento);
- Alto sentimento de responsabilidade e consciência da importância do outro;
- Leve sensação de insegurança;
- Fortes sentimentos de dar a vez (ou/e abrir mão da vantagem de passar primeiro), e não o contrário.

Dos princípios listados acima, três foram preponderantes na concepção das alternativas: baixas velocidades nos cruzamentos, tomada de decisão simples e leve sensação de insegurança. Os demais princípios estão intimamente ligados ao comportamento e consciência dos motoristas.

Na elaboração dos projetos, levou-se em consideração alguns aspectos importantes como: a visão, a sinalização e a fiscalização.

A visão é o sentido que permite captar 85% das informações necessárias para dirigir (forma, cores, posição, velocidade, etc.) (GONÇALVES, 1982). Na medida em que a acuidade sensorial, principalmente a capacidade visual, se constitui em elemento básico da captação dos elementos que compõe as situações de cada instante, tudo que se fizer em benefício da melhor visibilidade nas estradas, conduzirá a um incremento da segurança (BRANCO, 1972). Algumas investigações realizadas na Inglaterra, em locais cuja iluminação foi melhorada, mostram uma redução de 46% nos acidentes fatais e 27% nos acidentes graves (GOLD, 1998).

A sinalização é a transmissão de informações de acordo com um sistema ou código previamente organizado, visando melhorar a segurança e fluidez dos deslocamentos dos veículos e pedestres, e deve ser simples, clara e precisa, não permitindo dualidade de interpretação ou mais de uma opção (DIAS DA SILVA & THEODORO, 1978).

A fiscalização é um importante fator para a redução de acidentes, uma vez que o motorista, ao estar ciente de que está sendo observado, obedece os limites e redobra a atenção. Não é necessário a presença física de policiais de trânsito, pois pode-se utilizar a tecnologia de sensores fotográficos de velocidade.

Desta forma, para que as interseções funcionem com o melhor desempenho possível, foi estabelecido que todos os projetos das interseções possuam: sinalização eficiente de advertência instruindo o funcionamento do dispositivo proposto, iluminação e dispositivos de controle de velocidade que garantam o respeito às velocidades estabelecidas dentro da área da interseção.

3.2 Geometrias das Interseções Estudadas

Esta apresentação visa expor as informações mais importantes quanto ao uso, projeto e operação das interseções estudadas. Os esquemas das geometrias são apresentados no corpo deste capítulo e o projeto das interseções com medidas adotadas está no ANEXO D.

A fim de facilitar a identificação dos tipos de interseções, estabeleceu-se a nomenclatura indicada na TABELA 3.1.

TABELA 3.1 Nomenclatura das interseções estudadas

NOME	DESCRIÇÃO
ROTATÓRIA	Rotatória
TREVOSIM60	Trevo vazado simples com velocidade de 60 Km/h
TREVOSIM80	Trevo vazado simples com velocidade de 80 Km/h
TREVOACEL	Trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração
INTDIVENTRE	Interseção em nível com divisão de fluxo e entrelaçamento
INTDIVCANAL	Interseção em nível com divisão de fluxo e canalização

3.2.1 Rotatória

No Brasil, o uso de interseção tipo rotatória é muito menos difundido que o trevo vazado. Contudo, na Europa, seu uso é muito comum. Esta geometria faz uso de ilhas canalizadoras de trânsito, ilhas direcionais e divisórias. As ilhas direcionais têm a função de controlar e orientar os movimentos dentro da área da interseção, e as ilhas divisórias têm a função de separar os fluxos de tráfego, reduzir a velocidade e alertar o motorista sobre a existência de cruzamento à frente. É formada por 4 ilhas divisórias nas aproximações e de uma ilha direcional circular que controla e orienta os movimentos de entrelaçamento em sua área, como pode ser visto na FIGURA 3.1.

FIGURA 3.1 Rotatória

A concepção da rotatória não dá preferência ao fluxo da via principal. A sua geometria obriga a uma redução da velocidade, acarretando uma diminuição da fluidez do tráfego. Esta redução de velocidade faz também com que os acidentes sejam de baixa gravidade, caso ocorram.

É importante salientar que a tomada de decisão para se inserir no fluxo de entrelaçamento é facilitada pelo fato do motorista ter a necessidade de direcionar sua atenção apenas para um lado. As velocidades permitidas são inferiores à 40Km/h, e o controle de tráfego é feito através da placa de "Dê a Preferência".

3.2.2 Trevo Vazado Simples

A concepção do trevo vazado é muito usada nas rodovias nacionais de pista simples. Faz uso também de ilhas de canalização, como mostra a FIGURA 3.2. O controle de tráfego nas suas aproximações secundárias é feito através de placas de "PARE".

FIGURA 3.2 Trevo vazado simples de 60 e 80 Km/h

O fluxo da via principal é priorizado e a velocidade é, via de regra, a velocidade máxima legal da via principal, pois os movimentos de giro à direita e à esquerda são canalizados para a aproximação da via secundária. Esta medida faz com que não haja o bloqueio da via principal na execução da manobra de giro à esquerda, caso o veículo espere parado na própria via uma brecha ou “gap” no fluxo contrário, e melhora também a posição de observação do motorista que espera parado, no acostamento, uma brecha no fluxo contrário e no fluxo em sua mesma direção.

Embora a canalização do trevo vazado incremente a segurança e a fluidez do tráfego, ainda assim, o fluxo da via secundária e os fluxos canalizados da via principal são expostos a condições de insegurança. Isso ocorre devido ao elevado diferencial de velocidade entre os veículos que cruzam a via principal e os veículos que trafegam pela via principal, e à necessidade do motorista de direcionar sua atenção para ambos os lados ao realizar a manobra de cruzamento. Estas condições de insegurança dificultam a capacidade do motorista de avaliar as

distâncias e as velocidades envolvidas no processo de autorizar ou não o início da manobra de cruzamento.

O elevado diferencial de velocidade permitido pela concepção da geometria da interseção pode ser responsável pelos altos índices de acidentes graves registrados neste tipo de interseção. Neste contexto, incluiu-se no conjunto de alternativas o trevo vazado simples com velocidade na via principal de 60 Km/h e de 80 Km/h, a fim de avaliar a influência da velocidade sobre a capacidade, a segurança e o atraso médio. Não há diferença na geometria para os dois casos de velocidades na via principal.

3.2.3 Trevo Vazado com faixas de aceleração e desaceleração

O trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração também é comum nas rodovias brasileiras, onde há um fluxo mais intenso de veículos. Esta geometria segue os mesmos princípios do projeto do trevo vazado simples como o uso de ilhas de trânsito. O seu funcionamento também é similar ao trevo vazado simples, tendo uma diferença que os motoristas que fazem o giro à direita em todas as aproximações, fazem uso das faixas de aceleração e desaceleração, como pode ser visto na FIGURA 3.3.

FIGURA 3.3 Trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração

As faixas adicionais contribuem para o aumento da fluidez e a segurança, pois a redução de velocidade necessária à execução das manobras de giro à direita e à esquerda ocorrem fora da faixa de rolamento, evitando colisões traseiras e redução do fluxo na via principal.

Para esta interseção, foi adotada a velocidade de 80 Km/h na via principal, a fim de usufruir o recurso de faixas adicionais de aceleração e desaceleração. O controle de tráfego nas suas aproximações é feito através de placas de "PARE".

3.2.4 Interseção em nível com divisão de fluxo e entrelaçamento

A interseção com divisão de fluxo e entrelaçamento é uma versão alongada da rotatória, que possibilita uma maior fluidez no tráfego, por oferecer acessos rápidos nas aproximações da via secundária, e amplas áreas de entrelaçamento, como pode ser visto na FIGURA 3.4.

FIGURA 3.4 Interseção em nível com divisão de fluxo e entrelaçamento

O veículo da via principal é obrigado a reduzir a velocidade devido à mudança de curvatura da pista na entrada da interseção. Esta mudança faz com que o motorista tenha uma leve sensação de insegurança e aumente sua atenção ao dirigir. A velocidade máxima desenvolvida pelos veículos na área da interseção é de 60Km/h. Não há controle de tráfego nos acessos da via secundária através de placas, mas há a proteção da ilha divisória para o acesso às faixas de entrelaçamento.

Um importante aspecto desta interseção é a simplicidade nas tomadas de decisão do motorista na autorização de realizar qualquer manobra dentro da área.

4.3.5 Interseção em nível com divisão de fluxo e canalização

A interseção com divisão de fluxo e canalização é um projeto que agrega três princípios: separação de fluxo através de ilhas de trânsito, canalização ou faixa exclusiva para manobra de giro à esquerda e manobra de cruzamento da via principal em duas etapas. Esta união de princípios pode ser identificada na visualização da geometria na FIGURA 3.5.

FIGURA 3.5 Interseção em nível com divisão de fluxo e canalização

A proposição da geometria da faixa de tráfego em diagonal para as conversões à esquerda, está associada à proteção das faixas adjacentes durante a conversão de combinações de veículos de carga e à redução do número de pontos de conflito de tráfego durante a manobra. A faixa exclusiva de giro à esquerda tem uma boa capacidade de acumulação de veículo, e a posição recuada em que o veículo aguarda a oportunidade de cruzar a via principal, oferece um amplo campo de visão ao motorista, pois todos os fluxos estão à sua frente. É uma variante da configuração canadense, mostrada na FIGURA AP7 do APÊNDICE A.

A velocidade máxima permitida na via principal é de 60 Km/h e o controle de tráfego nas aproximações é feito através de placas de "PARE". As faixas adicionais de aceleração e desaceleração contribuem para fluidez e segurança dos fluxos de giro à direita em todas as aproximações.

A manobra de cruzamento, como foi dito anteriormente, é feita em duas etapas, e para cada etapa, o motorista tem a necessidade de direcionar a atenção apenas para um lado, o que aumenta a segurança na execução da manobra. Contudo, a pista de cruzamento perpendicular, localizada no canteiro central, foi dimensionada para comportar no máximo, uma combinação de veículo de carga de 30 metros, isto é, uma baixa capacidade de armazenamento de veículos, acarretando a existência de um gargalo no fluxo que cruza a via principal.

Pode-se identificar uma série de semelhanças com outras configurações de geometria de interseções indicadas em manuais estrangeiros e com as configurações propostas neste estudo. Algumas destas geometrias estão disponíveis no APÊNDICE A. Esta interseção é uma tentativa de reunir estas semelhanças, isto é, as características positivas de alguns projetos, a fim de potencializar a capacidade e a segurança da interseção, e revelar as limitações intrínsecas a cada configuração.

3.3 Projeto Geométrico

A elaboração dos projetos das 5 interseções em estudo tomou como base os principais manuais de projeto geométrico nacionais e internacionais, o Código de Trânsito Brasileiro, o trabalho de RUSSO (1995) que apresenta raios de giros para uma gama de configurações básicas de caminhões e simulações do AUTOTURN

versão 3.0 (TRANSOFT SOLUTIONS, 1996) que indicam as sobrelarguras requeridas pelo veículo padrão na execução de todas as manobras permitidas pela interseção.

O veículo padrão utilizado na elaboração dos projetos geométricos das interseções em questão é o caminhão pesado semi-reboque (2S1) de 18,15m de comprimento, que é mostrado na FIGURA 3.6. O cavalo mecânico que compõe o veículo padrão é um Volvo FH12 380 4x2.

FIGURA 3.6 Desenho esquemático e características do veículo padrão

Os raios das curvas e sobrelarguras foram estabelecidos mediante simulação do veículo padrão no AUTOTURN e em concordância com raios mínimos do Manual de Projeto de Interseções do IPR (1976). No projeto geométrico da rotatória tomou-se como referencia manual de rotatórias de ROBINSON et al. (2000) e as simulações do AUTOTURN. Adotou-se o valor recomendado por ROBINSON et al. (2000) de 40 metros de raio do círculo externo central da rotatória. Este mesmo valor foi admitido também nos projetos do trevo vazado simples e trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração.

O AUTOTURN é um aplicativo para o AUTOCAD e MICROSTATION CAD que simula manobra de veículos ou aviões a baixas velocidades. O programa pode

ser usado para projeto de interseções, estacionamentos, rampas de carga e descarga e a maioria das instalações para veículos.

O programa calcula o caminho delimitado pelos pneus (trilha) e a envoltória do veículo definida pelo ponto mais externo e mais interno do veículo quando realiza uma manobra, sendo necessária a definição da trajetória do eixo central do veículo. Ele disponibiliza ao usuário uma biblioteca de veículos padrões para: EUA, Califórnia, Canadá, Austrália e Reino Unido. Além destes veículos, é possível criar seu próprio veículo para simulação através do fornecimento dos seguintes dados de criação: dimensões do veículo, ângulo de giro e ângulo entre unidades do veículo.

O AUTOTURN possui algumas limitações que não comprometem sua aplicação neste trabalho. O programa produz geometricamente resultados idealizados, que não reproduzem exatamente o campo visual do motorista e as condições da via. Levando-se em consideração que os movimentos simulados nas interseções em questão são, de certa forma, simples, pois não é necessário executar nenhuma manobra de ré, esta limitação não compromete o projeto geométrico das interseções. Uma outra limitação é quanto à velocidade de simulação. O modelo do programa limita a velocidade de execução das manobras a velocidades inferiores a 15 Km/h. Contudo, esta limitação também não compromete os resultados fornecidos, pois o veículo utilizado é um caminhão tipo semi-reboque que naturalmente desenvolve baixas velocidades na execução de manobras em interseções.

Com relação aos comprimentos das pistas de aceleração e desaceleração, verificou-se uma variação entre os valores indicados nos manuais da AASHTO (1994), do IPR (1976) e do TAC (1986), os quais são apresentados nos quadros resumos das medidas de projeto geométrico do trevo vazado e das interseções em nível com divisão de fluxo, respectivamente, na TABELA 3.2 e 3.3. Adotou-se a velocidade de 80 Km/h para trevo vazado com faixas de aceleração e desaceleração, e de 60Km/h para as interseções com divisão de fluxo para obtenção dos comprimentos de pista de aceleração e desaceleração.

Para obtenção do raio mínimo de entrada e saída da curva, segundo os mesmos três manuais, adotou-se a velocidade de 40Km/h. Os valores de raio encontrados estão também nas TABELAS 3.2 e 3.3.

TABELA 3.2 Valores de Projeto para Trevo Vazado com faixas de aceleração e desaceleração

MEDIDAS	AASHTO	IPR	TAC
RAIO (m)	65	65	65
V projeto (Km/h)	80	80	80
V curva (Km/h)	40	40	40
L acel. V de 40 a 80 Km/h (m)	135	160	175
Taper para 80 Km/h (m)	54	60	70
L desacel V de 80 a 40 Km/h (m)	100	85	105
Taper para 80 Km/h (m)	54	60	70
L total aceleração (m)	189	220	245
L total desaceleração (m)	154	145	175

TABELA 3.3 Valores de Projeto para Interseções com divisão de fluxo

MEDIDAS	ASSHTO	IPR	TAC
RAIO (m)	30	30	30
V projeto (Km/h)	60	60	60
V curva (Km/h)	40	40	40
L acel. V de 40 a 60 Km/h (m)	-	90	60
Taper para 60 Km/h (m)	36	40	55
L desacel V de 60 a 40 Km/h (m)	65	60	70
Taper para 60 Km/h (m)	36	40	55
L total aceleração (m)	-	130	115
L total desaceleração (m)	101	100	125

Estabeleceu-se uma posição conservadora na escolha dos valores indicados pelos manuais e adotaram-se os maiores valores recomendados. Desta forma, assumiram-se os valores dos comprimentos das pistas de aceleração e desaceleração do TAC (1986) para o trevo vazado, e o valor do comprimento da pista de aceleração e desaceleração do IPR (1976) e do TAC (1986) respectivamente, para as interseções com divisão de fluxo. É importante notar que os valores totais indicados para pistas de aceleração e desaceleração fornecidas pelo TAC (1986) não são coerentes, porque é sabido que o comprimento de

aceleração é maior que o de desaceleração. Desta forma, justifica-se a escolha do valor indicado pelo IPR (1976) para o comprimento de aceleração. Na TABELA 3.4 são mostrados os valores utilizados nas simulações de tráfego nas interseções.

TABELA 3.4 Comprimento de Pistas de Aceleração e Desaceleração

Comprimentos de Pista		Aceleração (m)			Desaceleração (m)		
Tipo de Interseções		Taper	Pista	Total	Taper	Pista	Total
Trevo Vazado c/ faixa de acel. desacel.		70	175	245	70	105	175
Interseções. c/ divisão de fluxo		40	90	130	55	70	125

A variabilidade das medidas indicadas nas TABELAS 3.2 e 3.3 é apontada também no trabalho de O'CINNEIDE & TROUTBECK (1995) que compara os valores adotados em diferentes países e verifica diferenças entre o maior e o menor comprimento de pista de aceleração, na ordem de 220m para 80Km/h e 130 m para 60Km/h.

4. MÉTODO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO

4.1 Condições Básicas

Parte das condições básicas já foram antecipadas nos capítulos anteriores, contudo, neste tópico são reunidas todas as condições que demarcam o horizonte de abrangência das proposições e limitações desta pesquisa.

Para o desenvolvimento do estudo comparativo das geometrias adotou-se uma situação hipotética para a topografia, a composição de tráfego e a distribuição dos movimentos nas interseções. Esta situação hipotética visa limitar as investigações a um conjunto de alternativas tratável do ponto de vista quantitativo. Desvios da condição básica poderão ser investigados posteriormente, parametrizando os modelos de cálculo das variáveis de decisão relevantes.

Foram estabelecidas as seguintes condições básicas do estudo:

- topografia plana;
- respeito aos limites de velocidade;
- o tráfego composto de 50% de veículos de passeio, 5% ônibus e 45% de caminhões, sendo destes, 20% unitários, 15% semi-reboques e 10% de veículos combinados longos;
- percentuais de giro à direita e à esquerda, respectivamente, 10% e 15%;
- os valores admitidos para volume de tráfego da via secundária foram de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do volume da via principal;

4.2 Fluxograma do Método

Para uma visão macroscópica de como foi desenvolvido o método proposto neste trabalho, apresenta-se o fluxograma da FIGURA 4.1

FIGURA 4.1 Fluxograma do Método de Comparação de Desempenho

4.3 Método de Estimativa de Conflitos

4.3.1 Introdução - Conflitos de Tráfego

O conflito de tráfego é uma das principais medidas de avaliação de segurança viária. Os conceitos de conflito de tráfego diferenciam-se segundo o grau de especificidade de cada pesquisa. DOMINGUES JR. & FERRAZ (2000) e DEMARCHI (1995) utilizam um conceito bem amplo para conflito: "Um conflito de tráfego não é apenas a possibilidade de acidentes entre veículos de fluxos conflitantes, mas também a eventual redução das velocidades operacionais dos veículos, a obrigação de parada dos veículos da via não prioritária, as demoras causadas por essas paradas e a redução na capacidade de tráfego na interseção".

Contudo, neste estudo, utiliza-se um conceito simples para facilitar a contagem de conflito. Assim, considera-se conflito como a passagem do veículo por um ponto de conflito ou interferência, e este, como um ponto em que existe a possibilidade de choque entre veículos que se deslocam das diferentes aproximações de uma interseção (FERRAZ et al., 1999).

O método de avaliação de segurança proposto é baseado na quantificação dos conflitos de tráfego em interseções de rodovias de pista simples não semaforizadas, e utiliza o conceito de conflito equivalente, isto é, uma equivalência quantitativa entre conflitos de graus de severidade diferentes (baixa, média e alta).

O método de estimativa de conflitos objetiva encontrar o valor total de conflitos equivalente de baixa severidade (TCEBS) para um determinado volume de tráfego e para cada interseção avaliada. O TCEBS é a conversão de todos os conflitos de severidades distintas, quantificados separadamente, em conflitos equivalentes de baixa severidade, através da multiplicação de cada montante de conflitos de cada severidade pelo seu respectivo peso ou fator de conversão de grau de severidade.

O fluxograma da FIGURA 4.2 revela todas as etapas envolvidas no processo de obtenção do TCEBS, que serão tratadas com detalhe nos tópicos seguintes.

FIGURA 4.2 Fluxograma do Método de Estimativa de Conflitos

4.3.2 Caracterização das Interseções

A caracterização das interseções é definida através da geometria, dos movimentos permitidos e das velocidades desenvolvidas. Na FIGURA 4.3, as linhas sólidas representam os movimentos permitidos, as linhas tracejadas representam a divisão entre as faixas de tráfego e as setas indicam as velocidades desenvolvidas na interseção.

FIGURA 4.3 Exemplo de um desenho esquemático com geometria, movimentos e velocidades permitidas.

Vale a pena salientar que é necessário haver a concordância na estipulação das velocidades, tanto no estudo de conflitos, quanto no estudo de capacidade, uma vez que em ambos os casos as velocidades são dados de entrada dos modelos.

4.3.3 Identificação dos pontos de conflito das interseções

Através da caracterização das interseções é possível identificar os pontos de interferência ou pontos de conflito. Os pontos de conflito são locais onde ocorrem as manobras de convergência, divergência, cruzamento e entrelaçamento. Contudo, para simplificar a identificação, os pontos de entrelaçamento foram desmembrados em dois pontos de conflitos distintos e consecutivos, isto é, um ponto de convergência seguido de um ponto de divergência.

No exemplo de interseção mostrado na FIGURA 4.4, os pontos de conflitos estão indicados em pequenos círculos sobre os encontros das trajetórias dos veículos representadas por linhas sólidas. As linhas tracejadas representam a separação entre faixas de tráfego.

FIGURA 4.4 Exemplo de Identificação dos pontos de conflito

Na determinação dos pontos de conflito, observou-se que se pode desconsiderar os pontos de divergência nos acessos às pistas de desaceleração, uma vez que o conflito existente não representa a iminência de um possível acidente, pois se entende que o motorista do veículo que executa a manobra de divergência mantém a mesma velocidade em que se encontrava anteriormente, e a frenagem é realizada totalmente dentro do comprimento da faixa de desaceleração.

4.3.4 Caracterização dos conflitos em cada ponto de conflito – velocidades envolvidas e ângulo de aproximação entre veículos numa potencial colisão

Na caracterização do conflito, admitiu-se que as velocidades desenvolvidas pelos veículos conflitantes são as máximas permitidas pelo projeto do dispositivo de interseção. Para a simulação de tráfego do INTEGRATION, admitiu-se uma hipótese semelhante, a velocidade de fluxo livre é a máxima permitida pelo projeto. E, em ambos os casos, são as velocidades indicadas nas placas de sinalização.

Tomou-se este posicionamento com relação à velocidade, por se entender que seria uma simplificação necessária, considerando que se tem duas situações possíveis e diametralmente opostas: a primeira, segundo estudos desenvolvidos em rodovias norte americanas, a velocidade de operação é, em geral, menor que a velocidade de projeto (FILIZZOLA et al., 1977); e a segunda, que resulta de observações, os veículos trafegam com velocidade superior à regulamentada por lei. Assim, decidiu-se adotar como premissa o uso de dispositivos eletrônicos de fiscalização de velocidades, que garantem o respeito à sinalização estabelecida e que fazem com que os resultados do modelo sejam conseqüências das condições operacionais estabelecidas.

Não é objetivo deste trabalho estimar as velocidades em que os veículos se chocam, mas identificar a ordem de grandeza das velocidades envolvidas numa potencial colisão.

A modelagem de um fenômeno complexo como o risco potencial de acidentes em interseções, faz com que se estabeleçam considerações para simplificarem o trabalho de caracterização dos acidentes possíveis dentro do conjunto de interseções em estudo. Com este fim, adotaram-se ainda as seguintes considerações simplificadoras para a caracterização dos conflitos:

- a) Para o caso de uma manobra de cruzamento, o veículo da via secundária que executa a manobra apenas arranca, e não consegue atingir uma velocidade expressiva. Assim, admitiu-se que a velocidade do mesmo é zero;
- b) Nos pontos de convergência, adotou-se que o ângulo de aproximação entre veículos é de 45° ou 135° ;
- c) Para o caso de divergência, estabeleceu-se duas situações: uma em que os veículos colidem sob o ângulo de 0° , colisão traseira; e outra sob o ângulo de 10° , abalroamento lateral, nas áreas de entrelaçamento.

Na TABELA 4.1, é apresentado um resumo das considerações apresentadas acima. Esta tabela facilita o preenchimento dos campos de identificação do conflito, velocidades V1 e V2 e ângulo de aproximação da planilha de cálculo da velocidade relativa e energia cinética no momento da potencial colisão.

TABELA 4.1 Resumo para caracterização dos conflitos

Ponto de Conflito	V 1	V 2	Ângulo
Convergência	v1	v2	45° ou 135°
Divergência	v1	v2	0° ou 180°
Cruzamento	v1	zero	90°

4.3.5 Cálculo das velocidades relativas e energia cinética

Velocidade relativa é a velocidade de aproximação entre os dois veículos conflitantes. É obtida através de cálculo vetorial das velocidades dos veículos (v1 e v2), já determinadas na etapa de caracterização da potencial colisão. Na FIGURA 4.5, pode-se observar a composição vetorial da velocidade relativa e o ângulo de aproximação ou colisão.

FIGURA 4.5 Desenho esquemático dos vetores velocidades

Contudo, concluiu-se que a energia cinética representaria melhor o grau de severidade de uma colisão, por entender que grande parte da energia cinética se converte em energia de deformação e atrito, no caso de um choque entre veículos. A energia cinética foi calculada para cada tipo de conflito identificado nas interseções em estudo. No cálculo, admitiu-se o valor um para a massa dos veículos envolvidos no conflito, ou seja, admitiu-se a hipótese simplificadora adicional de que todos os veículos envolvidos em acidentes têm massas iguais. A energia cinética é dada pela fórmula:

$$E_c = \frac{m \times v^2}{2}$$

Para melhor visualização do processo de cálculo da energia cinética, é apresentada na TABELA 4.2, a identificação dos tipos de interseção, e na TABELA 4.3, a planilha de cálculo com identificação do conflito, tipo de conflito, velocidades, ângulo e velocidade relativa para os seis casos propostos.

TABELA 4.2 Numeração de Identificação do Tipo de Interseção

TIPO	INTERSEÇÃO
1	ROTATÓRIA
2	TREVOSIM60
3	TREVOSIM80
4	TREVOACEL
5	INTDIVENTRE
6	INTDIVCANAL

TABELA 4.3 Planilha de Cálculo da Energia Cinética

Tipo	Conflito	V1	V2	ÂNGULO (°)	V(km/h)	Ec(kg*(km/h)^2)
1a	convergência	40	40	45	30,61	468
1b	divergência	40	40	10	6,97	24
2a	cruzamento	60	0	90	60	1800
2b	divergência	40	40	10	6,97	24
2c	convergência	40	40	45	30,61	468
2d	divergência	60	40	0	20	200
3a	cruzamento	80	0	90	80	3200
3b	divergência	40	40	10	6,97	24
3c	convergência	40	40	45	30,61	468
3d	divergência	80	40	0	40	800
4a	cruzamento	80	0	90	80	3200
4b	divergência	40	40	10	6,97	24
4c	convergência	40	40	45	30,61	468
4d	convergência	80	80	10	13,94	97
5a	convergência	30	60	45	44,21	977
5b	divergência	60	40	0	20	200
5c	convergência	40	40	45	30,61	468
5d	convergência	60	40	45	42,5	903
5e	divergência	60	30	0	30	450
5f	convergência	30	30	45	22,96	264
5g	convergência	60	60	10	10,46	55
6a	cruzamento	30	0	135	30	450
6b	cruzamento	30	60	135	83,94	3523
6c	convergência	30	30	45	22,96	264
6d	cruzamento	60	0	90	60	1800
6e	convergência	40	40	45	30,61	468
6f	convergência	60	60	10	10,46	55
6g	convergência	60	0	45	60	1800

4.3.6 Classificação dos conflitos e cálculo dos pesos dos graus de severidade

Como exposto nos itens 2.1 e 4.3.1, a severidade de um conflito pode ser classificada em três categorias: baixa, média e alta. Assim, após o cálculo de todas as energias cinéticas de todos os conflitos, em todas as interseções, segue-se o processo de classificação dos conflitos através da fixação de valores limites de energia cinética para cada grau de severidade.

Definiram-se os intervalos de cada grau de severidade como sendo a divisão eqüitativa da amplitude de variação de energia cinética de todos os conflitos (D), ou seja, a diferença entre a maior e a menor energia cinética, respectivamente, Ec_{maior} e Ec_{menor} , dentro do conjunto de conflitos analisados. Na TABELA 4.4, é mostrada a formulação matemática dos intervalos de energia cinética para cada grau de severidade. Os intervalos referentes ao grupo de conflitos analisados neste estudo estão na TABELA 4.5.

TABELA 4.4 Intervalo de classificação de severidade (formulação matemática)

Graus de Severidade	Limites da Ec	
	Inferior	Superior
Baixa	Ec_{menor}	$Ec_{menor} + D/3$
Média	$Ec_{menor} + D/3$	$Ec_{menor} + (2/3)*D$
Alta	$Ec_{menor} + (2/3)*D$	Ec_{maior}

TABELA 4.5 Intervalo de classificação de severidade dos conflitos analisados

Graus de Severidade	Limites da Ec	
	Inferior	Superior
Baixa	24	1190
Média	1190	2357
Alta	2357	3523

Com base nos intervalos de severidade acima, é possível classificar os conflitos identificados nas interseções em estudo. Esta classificação é imprescindível para o cálculo do peso ou fator de conversão de grau de severidade, e é mostrada na TABELA 4.6.

TABELA 4.6 Classificação dos conflitos analisados

Tipo	Conflito	$E_c(\text{kg} \cdot (\text{km/h})^2)$	Severidade
1a	convergência	468	Baixa
1b	divergência	24	Baixa
2a	cruzamento	1800	Média
2b	divergência	24	Baixa
2c	convergência	468	Baixa
2d	divergência	200	Baixa
3a	cruzamento	3200	Alta
3b	divergência	24	Baixa
3c	convergência	468	Baixa
3d	divergência	800	Baixa
4a	cruzamento	3200	Alta
4b	divergência	24	Baixa
4c	convergência	468	Baixa
4d	convergência	97	Baixa
5a	convergência	977	Baixa
5b	divergência	200	Baixa
5c	convergência	468	Baixa
5d	convergência	903	Baixa
5e	divergência	450	Baixa
5f	convergência	264	Baixa
5g	convergência	55	Baixa
6a	cruzamento	450	Baixa
6b	cruzamento	3523	Alta
6c	convergência	264	Baixa
6d	cruzamento	1800	Média
6e	convergência	468	Baixa
6f	convergência	55	Baixa
6g	convergência	1800	Média

O cálculo do peso de cada grau de severidade consiste na normalização da energia cinética média dos conflitos compreendidos em cada grau de severidade, a qual se dá através da divisão das energias cinéticas médias dos conflitos de cada grau de severidade pela energia cinética média dos conflitos de baixa severidade.

Para obtenção dos pesos é necessário seguir os seguintes passos:

- Obter o número de conflitos classificados em cada severidade (N_b , N_m e N_a);
- Obter o somatório das energias cinética dos conflitos de cada grau de severidade (S_b , S_m e S_a);
- Calcular a média das energias cinéticas dos conflitos de cada grau de severidade (M_b , M_m e M_a);

- d) Obter o peso de cada grau de severidade dividindo as energias cinéticas médias de cada severidade pela energia cinética média dos conflitos de baixa severidade (M_b).

Os mesmos passos de obtenção do peso de cada severidade estão ilustrados em forma de planilha de cálculo na TABELA 4.7. A TABELA 4.8 apresenta os valores dos pesos para esta aplicação. É importante enfatizar que, para cada grupo de interseções, haverá uma diferente relação entre os graus de severidade, ou seja, diferentes pesos.

TABELA 4.7 Planilha de Cálculo do Peso do Grau de Severidade

Severidade conflitos	Soma Ec	Número de conflitos	Média S/N	Normalização Peso
Baixa	S _b	N _b	M _b	M _b /M _b
Média	S _m	N _m	M _m	M _m /M _b
Alta	S _a	N _a	M _a	M _a /M _b

TABELA 4.8 Cálculo dos Pesos do Grau de Severidade nesta aplicação

Severidade conflitos	Soma Ec	Número de conflitos	Média S/N	Normalização Peso
Baixa	7622	22	346	1
Média	5400	3	1800	5
Alta	9923	3	3308	10

4.3.7 Contabilização do número de conflitos por movimento

Nesta etapa, o objetivo é contabilizar o número de conflitos ao qual um veículo se expõe ao executar as manobras de seguir em frente, girar à direita e girar à esquerda para cada aproximação. Adotou-se a convenção apresentada na FIGURA 4.6.

FIGURA 4.6 Convenção para contagem de conflitos

A contabilização dos conflitos é baseada na observação do trajeto que um veículo descreve ao executar uma manobra (em frente, conversão à direita e à esquerda), e a passagem pelos pontos de conflitos classificados quanto ao grau de severidade, como pode ser visto na FIGURA 4.7.

FIGURA 4.7 Exemplo de representação dos conflitos e trajetórias dos movimentos numa ROTATÓRIA

A TABELA 4.9 apresenta o número de conflitos gerados em cada grau de severidade por um veículo ao executar manobras nas quatro aproximações de uma rotatória. Assim, como exemplo, um veículo, ao executar a manobra de ir em frente na aproximação A1 de uma rotatória, gera quatro conflitos de baixa severidade. A TABELA 4.9 é parte integrante da planilha de cálculo do TCEBS que é apresentada na TABELA 4.10 do tópico 4.3.8.

TABELA 4.9 Conflitos segundo o movimento executado numa ROTATÓRIA

Aproximações	A1	A2	A3	A4
Severidade	Conflitos (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	4	4	4	4
Severidade	Conflitos (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	2	2
Severidade	Conflitos (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6

4.3.8 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade (TCEBS)

O valor do TCEBS depende dos volumes de tráfego de todos os movimentos de todas as aproximações, da contabilização dos conflitos por movimentos e dos pesos dos graus de severidade.

O processo de cálculo do TCEBS obedece a seguinte sequência de etapas:

- a) Identificar os volumes de tráfego de cada movimento para cada aproximação:

$VTF_{1,2,3 \text{ ou } 4}$ = Volume Total em Frente ;

$VTD_{1,2,3 \text{ ou } 4}$ = Volume Total de giro à direita ;

$VTE_{1,2,3 \text{ ou } 4}$ = Volume Total de giro à esquerda;

$1,2,3 \text{ ou } 4$ = índices das aproximações segundo a convenção estabelecida ;

- b) Calcular o total de conflitos de cada grau de severidade para cada aproximação pelas fórmulas:

$$Tca_{1,2,3 \text{ ou } 4} = (VTF * Naf + VTD * Nad + VTE * Nae); \quad (1)$$

$$Tcm_{1,2,3 \text{ ou } 4} = (VTF * Nmf + VTD * Nmd + VTE * Nme); \quad (2)$$

$$Tcb_{1,2,3 \text{ ou } 4} = (VTF * Nbf + VTD * Nbd + VTE * Nbe); \quad (3)$$

Onde,

Tca = Total de Conflitos de Alta Severidade

Tcm = Total de Conflitos de Média Severidade;

Tcb = Total de Conflitos de Baixa Severidade;

N = número de conflitos por movimento, definidos no item 4.3.7;

"a", "m" e "b" = identificadores do grau de severidade, alta, média e baixa severidade, respectivamente;

"f", "d" e "e" = identificadores do tipo de movimento, seguir em frente, giro à direita e giro à esquerda, respectivamente.

- c) Converter os todos conflitos em conflitos equivalentes de baixa severidade para cada aproximação pelas fórmulas:

$$Teas_{1,2,3 \text{ ou } 4} = Pa * Tca; \quad (4)$$

$$Tems_{1,2,3 \text{ ou } 4} = Pm * Tcm; \quad (5)$$

$$Teb_{1,2,3 \text{ ou } 4} = Pb * Tcb; \quad (6)$$

Onde,

Teas = Total de conflitos de alta severidade convertidos em conflitos de baixa severidade;

Tems = Total de conflitos de média severidade convertidos em conflitos de baixa severidade;

Teb = Total de conflitos de baixa severidade;

Pa = Peso para o conflito de alta severidade;

Pm = Peso para o conflito de média severidade;

Pb = Peso para o conflito de baixa severidade;

d) Calcular o total de conflitos equivalentes por aproximação pela fórmula:

$$\text{TCEBS}_{1,2,3 \text{ ou } 4} = \text{Teas}_{1,2,3 \text{ ou } 4} + \text{Tems}_{1,2,3 \text{ ou } 4} + \text{Tebs}_{1,2,3 \text{ ou } 4} \quad (7)$$

e) Calcular o valor do total de conflitos equivalentes de baixa severidade (TCEBS) pela fórmula:

$$\text{TCEBS} = \text{TCEBS}_1 + \text{TCEBS}_2 + \text{TCEBS}_3 + \text{TCEBS}_4 \quad (8)$$

A TABELA 4.10 apresenta um modelo de planilha de cálculo que condensa as fórmulas apresentadas acima e utiliza também a mesma nomenclatura. Os cálculos estão organizados por aproximação e identificados pelas colunas A1, A2, A3 e A4.

TABELA 4.10 Planilha de Cálculo de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade

PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3	A4
Em frente		VTF	VTF	VTF	VTF
Giro à direita		VTD	VTD	VTD	VTD
Giro à esquerda		VTE	VTE	VTE	VTE
Severidade		Conflitos (Em frente)			
Alta		Naf	Naf	Naf	Naf
Média		Nmf	Nmf	Nmf	Nmf
Baixa		Nbf	Nbf	Nbf	Nbf
Severidade		Conflitos (Giro à Direita)			
Alta		Nad	Nad	Nad	Nad
Média		Nmd	Nmd	Nmd	Nmd
Baixa		Nbd	Nbd	Nbd	Nbd
Severidade		Conflitos (Giro à esquerda)			
Alta		Nae	Nae	Nae	Nae
Média		Nme	Nme	Nme	Nme
Baixa		Nbe	Nbe	Nbe	Nbe
Severidade		Número de conflitos			
Alta		Tca	Tca	Tca	Tca
Média		Tcm	Tcm	Tcm	Tcm
Baixa		Tcb	Tcb	Tcb	Tcb
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	Pa	Teas	Teas	Teas	Teas
Pm(média) =	Pm	Tems	Tems	Tems	Tems
Pb(baixa) =	Pb	Tebs	Tebs	Tebs	Tebs
TCEBS =	TCEBS	TCEBS ₁	TCEBS ₂	TCEBS ₃	TCEBS ₄

Na comparação de configurações alternativas, adotou-se a menor capacidade integral de processamento como limite para todas as outras, de forma a calcular o TCEBS para o mesmo volume de tráfego. Nesta aplicação, foram calculados os TCEBS para 5 situações de capacidade integral de processamento: com volume na via secundária de 10, 20, 30, 40 e 50% do volume da via principal. As planilhas de cálculo do TCEBS das interseções analisadas estão no Apêndice C.

4.4 Capacidade Integral de Processamento

4.4.1 INTEGRATION

INTEGRATION – Traffic Simulation Model - Release 2.3a é um modelo de simulador de tráfego que une os modelos macroscópicos de fluxo de tráfego e modelos microscópicos de movimento veicular (“car-following”, “lane changing”, e “gap acceptance”).

O programa disponibiliza medidas de desempenho como: tempo de atraso, paradas, consumo de combustível, emissão de hidrocarbonetos, emissão de monóxido de carbono, emissão de óxido nítrico e risco de colisão para 14 tipos de colisão.

O INTEGRATION foi usado em duas situações. O primeiro uso foi para cálculo da capacidade integral de processamento em que se executou simulações, seguindo um algoritmo de cálculo. O segundo uso foi para cálculo do atraso médio baseado numa tabela de saída, que resume todos os índices de desempenho. Não se utilizou a ferramenta de risco de colisão do INTEGRATION, pois calcula seus valores de risco de colisão com base em históricos estatísticos de acidentes do local de origem.

4.4.2 Estrutura Básica

Uma interseção funciona como uma pequena rede de tráfego. Sua modelagem se dá através de nós, tramos e elementos de controle. Os nós podem representar encontros entre tramos ou quaisquer outros pontos onde ocorra mudança de

características das vias, tais como redução ou aumento do número de faixas ou velocidades, ou mudança na magnitude do greide. Neste estudo, uma das condições básicas é que as superfícies topográficas sob as interseções são planas, logo não há mudança de greide.

Os tramos promovem a ligação entre os nós e representam as vias que compõem o dispositivo de interseção e seus acessos. A cada tramo, associa-se uma relação de fluxo-velocidade, que determina o padrão de velocidades dos veículos quando presentes nesse tramo. Cada tramo tem uma origem e um destino que definem o sentido do movimento permitido no tramo.

Os elementos de controle de tráfego são os dispositivos utilizados para controlar a prioridade de movimento entre tramos, tais como: semáforos, placas "Pare" e "Dê a Preferência".

O tráfego nos tramos da rede é gerado a partir de demandas, originadas em um ou mais nós da rede (interseção e rodovias de acesso), e tem como destino um ou mais nós. A demanda é caracterizada por uma distribuição temporal de viagens, que define os instantes de entrada dos veículos na rede e o tipo de veículo gerado.

4.4.3 Dinâmica Veicular

O modelo de simulação calcula a velocidade do veículo com base na distância de "headway" entre esse veículo e o veículo imediatamente a montante dentro da mesma faixa de tráfego. A capacidade veicular para alcançar a velocidade desejada é controlada pela relação peso/potência, resistência aerodinâmica, resistência ao rolamento e resistência de rampa.

A modelagem do comportamento veicular, "car-following" ou veículo seguidor, faz com que o modelo capture a formação espacial e temporal das filas nos gargalos e a formação de "shockwaves" ou onda de choque. A modelagem de comportamento veicular de mudança de faixa de tráfego faz com que o modelo identifique a mudança

dinâmica nas capacidades de convergir, divergir e entrelaçar do trecho. Mais informações sobre este assunto pode ser encontrado em PECKER et al. (2001).

O modelo microscópico de aceitação de "gap" é utilizado para refletir o impacto dos fluxos conflitantes em oposição às manobras de giro à direita e à esquerda. Esta oposição é calculada automaticamente pelo modelo em cada interseção, isto é, pela sua lógica embutida. A lógica interna especifica quais movimentos contrários estão em conflito com o movimento de interesse, e determina quais dos movimentos são contrários dentro da faixa de tráfego ou "link" compartilhado.

De um modo simplificado, a lógica da aceitação de "gaps" funciona admitindo um valor padrão para tamanho do "gap", 5 segundos para cada tramo conflitante. Acontecendo adição neste "gap" de 0,5 segundo quando o veículo executa giro à direita, 1 segundo quando o veículo executa giro à esquerda e de 1 segundo para cada faixa adicional na manobra de cruzamento da via.

Segundo o manual da versão mais nova do INTEGRATION, este mecanismo é recomendado até no máximo de dois tramos conflitantes, excedendo este valor, aconselha-se modificar o valor do "gap" padrão (VAN AERDE, 2002). Contudo, não se alterou o valor do "gap" padrão pelo fato da versão utilizada não dispor do arquivo "ops_gaps.dat", o qual modela a lógica de aceitação do "gap". Esta limitação da versão utilizada do INTEGRATION não compromete os resultados obtidos, uma vez que somente foi identificado um caso em que a interseção analisada apresentou três tramos conflitantes (INTDIVCANAL).

Todas as decisões impostas pelos modelos integrados do INTEGRATION são tomadas na ordem de um décimo de segundo. Maiores detalhes sobre a dinâmica veicular desenvolvida no programa INTEGRATION podem ser encontrados nos trabalhos de DEMARCHI (2000) ou nos manuais do programa indicados nas Referências Bibliográficas sob a autoria de VAN AERDE.

4.4.4 Preparação para Entrada de Dados

Como foi dito no tópico 4.4.2 Estrutura Básica, é necessário que se transformem as geometrias das interseções em pequenas redes formadas de nós e tramos. Esta transformação é feita através de um esboço da geometria, em que são numerados os nós e tramos. A enumeração dos nós e tramos, a retirada dos comprimentos dos tramos e das coordenadas dos nós do desenho em escala das interseções são imprescindíveis na elaboração dos arquivos de nós e de tramos.

Teve-se o cuidado de acrescentar 1 Km aos tramos que chegam e saem da interseção, como uma forma de assegurar fluxo livre antes e depois da interseção, e assim, isolar o estudo de outros fatores como o não alcance dos veículos à velocidade de fluxo livre, acarretando um regime de congestionamento antes da interseção. O valor acrescido foi adotado baseado na experiência do trabalho de DEMARCHI (2000).

Considerando o funcionamento operacional e o projeto da interseção, é importante identificar qual tramo possui controle de tráfego e qual tipo, isto é, qual placa de sinalização, "PARE" ou "DÊ A PREFERÊNCIA", controla o tráfego. Com este procedimento é possível indicar a prioridade entre tramos nos arquivos de tramos e de permissão e proibição.

4.4.5 Entrada de Dados do INTEGRATION

Os arquivos de entrada de dados são elaborados em formato tipo texto e contêm dados tabulados em colunas, separados por espaços. A descrição dos arquivos restringe-se aos dados necessários para as simulações desta pesquisa, de forma que os interessados na descrição de outros dados devem consultar o manual do INTEGRATION (VAN AERDE, 1998). No ANEXO A, é mostrada a descrição geral dos arquivos utilizados no estudo. Desta forma, são apresentadas somente as informações consideradas relevantes e particulares a esta aplicação.

Numa breve revisão, para que se possa realizar uma simulação é necessário criar os seguintes arquivos de entrada: mestre, de nós, de tramos, de semáforos, de demandas, de incidentes, de parâmetros veiculares e de Permissão e Proibição. Destes, os arquivos de semáforos e de incidentes são necessários à sua criação, mas eles não contêm dados.

No arquivo de tramos, admitiu-se que a velocidade em fluxo livre é igual à velocidade máxima permitida em cada tramo, e que a velocidade na capacidade é igual a 80% da velocidade no fluxo livre. Esta hipótese pode ser justificada pelo TRB (1994) que após inúmeras pesquisas, concluiu que a velocidade na capacidade que caracteriza o ponto de passagem do regime não congestionado para congestionado, é maior que metade do fluxo livre e que a velocidade reduz pouco com o aumento do fluxo, até um fluxo de 1500 cpe/h. A densidade de congestionamento foi arbitrada em 140 veículos/km tomando como referência o estudo de DEMARCHI (2000).

A capacidade do tramo foi calculada através do produto da velocidade na capacidade pela densidade na capacidade de 14 cpe/Km, calculada para uma capacidade indicada no TRB (1994) de 2800 veíc./h em ambos os sentidos em rodovias rurais de duas faixas de tráfego e adotando a velocidade na capacidade de 60 milhas/hora ou 96,6 Km/h.

Foi realizada a equivalência entre espaçamentos, que é utilizada pelo INTEGRATION para alterar a relação entre espaçamento e velocidade em função do maior ou menor comprimento dos veículos. A partir do espaçamento médio entre automóveis na condição de fluxo parado (S_a), pode-se calcular os espaçamentos de congestionamento dos caminhões, supondo que a distância entre o pára-choque traseiro de um veículo e o pára-choque dianteiro do veículo seguinte é igual quando há congestionamento na via, e independe do tipo de veículo. Assim, a equivalência é dada pela fórmula:

$$e_s = \frac{l_t + (S_a - l_a)}{S_a}$$

Onde:

S_a é o espaçamento no congestionamento para automóveis e é igual ao inverso da densidade de congestionamento (veic/1000m);

l_i é o comprimento do caminhão; e

l_a é o comprimento do automóvel.

A TABELA 4.11 mostra os comprimentos, espaçamentos de congestionamento e a equivalência entre espaçamentos.

TABELA 4.11 Equivalência entre espaçamentos

Veículo	l (m)	S (m)	e_s
Automóvel	4	7,14	1
Ônibus	13	16,14	2,26
Caminhão Rígido	13	16,14	2,26
Semi Reboque	18	21,14	2,96
Veículo Combinado Longo	25	28,14	3,94

O arquivo de demanda foi elaborado usando uma planilha de cálculo que respeita duas distribuições, uma de movimentos: 10% de giros à direita, 15% de giros à esquerda e 75% em frente, em todas as aproximações; e outra de categorias: 50% de veículos de passeio, 5% ônibus e 45% de caminhões, sendo destes, 20% unitários, 15% semi-reboques e 10% de veículos combinados longos.

Para cada interseção, foram simuladas 5 situações de divisão de volumes de tráfego, logo 5 arquivos de demanda. As situações são: volumes da via secundária de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do volume da via principal.

Uma das demandas foi denominada de volume de referência no cálculo da capacidade integral de processamento, por ser utilizada como variável de interação do algoritmo de cálculo da capacidade integral de processamento. O volume de referência (VR) escolhido foi o volume de veículos de passeio que segue em frente na via

principal na aproximação A1. O VR também é utilizado para gerar as demais demandas no arquivo de demandas respeitando os percentuais de distribuição do tipos de veículo e tipos de manobra.

O arquivo de parâmetros veiculares teve como referência os trabalhos de PIERIN & DEMARCHI (2001) e DEMARCHI (2000), por conterem informações e dados sobre a frota que circula no Estado de São Paulo, baseados em contagens em balaça e em manuais de fabricantes. Os trabalhos tomados como referência não contemplam a categoria de ônibus, e como não se dispunha de nenhum subsídio para escolha de um modelo específico de ônibus rodoviário, adotou-se o VOLVO B7R. A TABELA 4.12 mostra os parâmetros veiculares adotados.

TABELA 4.12 Parâmetros Veiculares

Parâmetros	Categorias				
	Automóvel	Ônibus	Caminhão Rígido	Semi Reboque	Veículo Combinado Longo
m (Kg)	1200	10000	22000	42000	70000
L(m)	4	13	13	18	25
% m eixo trator	0,5	0,65	0,4	0,24	0,145
μ	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
P (KW)	68	200	110	250	310
η	0,8	0,87	0,87	0,87	0,87
C_d	0,3	0,8	0,8	0,9	0,9
A (m ²)	2	8,3	7,5	9	10
C_r	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
C_2	0,0125	0,0125	0,0125	0,0255	0,0255
C_3	7,6	7,6	7,6	4,1	4,1

4.4.6 Algoritmo de Cálculo

Capacidade integral de processamento é o volume máximo de veículos processados em uma hora de simulação. Entende-se por veículo processado como o veículo que sai de sua origem e consegue completar todo o percurso até seu destino final dentro de uma hora de simulação.

Após o processo de aprendizagem do uso do INTEGRATION, realizaram-se vários testes e se desenvolveu um método empírico para obtenção da capacidade integral de processamento. O método utiliza basicamente a observação na tela da saída gráfica da simulação e da janela de acompanhamento da simulação; e uma sequência de anotações de resultados e identificações visuais contidas no algoritmo de cálculo.

A saída gráfica e a janela de acompanhamento da simulação são mostradas na FIGURA 4.8. A janela de acompanhamento da simulação apresenta as seguintes informações: tempo de simulação, tempo real ou de CPU, número de partidas ("departed"), veículos adiados("deferred"), veículos em rota ("En-route"), número de chegada ("arrived"), tempo de parada ("time step") e velocidade da simulação ("target speed").

FIGURA 4.8 Tela de simulação do INTEGRATION

Foram observadas duas situações quando se aumentava o fluxo na interseção: na primeira, o programa não conseguia mais gerar veículos para dentro do sistema e ao final da simulação indicava um número de veículos adiados ("deffered"); na segunda, nas aproximações da via secundária, formavam-se filas que se estendiam para os tramos que alimentavam a interseção, indicando a superação da capacidade da aproximação.

Desta forma, o princípio do método é aumentar paulatinamente o valor de VR, e consequentemente os demais demandas calculadas a partir dele, e utilizar como critérios de parada: a não formação de filas nos tramos de acesso da via secundária; a ausência de veículos adiados ao final da simulação e a diferença de 10 veículos por hora entre o volume referência (VR) e o volume referência anterior (VA).

O critério de parada de não haver fila no tramo de acesso indica que os veículos que chegam nas aproximações da via secundária estão tendo oportunidade de entrar na interseção durante o período simulado, podendo ou não haver filas dentro da área da interseção.

A condição de não haver veículos adiados ao final da simulação indica que os tramos da via principal que alimentam a interseção estão trabalhando na capacidade ou abaixo dela.

A diferença de 10 veíc./h entre VR e VA foi um valor arbitrado para que o processo de interação convergisse sem exigir um grande número de simulações. Os valores referências VR e VA representam o mesmo volume de tráfego de automóveis que segue em frente na via principal e funcionam como pivôs do algoritmo de cálculo.

Na FIGURA 4.9, é apresentado o algoritmo de cálculo da capacidade integral de processamento, onde todos os questionamentos sobre a simulação são respondidos com sim ou não e, paralelamente é registrado o mecanismo de interação do VA, que armazena o valor do VR que atende aos critérios de parada.

FIGURA 4.9 Algoritmo de cálculo da capacidade integral de processamento

Na TABELA 4.13, é apresentado um exemplo do cálculo iterativo do VR de uma interseção a fim de dar mais clareza à lógica ou mecanismo do algoritmo proposto.

TABELA 4.13 Exemplo de planilha de interação do VR da capacidade integral de processamento

Interação(n)	VA (veic./h)	VR (veic./h)	Veículos Adiados	Há Fila?
1	0	50	0	Não
2	50	100	0	Não
3	100	150	268	Não
4	100	125	122	Não
5	100	113	54	Não
6	100	107	22	Não

Nesse exemplo, o VR da capacidade integral de processamento é o valor correspondente à segunda interação, pois como pode ser observado, a partir da terceira interação começa a cair a diferença entre VR e VA e a diminuir o número de veículos adiados até a sexta interação, onde a diferença entre VR e VA é menor que 10 veíc./h, o que faz o valor de VR da capacidade integral de processamento assumir o valor de VA. Assim, o valor da capacidade integral de processamento corresponde ao valor de “arrived” encontrado na simulação que teve como VR o valor de 100 veíc./h. O valor de “arrived” é indicado numa janela do INTEGRATION conforme é mostrado na FIGURA 4.8 na página 59.

4.5 Atraso e Espera Médios

Como foi mencionado no tópico 2.3, optou-se por avaliar a qualidade de operação das interseções através dos tempos de espera e atraso médios fornecidos pelo INTEGRATION no seu arquivo de saída “summary.out”. Mais informações sobre esse arquivo podem ser conseguidas no Apêndice A.

O volume de tráfego considerado na simulação para avaliação dos tempos de espera e atraso foi a menor capacidade integral de processamento do grupo de interseções, representada pelo valor de VR. Foram realizadas 5 rodadas de simulações referentes aos 5 casos de distribuição de volume de tráfego admitidos no

estudo de capacidade integral de processamento (10, 20, 30, 40 e 50% do volume de tráfego da via principal).

O arquivo de saída "summary.out" fornece os valores médios de tempo parado e tempo gasto com aceleração e desaceleração de todos os veículos processados. Por entender que o tempo parado recai principalmente sobre os motoristas que não têm prioridade, não se adotou o valor do tempo médio parado (espera) fornecido pelo INTEGRATION como valor representativo da espera média na interseção.

Adotou-se como conceito da espera média o total de tempo parado dividido pelo volume de veículos sem prioridade. O tempo total parado é fornecido pelo INTEGRATION no arquivo de saída "summary.out". E o volume de veículos sem prioridade é obtido, aplicando-se os percentuais de distribuição de volumes da via principal e secundária e de movimentos (75% seguir em frente, 15% de giro à esquerda e 10% de giro à direita) sobre o total de veículos processados, assumindo a hipótese simplificadora que os percentuais de distribuição se mantenham constantes ao final da simulação.

Na TABELA 4.14, é dado um exemplo de cálculo da espera média, e como se pode ver para os casos específicos da ROTATÓRIA e da INTDIVENTRE, o volume processado é igual ao volume processado sem prioridade, pois podem ocorrer paradas em todas as aproximações. Nos outros casos, as paradas só podem ocorrer nas aproximações secundárias.

TABELA 4.14 Exemplo de planilha de cálculo da espera média

Caso: VS=10%VP TIPO	VEÍC.		Atraso Médio(s)	Parado (s)	Desac./ Acel.(s)	Total(s) Parado	VEÍC. PROCES.			Espera Média(s)
	VR	PROC.					Princ.	Sec	S/priori	
ROTATÓRIA	100	465	303,77	6,75	297,01	3140,15	423	42	465	6,75
TREVOSIM60	100	552	59,51	1,21	58,30	670,13	502	50	176	3,82
TREVOSIM80	100	558	54,01	0,49	53,52	270,63	507	51	178	1,52
TREVOACEL	100	559	57,67	0,46	57,67	254,35	508	51	178	1,43
INTDIVENTRE	100	523	127,60	0,43	127,60	223,32	475	48	523	0,43
INTDIVCANAL	100	531	113,66	2,40	111,25	1275,99	483	48	169	7,55

Os valores adotados para os atrasos médios foram os fornecidos pelo programa sem nenhum tratamento, e correspondem aos somatórios dos tempos médios parados e tempos médios gastos com aceleração e desaceleração de todos os veículos processados.

4.6 Custo de Construção

4.6.1 Valores de Projeto Adotados

Com a finalidade de simplificar a elaboração dos orçamentos, adotou-se os seguintes valores para os parâmetros de cálculo:

- a) Terraplenagem: para cálculo do volume de transporte adotou-se o transporte até 1 km de material de 1º ou 2º categoria de solo natural à profundidade de 0,6 m e densidade de transporte de 1,2 g/cm³; para cálculo do volume de material de aterro adotou-se a espessura de 0,8 m, a densidade compactada do solo de 1,8 g/cm³ e a densidade de transporte de 1,2 g/cm³;
- b) Pavimentação: para o cálculo do volume de material para sub-base adotou-se solo estabilizado granulometricamente sem mistura com espessura de 0,25 m; para o cálculo do volume de material para base adotou-se solo estabilizado granulometricamente sem mistura com espessura de 0,10 m; para o cálculo de volume de CBUQ para a pista de rolamento adotou-se a espessura de 0,10 m; para cálculo de volume de CBUQ para acostamento adotou-se a espessura de 0,05 m.

A FIGURA 4.10 ilustra algumas medidas citadas acima no cálculo dos quantitativos e as larguras adotadas para faixa de tráfego nos trechos retos (3,6 m) e para acostamento (2,7 m). Nos trechos em curva, as larguras das faixas de rolamento são maiores e variáveis segundo a sobrelargura exigida pelo veículo padrão de projeto. Detalhes do projeto geométrico das interseções podem ser visualizados no Anexo D.

FIGURA 4.10 Característica geométrica do perfil

4.6.2 Cálculo dos Quantitativos

O levantamento dos quantitativos foi feito levando-se em consideração os valores de projeto relacionados no tópico 4.6.1 e os desenhos em planta dos projetos geométricos das interseções elaborados no programa AUTOCAD que se encontram no Anexo D.

4.6.3 Preenchimento e Cálculo da Planilha de Custo de Construção

As planilhas foram elaboradas na planilha de cálculo EXCEL e são apresentadas no Anexo C. A planilha de cálculo contém: os custos de terraplenagem, pavimentação e drenagem com descrição dos respectivos serviços rodoviários; a quantidade, a unidade de medição, o preço unitário e total de cada serviço; o valor monetário de cada custo e sua participação percentual no custo total; e o custo total da obra.

Os preços dos serviços rodoviários utilizados são referentes ao mês de março de 2002 e foram extraídos das tabelas de preços do DER-SP (2002) e DNER (2002). É importante reafirmar que, embora o título do critério seja custo de construção, o valor calculado corresponde ao valor monetário desembolsado para terceiros construírem a interseção rodoviária.

5. RESULTADOS

Os resultados estão organizados em cinco tópicos, e em todos, são apresentadas as cinco situações de distribuição de volume de tráfego simuladas, ou seja, as simulações para volume de tráfego da via secundária (VS) igual a 10, 20, 30, 40 e 50% do volume de tráfego da via principal (VP). As legendas dos gráficos de resultados fazem uso da mesma nomenclatura estabelecida no capítulo 3.

5.1 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade (TCEBS)

As FIGURAS 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam os valores de TCEBS para as interseções em estudo. Em todos os casos, pode-se observar que a hierarquia entre as interseções é mantida e que os valores de TCEBS sofrem um acréscimo devido ao aumento do percentual do volume de tráfego da via secundária.

FIGURA 5.1 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 10%VP

FIGURA 5.2 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 20%VP

FIGURA 5.3 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 30%VP

FIGURA 5.4 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 40%VP

FIGURA 5.5 Total de Conflitos Equivalentes de Baixa Severidade para VS = 50%VP

5.2 Capacidade Integral de Processamento

Nas FIGURAS 5.6, 5.7 e 5.8, a hierarquia entre as interseções se mantém constante, contudo as diferenças de capacidade diminuem devido ao aumento das capacidades da ROTATÓRIA, da INTDIVENTRE e da INTDIVCANAL; e a diminuição das capacidades do TREVOACEL, do TREVOSIM80 e do TREVOSIM60.

FIGURA 5.6 Capacidade Integral de Processamento para VS = 10%VP

FIGURA 5.7 Capacidade Integral de Processamento para VS = 20%VP

FIGURA 5.8 Capacidade Integral de Processamento para VS = 30%VP

As FIGURAS 5.9 e 5.10 mostram mudanças: a capacidade da INTDIVCANAL decresceu; a capacidade da INTDIVENTRE superou as capacidades do TREVOACEL, do TREVOSIM80 e do TREVOSIM60, as quais mantêm o movimento decrescente; e a ROTATÓRIA permaneceu crescendo.

FIGURA 5.9 Capacidade Integral de Processamento para VS = 40%VP

FIGURA 5.10 Capacidade Integral de Processamento para VS = 50%VP

A capacidade da ROTATÓRIA cresce à medida que se aumenta o percentual da via secundária devido ao aumento do volume de tráfego da via secundária ser superior à diminuição do volume da via principal como é mostrado na FIGURA 5.11.

FIGURA 5.11 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da ROTATÓRIA

Para os casos do TREVOSIM60, TRECOSIM80 e TREVOACEL, a capacidade decresce à proporção que se aumenta o percentual da via secundária devido ao fator que para aumentar o volume da via secundária tem que haver uma forte redução no volume de tráfego da via principal como pode ser acompanhado nas FIGURA 5.12, 5.13 e 5.14.

FIGURA 5.12 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOSIM60

FIGURA 5.13 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOSIM80

FIGURA 5.14 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da TREVOACEL

A INTDIVENTRE apresenta o mesmo comportamento da ROTATÓRIA com relação ao aumento da capacidade, mas observou-se que para o caso de 50% do volume da via principal, a capacidade caiu um pouco, como pode ser visto na FIGURA 5.15. Esta leve queda pode ser consequência da não precisão do método de cálculo ou um indicativo de mudança de tendência e constitui um ponto que merece investigações futuras.

FIGURA 5.15 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da INTDIVENTRE

A FIGURA 5.16 mostra o comportamento da capacidade da INTDIVCANAL que inicialmente aumenta com o acréscimo no percentual da via secundária até o valor de 30%, e a partir de então, a capacidade começa a decrescer. Este comportamento revela que os volumes alocados na via secundária afetam diretamente o critério de parada de não haver fila no tramo que alimenta a interseção na via secundária, pois alteram as taxas de chegada de veículos nas aproximações da via secundária e consequentemente fazem com que para um mesmo volume de veículos na via secundária haja valores diferentes de capacidade integral de processamento.

FIGURA 5.16 Distribuição dos volumes de tráfego na capacidade integral de processamento da INTDIVCANAL

5.3 Atraso e Espera Média

Os resultados do atraso e da espera média são apresentados juntos nos gráficos e apresentam uma visível disparidade de ordem de grandeza. Segundo as FIGURAS 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21, tanto a hierarquia do atraso médio quanto da espera média se mantêm constantes em todos os casos simulados. As esperas médias de todas as interseções aumentam à medida que se eleva o volume da via secundária. Para o caso do atraso médio, não foram identificadas tendências em nenhuma das interseções.

FIGURA 5.17 Atraso e Espera Média para VS = 10%VP

FIGURA 5.18 Atraso e Espera Média para VS = 20%VP

FIGURA 5.19 Atraso e Espera Média para VS = 30%VP

FIGURA 5.20 Atraso e Espera Média para VS = 40%VP

FIGURA 5.21 Atraso e Espera Média para VS = 50%VP

5.4 Custo de Construção

Os custos de construção das interseções são mostrados na FIGURA 5.22. As interseções, TREVOSIM80 e TREVOSIM60, são indicadas no mesmo campo, TREVOSIM60/80, por terem o mesmo projeto geométrico e, conseqüentemente, o mesmo custo de construção.

FIGURA 5.22 Custo de Construção de Interseções

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados envolveu a hierarquização das interseções com relação aos critérios, o registro das principais implicações dos resultados e a avaliação da eficácia do uso de cada critério. A eficácia consiste em verificar se o critério conseguiu indicar satisfatoriamente a diferença de desempenho entre as interseções avaliadas.

Conforme o exposto no capítulo 4, os valores de número de conflitos, atraso e espera média para todos os tipos de interseção foram calculados para o volume de tráfego correspondente à capacidade máxima da interseção mais crítica, que no caso desta pesquisa, foi a ROTATÓRIA.

No tópico 6.5, foi realizado uma análise comparativa entre as interseções considerando todos os critérios para a mesma condição de volume de tráfego identificada acima.

6.1 Número de Conflitos

A ROTATÓRIA apresentou os melhores resultados, isto é, os menores números de conflitos. A INTDIVENTRE, com resultados próximos aos da ROTATÓRIA, ocupou o segundo lugar. O TREVOSIM60 estabeleceu-se na terceira colocação com resultados bem melhores que a mesma geometria com velocidade de 80 km/h, TREVOSIM80, que juntamente com o TREVOACEL e INTDIVCANAL, praticamente, obtiveram número de conflitos na mesma ordem de grandeza e compartilharam o quarto lugar neste quesito como pode ser observado na FIGURA 6.1.

FIGURA 6.1 Resumo de resultados - número de conflitos

Os resultados para o TREVOSIM60 e TREVOSIM80 mostram que a implantação de dispositivos de controle de velocidade na via principal com imposição da velocidade de 60 km/h, pode contribuir significativamente para redução da gravidade dos conflitos nessas interseções, que são as mais utilizadas no país.

Vale salientar também que, embora a INTDIVCANAL contemple a redução de velocidade para 60 km/h na via principal, não conseguiu atingir bons resultados como a INTDVENTRE e TREVOSIM60. Constatou-se que o uso de faixas de aceleração e desaceleração presentes no TREVOACEL gerou pequena redução no número de conflitos ao se comparar os resultados do TREVOACEL com o TREVOSIM80. Este fato pode ser justificado pelo baixo percentual de giros à direita, 10%, que seria teoricamente o maior beneficiado com a adoção da faixa de mudança de velocidade.

O método utilizado no cálculo dos números de conflitos mostrou-se eficaz por gerar conclusões ou indicações relevantes ao processo de comparação.

6.2 Capacidade Integral de Processamento

Baseado numa avaliação global do desempenho das interseções nos cinco casos de distribuição de volume de tráfego entre via principal e secundária, pode-se ordenar os desempenhos das interseções da seguinte forma: em primeiro, o TREVOACEL e o TREVOSIM80; em segundo, o TREVOSIM60 com resultados próximos da terceira colocação; em terceiro, INTDIVENTRE e INTDIVCANAL; e em quarto, ROTATÓRIA. A FIGURA 6.2 mostra o resumo dos resultados das interseções e justifica a ordenação estabelecida.

FIGURA 6.2 Resumo de resultados – capacidade integral de processamento.

Verificou-se também neste critério, que o uso de faixas de aceleração e desaceleração presentes no TREVOACEL gerou pequeno aumento da capacidade ao se comparar os resultados do TREVOACEL com o TREVOSIM80. Entende-se que a justificativa é a mesma atribuída para o critério de número de conflitos, ou seja, baixo percentual de giros à direita, 10%.

Através da observação da FIGURA 6.3 é possível identificar as situações em que as interseções apresentaram um melhor desempenho com relação à capacidade integral de processamento.

FIGURA 6.3 Fluxos da via principal e secundária na capacidade integral de processamento

A ROTATÓRIA apresenta um bom desempenho para baixos volumes de tráfego, pois consegue aumentar sua capacidade de atendimento de veículos na via secundária com uma pequena redução no volume da via principal.

A INTDIVENTRE e a INTDIVCANAL possuem um comportamento semelhante, conseguem aumentar o fluxo da via secundária para uma ampla faixa de valores com uma pequena variação no volume de tráfego da via principal. Este comportamento se estende até um valor 200 veíc./h na via secundária para INTDIVENTRE; e 160 veículos por hora para INTDIVCANAL. Até o valor de 160 veíc./h na via secundária, o INTDIVCANAL conseguiu dar uma maior vazão de veículos na via principal que a INTDIVENTRE, pois o volume de tráfego via principal na INTDIVENTRE sofre influência da área de entrelaçamento.

Os trevos vazados, TREVOACEL, TREVOSIM80 e TREVOSIM60, apresentaram um comportamento muito semelhante, tendo seus melhores desempenhos para volumes inferiores a 150 veíc./h na via secundária, que correspondem a percentuais inferiores a 20% do volume da via principal.

Dentre as alternativas de interseções em nível propostas nesta pesquisa em substituição ao conceito do trevo vazado, nenhuma conseguiu atingir valores superiores a 550 veíc./h na via principal. Para volumes de tráfego desta ordem de grandeza, entretanto, o trevo vazado se justifica se o número de conversões ou cruzamento for muito pequeno. Em conseqüência, o atraso é grande e existe elevada probabilidade dos veículos da via secundária forçarem a passagem em condições inseguras.

O método de capacidade que agrega resultados de simulações do INTEGRATION gerou ordens de grandeza que permitiram indicar o comportamento de cada interseção e revelou uma medida de comparação de desempenho que foi denominada nesta pesquisa de capacidade integral de processamento. A idéia de contabilizar o total de veículos que trafegam por uma interseção já foi usada, contudo, não foi desenvolvido nenhum método de cálculo. Assim, atribuiu-se uma nomenclatura diferenciada para particularizar à medida que foi obtida através desse método proposto.

6.3 Atraso e Espera Média

A opção de se ter duas medidas de tempo para avaliar o nível de serviço das interseções tem como fim analisar o desconforto de todos os motoristas e o desconforto dos motoristas que não têm prioridade de passagem, utilizando para isso os parâmetros de atraso médio e espera média respectivamente.

Os resultados dos atrasos médios foram aglutinados na FIGURA 6.4, e baseado nela, estabeleceu-se a seguinte ordenação das interseções: em primeiro, TREVOACEL, TREVOSIM80 e TREVOSIM60; em segundo, INTDIVCANAL; em terceiro, INTDIVENTRE; e em quarto, ROTATÓRIA.

FIGURA 6.4 Resumo de resultados - atraso médio

A primeira colocação para os trevos vazados é justificada pelo fato da maior parcela dos fluxos de veículos terem prioridade total e não se exporem a nenhum atraso devido à presença de uma interseção.

O atraso médio engloba o tempo gasto parado e o tempo gasto com aceleração e desaceleração. Esta combinação adicionada a possíveis situações de congestionamento nos tramos que dão acesso às interseções fazem com que não se identifique uma tendência de comportamento em nenhuma das interseções, contudo, o valor do atraso médio é a medida que melhor representa o desconforto do motorista que deixa de ter prioridade total na via principal e é obrigado a reduzir a velocidade ou mesmo perder a prioridade para o caso da ROTATÓRIA.

A ordenação das interseções quanto à espera média é a seguinte: em primeiro, INTDIVCANAL; em segundo, TREVOACEL e TREVOSIM80; em terceiro, TREVOSIM60; em quarto, ROTATÓRIA; e em quinto, INTDIVENTRE. Os valores da espera média das interseções estão reunidos na FIGURA 6.5 onde se pode observar o aumento da espera média na maioria das interseções com a elevação do percentual do volume de tráfego na via secundária, caracterizando desta forma, uma tendência.

FIGURA 6.5 Resumo de resultados - espera média

Os trevos vazados destoaram um pouco da tendência de aumento da espera média com o aumento do volume de tráfego da via secundária por apresentarem uma incisiva redução no fluxo de veículos da via principal para poder atender a um maior volume de veículo da via secundária. Assim, com a diminuição do volume de tráfego da via principal, as brechas ou “gaps” aumentaram de valor e, conseqüentemente, houve a redução no tempo de espera média.

O primeiro lugar da INTDIVENTRE é conseqüência de uma geometria que permite a execução de todos os movimentos através de pistas de entrelaçamento. Embora o TREVOSIM60 utilize o mesmo mecanismo de cruzamento do TREVOACEL e TREVOSIM80, seu resultado não foi próximo aos demais devido à formação de pelotões de veículos decorrentes da redução de velocidade para 60 km/h na via principal que diminui os comprimentos dos “gaps”.

Em conseqüência da não prioridade entre via principal e secundária estabelecida pela sua geometria, a ROTATÓRIA apresentou altos valores de espera média comparados com os resultados da INTDIVENTRE que compartilha do mesmo princípio de não prioridade.

A INTDIVCANAL apresentou os piores resultados do grupo. Pressupõe-se que a causa mais provável desses maus resultados seria a parada obrigatória no cruzamento da via principal, feito em duas etapas, e na faixa exclusiva de conversão à esquerda. Contudo, é importante lembrar que há a possibilidade dos valores obtidos nas simulações terem sofrido alguma influência da limitação da versão utilizada do INTEGRATION mencionada no tópico 4.4.3.

O método aplicado ao atraso médio se mostrou satisfatório por indicar a ordem de grandeza do desconforto de todos os motoristas, e o método aplicado à espera média foi mais além, pois indicou algumas tendências de comportamento das interseções.

6.4 Custo de Construção

De acordo com a FIGURA 6.6, ordenação deste critério é: em primeiro, ROTATÓRIA; em segundo, TREVOSIM80 e TREVOSIM60; em terceiro, INTDIVCANAL; em quarto, INTDIVENTRE; e em quinto, TREVOACEL.

FIGURA 6.6 Resumo de resultados – custo de construção

Os custos de construção da ROTATÓRIA, TREVOSIM80 e TREVOSIM60 são próximos. É importante salientar a elevação do custo de construção com adoção de faixas de aceleração e desaceleração revelada ao se comparar os custos do TREVOSIM80 com TREVOACEL.

A INTDIVENTRE e INTDIVCANAL apresentaram valores intermediários de custo. Embora ambas interseções façam uso de faixas de aceleração e desaceleração para velocidade de 60 km/h na via principal, seus custos diferem pelo fato da INTDIVENTRE possuir três faixas de rolamento em quase toda sua extensão ao longo da via principal.

Os valores de custos apresentados neste estudo são representativos, pois após o cálculo que transforma a medida de reais por metro quadrado de área pavimentada da interseção em reais por quilometro de rodovia de pista simples, verificou-se que os montantes em reais pagos por quilômetro de rodovia de pista simples são condizentes com os preços praticados no mercado. Os valores variaram entre 330.000,00 R\$/km e 357.000,00 R\$/km aproximadamente.

6.5 Comparação qualitativa das alternativas

A escolha da interseção para a condição de tráfego estabelecida será a que atender, em ordem decrescente de importância, as seguintes perguntas:

- a) Qual interseção possui o menor número de conflitos?
- b) Qual interseção possui o menor custo de construção?
- c) Qual interseção possui o menor atraso médio?
- d) Qual interseção possui a menor espera média?

A ordem de importância estabelecida acima está intimamente ligada ao esforço de reduzir os índices de acidentes de trânsito, respeito às limitações de recursos existente no país, e dentro deste contexto ofertar o melhor nível de serviço possível aos usuários de rodovias.

A ROTATÓRIA foi a interseção escolhida por ser a mais segura, menor número de conflitos, e mais barata, menor custo de construção. Para as condições simuladas, que correspondem ao tráfego na capacidade dessa configuração, ela apresenta como principais aspectos negativos os altos valores obtidos para atraso médio e espera média. No entanto, para volumes de tráfego mais baixos, comuns em muitas rodovias de pista simples brasileiras, supõe-se que obtenha melhores resultados, caracterizando mais um tópico a ser investigado.

A INTDIVENTRE poderia ser classificada como a segunda melhor opção por ter apresentado o segundo menor número de conflitos, o segundo menor atraso médio; e a menor espera média. O ônus do elevado custo de construção pode ser compensado pelo maior horizonte de capacidade como pode ser visto na FIGURA 6.3.

O TREVOSIM60 mostrou-se atraente por apresentar o terceiro menor número de conflitos, embora ainda muito superior aos índices da ROTATÓRIA. Apresentou o segundo menor custo de construção, quase metade do INTDIVENTRE; e o menor atraso médio. Assim como a ROTATÓRIA, também penaliza o motorista com valores elevados de espera média.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões sobre as alternativas de geometria

Os resultados obtidos ratificam a hipótese inicial de que o conceito de trevo vazado da maneira como operam nas rodovias nacionais constitui um grande risco para os motoristas, sendo este representado pelas interseções TREVOSIM80 e TREVOACEL.

A ROTATÓRIA foi apontada como a melhor opção para rodovias de baixos volumes de tráfego, condição esta que caracteriza a operação da maior parte das rodovias de pista simples do país. A ROTATÓRIA obteve os melhores desempenhos quanto à segurança e ao custo de construção.

Observou-se que a INTDIVENTRE é uma boa opção quando se deseja um maior horizonte de volume de tráfego que a ROTATÓRIA, a manutenção da condição de baixa severidade dos conflitos e uma operação com baixos valores de atraso e espera média, contudo é necessário assumir o ônus do alto valor do custo de construção.

Esta pesquisa mostrou também que a redução da velocidade de 80 para 60 Km/h produz uma redução de 50% no número de conflitos com base no comparativo dos resultados do TREVOSIM80 e TREVOSIM60. O uso de controladores de velocidade em interseções tipo trevo vazado constitui uma opção imediata para o incremento na segurança desses dispositivos.

As alternativas de configurações de interseções propostas em substituição ao conceito do trevo vazado não conseguiram processar altos volumes de tráfego na via principal. Desta forma, para volumes elevados de volume de tráfego, a opção de interseção em desnível pode se tornar atraente por evitar uma interseção como o trevo vazado, que implica em conflitos de alta severidade e que pode alcançar valores elevados de custo de construção como o caso do TREVOACEL.

7.2 Conclusões sobre o método comparativo de desempenho

O método comparativo de desempenho de interseções em nível de rodovias de pista simples mostrou-se eficaz por ter alcançado seu objetivo que era indicar a interseção mais adequada para uma determinada situação, dentro de um nível de serviço esperado. O método é composto de quatro métodos particulares que abordam cada critério de avaliação proposto neste estudo.

O método de estimativa de conflitos foi concebido através da aglutinação de conceitos de diversos métodos de conflitos já testados e validados, que lhe agregam confiabilidade e embasamento teórico.

O conceito de capacidade integral de processamento representa uma abordagem nova de avaliação de operação pois foi desenvolvido para identificar uma medida global de desempenho que reflita todos os efeitos dos fatores que alteram a capacidade de movimento em cada aproximação e a capacidade do trecho da rodovia que compõe a interseção.

As medidas de desempenho atraso médio e espera média conseguiram mensurar tanto o desconforto do motorista que não tem prioridade de movimento, como de todos os motoristas que utilizam a interseção.

As planilhas de custo de construção elaboradas conseguiram reproduzir satisfatoriamente os valores monetários praticados nas obras rodoviárias dentro do Estado de São Paulo.

Os métodos particulares aplicados nesta pesquisa não foram validados com medidas experimentais de campo devido a grande abrangência deste estudo. Vale salientar que todos os métodos foram desenvolvidos com a finalidade de apenas indicar medidas de desempenho eficazes e dar um tratamento relativamente simples a fenômenos complexos envolvidos na operação de uma interseção, através da adoção de uma gama de hipóteses simplificadoras.

7.3 Recomendações para trabalhos futuros

Esta pesquisa gerou uma série de questões que podem compor temas de dissertações ou mesmo teses futuras. São apresentadas as seguintes sugestões para continuação da pesquisa:

- Aplicar o método de estimativa de conflitos a interseções reais, inserindo no modelo velocidades coletadas no local e, sabendo que há uma relação entre número de conflitos e índice de acidentes, validar o método, pois a interseção que for indicada com menor número de conflitos terá provavelmente um menor índice de acidentes. Esse método experimental deverá utilizar alguma técnica de ajuste para assegurar isonomia de condições de tráfego;
- Pesquisar medidas de desempenho que, independente de valores comparativos entre configurações sirvam para avaliar o nível de segurança de uma interseção, da mesma forma como TRB (1994) e TRB (2000) mensuram respectivamente o nível de serviço para espera média e atraso médio;
- Ampliar o universo de simulações para percentuais maiores de veículos na via secundária, a fim de analisar o comportamento das interseções até um limite de igualdade de distribuição de volume de tráfego e avaliar o desempenho, ou

eficácia do método de capacidade integral de processamento, para essas condições;

- Estudar a influência das pistas de aceleração e desaceleração sobre todos os critérios indicados nesta pesquisa para percentuais maiores de conversão à direita;
- Avaliar o desempenho da interseção do tipo ROTATÓRIA para volumes de tráfego típicas de rodovias rurais com baixo volume de tráfego;
- Avaliar o desempenho da interseção do tipo INTDIVENTRE para condições de tráfego diferentes das condições padronizadas nesta pesquisa.
- Aplicação de técnicas multicritério para tomada de decisão no processo de escolha da interseção com melhor desempenho global.

7.4 Considerações Finais

De acordo com o questionamento levantado na defesa de dissertação quanto aos baixos valores obtidos para a capacidade integral de processamento, fez-se uma reavaliação dos fatores influentes no cálculo da capacidade, e constatou-se que a capacidade do tramos é o principal fator que modifica a magnitude da capacidade integral de processamento e que a hipótese de manter constante a densidade na capacidade para tramos com velocidades diferentes foi equivocada.

Desta forma, optou-se por modelar a capacidade dos tramos assumindo a hipótese que a densidade na capacidade é a densidade em que a distância entre veículos é igual a distância de segurança, isto é, a distância necessária para evitar uma colisão entre o veículo seguidor com o veículo líder.

A distância de segurança é a distância percorrida durante um intervalo de tempo denominado de tempo de reação do motorista, e seu valor aumenta a medida que se eleva as velocidades desenvolvidas pelo veículo líder e seguidor.

Segundo LAY (1998), a tempo de reação para um motorista normal é de 1,8 segundos e 85% dos "headways" medidos num tráfego pesado são menores que 2 segundos. YAMAMOTO (2001) pesquisou a relação entre o nível de alerta e tempo de reação do motorista e verificou, para velocidades entre 20 e 30 km/h, que o tempo de reação para o nível máximo de alerta foi de 0,91 segundos e para o nível mínimo de alerta, de 1,84 segundos. No Reino Unido, "The Driving Standards Agency" recomenda um intervalo mínimo de segurança de 2 segundos entre veículos (FAIRCLOUGH et al., 1996). Assim, adotou-se, para efeito de cálculo da capacidade de tráfego nos tramos, um tempo de reação do motorista de 2 segundos e assumiu-se um comprimento de 5 metros para o veículo de passeio equivalente no cálculo da distância de segurança.

A TABELA 7.1 mostra os valores das distâncias de segurança, as densidades na capacidade, as novas capacidades dos tramos e as capacidades dos tramos calculadas com uma única densidade na capacidade de 14 vpe/km, que foram as utilizadas na simulações que deram origem aos gráficos apresentados no capítulo 5.

TABELA 7.1 Capacidades dos tramos

Velocidade no tramo km/h	Distância de Segurança (m)	Densidade na Capacidade vpe/km	Capacidades nos tramos Proposta vpe/h	Utilizada vpe/h
30	17	45	1089	336
40	22	36	1149	448
50	28	30	1186	560
60	33	25	1210	672
70	39	22	1226	784
80	44	19	1237	896
90	50	17	1244	1008
100	56	16	1248	1120
110	61	14	1250	1232

Como pode ser observado as maiores diferença de capacidade são encontradas nos tramos de baixa velocidade. Assim, as interseções que possuem o maior número de tramos com velocidades baixas, terão, teoricamente, um maior aumento na capacidade integral de processamento que as interseções com tramos com alta velocidade para os resultados das simulações encontrados.

Tomando com referência a suposição anterior, as interseções ROTATÓRIA, INTDIVENTRE e INTDIVCANAL irão, provavelmente, sofrer um maior aumento na capacidade integral de processamento que os trevos vazados.

Assim sendo, essa investigação complementar, originada dos questionamentos dos membros da banca sobre os valores numéricos das capacidades de processamento das interseções investigadas mostram que:

- os questionamentos estavam corretos e as capacidades são maiores do que as apresentadas na dissertação;
- as conclusões da pesquisa continuam válidas do ponto de vista qualitativo reforçando-se, inclusive, o argumento que condena o trevo vazado e privilegia a solução da rotatória.

Como não havia condições técnicas de rever todas as simulações e mudar todos os gráficos que delas derivam no prazo legal de entrega dos exemplares definitivos da dissertação, esse trabalho será realizado pelo autor e seu orientador, os quais publicarão os resultados revistos em forma de artigo técnico em congresso e revista especializada.

ANEXO A – INTEGRATION

A1 Dados de Entrada

A1.1 Arquivo Mestre

O arquivo mestre contém a listagem do tempo de simulação, dos nomes dos arquivos principais, o nome do arquivo de resultados e diretórios onde se localizam os arquivos.

TABELA A.1: Descrição dos dados do arquivo mestre

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Identificação do cenário simulado (até 40 caracteres)
2	1	Tempo total de simulação (s)
	2	Frequência de geração dos resultados para o arquivo 10 (s) ($0 < x < \text{tempo de simulação}$)
	3	Frequência de geração dos resultados para arquivos 12 – 14 (s) ($0 < x < \text{tempo de simulação}$)
	4	Opção de escolha de rota (1, 2 ou 3) $x = 1$: modelo de alocação dinâmica do tráfego $x = 2$: alocação baseada no formato de versões anteriores a 2.30 $x = 3$: alocação baseada em formato expandido (opção recomendada: $x = 1$)
	5	
3	1	Diretório em que estão os arquivos de entrada de dados
4	1	Diretório em que são gerados os arquivos de resultados
5	1	Nome do arquivo 1 (nós)
6	1	Nome do arquivo 2 (tramos)
7	1	Nome do arquivo 3 (semáforos)
8	1	Nome do arquivo 4 (demandas)
9	1	Nome do arquivo 5 (incidentes)
14	1	Nome do arquivo de resultados
15 – 27	1	Nomes de arquivos opcionais (caso “none” for colocado nessas linhas, nenhum arquivo adicional será utilizado)

O arquivo de greides deve ser chamado “lnkgrade.dat” e o arquivo de parâmetros veiculares deve ser chamado “maxi_acc.dat”. Ambos os nomes são obrigatórios e não é necessário listá-los no arquivo mestre, pois eles são automaticamente detectados pelo INTEGRATION, desde que estejam no mesmo diretório que os outros arquivos.

A1.2 Arquivo de Nós

Este arquivo contém as coordenadas cartesianas dos nós da rede simulada, definindo quais nós constituem origem ou destinos das demandas geradas.

TABELA A.2: Descrição dos dados contidos no arquivo de nós

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de nós no arquivo
	2	Fator de conversão das coordenadas x
	3	Fator de conversão das coordenadas y
3 e restantes	1	Número identificador do nó
	2	Coordenada x ($x > 0$)
	3	Coordenada y ($y > 0$)
	4	Tipo de nó 1: nó de origem e destino 2: nó de destino somente 3: nó de origem somente 4: nó intermediário
	5	Identificador de macro-zonas. -n para nós do tipo 1 e 2 (n é o número identificador do nó) 0 para nós dos tipos 3 e 4
	6	
	7	Descrição alfanumérica do nó (opcional)

A1.3 Arquivo de Tramos

Este arquivo contém as informações sobre os tramos, tais como seu comprimento, o número de faixas de cada tramo, os nós de origem e destino e os parâmetros que definem a relação fluxo-velocidade, ou seja, velocidade de fluxo livre, velocidade na capacidade, capacidade e a densidade de congestionamento.

TABELA A.3: Descrição dos dados contidos no arquivo de tramos

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de tramos no arquivo
	2 - 6	Fatores de conversão para comprimento do tramo, velocidade de fluxo livre, capacidade, velocidade na capacidade e densidade de congestionamento
3 e restantes	1	Número identificador do tramo. Se o número for negativo, os resultados referentes ao tramo não serão impressos no arquivo de resultados
	2	Nó inicial ou de origem do tramo (codificado no arquivo de nós)
	3	Nó final do tramo (codificado no arquivo de nós)

4	Comprimento do tramo (km) (comprimento mínimo $\leq x \leq 6$) comprimento mínimo = $0,010 \times$ número de faixas no tramo
5	Velocidade de fluxo livre (km/h) ($10 \leq x \leq 200$)
6	Fluxo correspondente à capacidade (veíc/h/faixa) ($100 \leq x \leq 10000$)
7	Número de faixas ($1 \leq x \leq 7$)
8	Coefficiente de variação (desvio-padrão/média) da velocidade
9	Velocidade na capacidade (km/h) ($10 \leq x \leq$ velocidade de fluxo livre)
10	Densidade de congestionamento (veíc/km/faixa)
11	Proibição de conversões $x = 0$: sem proibição de conversões $x > 0$: conversões são proibidas do tramo atual para o tramo x
12	tempo de simulação em que a proibição na coluna 11 é ativada
13	tempo de simulação em que a proibição na coluna 12 é desativada
14	número do primeiro tramo com prioridade de movimento sobre o tramo em questão $x = 0$: nenhum tipo de prioridade é definida $x > 0$: veículos no tramo x têm prioridade de movimento
15	número do segundo tramo com prioridade de movimento sobre o tramo em questão $x = 0$: nenhum tipo de prioridade é definida $x > 0$: veículos no tramo x têm prioridade de movimento
16	Sinal de tráfego que controla a saída dos veículos do tramo $x = 0$: nenhum sinal é utilizado $x > 0$: o semáforo x controla a saída do tramo $x < 0$: o semáforo x controla a saída do tramo e os veículos podem fazer conversões à direita com o sinal vermelho $x = 10001$: modela um sinal do tipo PARE $x = 10002$: modela um sinal do tipo DÊ A PREFERÊNCIA
17	número da primeira fase do semáforo utilizada pelo fluxo de veículos
18	número da segunda fase do semáforo utilizada pelo fluxo de veículos
19	indicador de proibição de classes veiculares no tramo (ex: 10100 proíbe o tráfego dos veículos das classes 1 e 5 no tramo)
20	
21	Descrição alfanumérica do tramo (opcional)

A1.4 Arquivo de Semáforos

O arquivo de semáforos é necessário para a simulação, mas não contém dados. A linha 1 pode conter uma identificação do arquivo e a linha 2 deve conter somente um "0".

TABELA A.4: Descrição dos dados contidos no arquivo de semáforos

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de semáforos na rede
	2	Número de planos para cada semáforo
	3	Duração de cada plano ($x \geq 60$, sendo x um múltiplo de 60)
3	1	Número do plano semaforico
4 e restantes	1	Número identificador do semáforo
	2	Tempo de ciclo a ser utilizado no início da simulação (s)
	3	Tempo mínimo de ciclo permitido, no caso do ciclo ser otimizado durante a simulação
	4	Tempo máximo de ciclo permitido, no caso do ciclo ser otimizado durante a simulação
	5	Tempo de início da primeira fase (defasagem), em segundos
	6	Número de fases do semáforo ($2 \leq x \leq 8$)
	Para cada uma das fases especificada na coluna 6, duas colunas são necessárias	
		Tempo de verde efetivo da fase (s)
		Tempo perdido na fase (s)
	última	Intervalo de tempo correspondente à otimização semaforica ($x \geq 60$, sendo x um múltiplo de 60)

A1.5 Arquivo de Demandas

Este arquivo contém a matriz origem/destino, indicando os fluxos horários das demandas, a duração da simulação, dentre outros dados indicados na tabela abaixo.

TABELA A.5: Descrição dos dados contidos no arquivo de demandas

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de demandas geradas. Se um sinal negativo for utilizado, as demandas são associadas aos parâmetros veiculares listados no arquivo "maxi_acc.dat"
	2	número do primeiro par O-D utilizado na simulação se $x = 0$, $x = 1$
	3	número do último par O-D utilizado na simulação se $x = 0$, $x =$ último par listado no arquivo
	4	Fator global de conversão das demandas
	5 – 9	Fatores individuais de conversão de demandas, para veículos das categorias 1 a 5
3 e restantes	1	Número identificador da demanda
	2	Nó de origem da demanda
	3	Nó de destino da demanda
	4	Valor da demanda (veic/h)
	5	Porcentagem de headways com distribuição exponencial
	6	Tempo (s) de início da demanda
	7	Tempo (s) de término da demanda

	8 – 12	Porcentagem da demanda composta por veículos da categoria <i>i</i> . Sinais negativos indicam que o veículo tem uma cor distinta. Sinais positivos indicam que a cor do veículo varia com sua velocidade
	13	Porcentagem da demanda total atuando como veículos “sonda”, de forma a gerar os resultados nos arquivos opcionais 15 e/ou 16
	14	Fator de equivalência entre espaçamentos ($0,5 \leq x \leq 10,0$)
	15	Número de passageiros por veículo. Parâmetro utilizado para o cálculo do atraso aos passageiros
	16	Identificador utilizado para associar cada demanda com o tipo de veículo listado no arquivo de parâmetros veiculares

A1.6 Arquivo de Incidentes

O arquivo de incidentes, assim como o arquivo de semáforos, é necessário para a simulação, mas não precisa conter dados.

TABELA A.6: Descrição dos dados contidos no arquivo de incidentes

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de incidentes simulados
3 e restantes	1	Número identificador do incidente
	2	Número do tramo em que o incidente ocorre
	3	Local de início do incidente, medido a partir do nó a montante do tramo (km)
	4	Local de término do incidente, medido a partir do nó a montante do tramo (km)
	5	Instante de início do incidente (s)
	6	Instante de término do incidente (s)
	7	número de faixas bloqueadas. Número binário referente às faixas de tráfego (do canteiro central para o acostamento) 0: faixa livre 1: faixa bloqueada (ex: 011 indica faixa próxima ao canteiro central livre, faixa central bloqueada e faixa próxima ao acostamento bloqueada)

A1.7 Arquivo de Parâmetros Veiculares (maxi_acc.dat)

Neste arquivo devem ser colocados os parâmetros que permitem a modelagem do desempenho de cada categoria de veículos. A identificação dos veículos deve estar associada à numeração adotada no arquivo de demandas.

TABELA A.7: Descrição dos dados do arquivo de parâmetros veiculares

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de veículos definidos no arquivo
	2	Percentual da aceleração efetivamente utilizada pelo veículo. Se $\alpha = 0,5$, somente 50% da aceleração calculada pelo modelo de desempenho é utilizada pelo veículo

3 e restantes	1	Número identificador do veículo (deve corresponder aos números listados na coluna 16 do arquivo de demandas)
	2	Massa do veículo (kg)
	3	Comprimento (m)
	4	Porcentagem da massa veicular no(s) eixo(s) trator(es)
	5	Coefficiente estático de atrito pneu-pavimento
	6	Potência nominal do motor (kW)
	7	Coefficiente de eficiência da transmissão
	8	Coefficiente de atrito aerodinâmico
	9	Área frontal (m ²)
	10	Coefficiente de rolamento
	11	Constante para tipo de pneu (C ₂)
	12	Constante para tipo de pneu (C ₃)

A1.8 Arquivo de Permissão e Proibição

Este arquivo possibilita impor ao fluxo de tráfego restrições com relação à manobra e ao tipo de veículo.

TABELA A.8: Descrição dos dados contidos no arquivo de permissão e proibição

Linha	Coluna	Descrição
1	1	Nome do arquivo (até 40 caracteres)
2	1	Número de tramos definidos no arquivo (inteiro) ($0 < x \leq$ número total de tramos da rede)
3	1	Número identificador (inteiro) ($0 < x \leq$ número de tramos definidos no arquivo)
	2	Número identificador do tramo com permissão ou proibição ($0 < x \leq$ maior número do tramo na rede) (inteiro)
	3	Número de faixas n do tramo (inteiro) ($0 < n \leq$ número máximo de faixas permitidas)
	4	Para cada faixa n , um número de 3 dígitos (xyz) indicando a permissão de movimento. (0 = proibição e 1 = permissão) (inteiro), onde: x = permissão de giro à esquerda; (binário) y = permissão de movimento em frente; (binário) z = permissão de giro à direita; (binário) Nota: o valor 000 não é aceito.
	5	Para cada faixa n , um número de 5 dígitos (abcde) indicando a proibição do uso da faixa pelo tipo de veículo. (1 = proibição e 0 = permissão) (inteiro), onde: a = proibição para veículo tipo 1 (binário) b = proibição para veículo tipo 2 (binário) c = proibição para veículo tipo 3 (binário) d = proibição para veículo tipo 4 (binário) e = proibição para veículo tipo 5 (binário) Nota: o valor 11111 não é aceito.

A2 Dados de Saída

Na aplicação dada ao programa, foram aproveitados os dados contidos no arquivo de saída, "summary.out". Este arquivo é criado automaticamente pelo programa quando a simulação é completada e apresenta um resumo estatístico total e médio das medidas de performance.

Os dados são fornecidos para cada tipo de veículo e um global. As medidas listadas no arquivo são:

- a) número de veículos;
- b) quilometragem total e por veículo;
- c) número de paradas total e por veículo;
- d) tempo de viagem total e por veículo;
- e) atraso total e por veículo;
- f) atraso com veículo parado total e por veículo;
- g) atraso com aceleração e desaceleração total e por veículo;
- h) ruído total e por veículo;
- i) combustível total e por veículo (litros);
- j) HC total e por veículo (g);
- k) CO total e por veículo (g);
- l) NOx total e por veículo (g);
- m) colisões x 10e-6;
- n) dano em colisões;
- o) colisões fatais;
- p) sem danos;
- q) pequenos danos;
- r) moderados danos;
- s) perdas por danos (dólares).

ANEXO B – PLANILHAS DE CUSTO DE CONSTRUÇÃO

TABELA B1 Planilha de custo de construção da ROTATÓRIA

ORÇAMENTO BÁSICO				
Dispositivo: ROTATÓRIA				
SERVIÇO (Descrição)	Quantidade	Unidade	PREÇO (R\$)	
			Unitário	Total
1. TERRAPLENAGEM				
Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	34.299	m²	0,18	6.173,82
Raspagem do terreno	8.007	m²	0,16	1.281,12
Transporte de 1/2 cat. até 1 km	6.005	m³xkm	1,27	7.626,67
Compactação de aterro >= 95%PS	5.500	m³	1,04	5.720,00
Esc. carga transp. mat 1a cat DMT 50m	6.600	m³	0,92	6.072,00
SUB-TOTAL 1				26.873,61
2. PAVIMENTAÇÃO				
Regularização do subleito	6.875	m²	0,32	2.200,00
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	1.719	m³	6,10	10.484,38
Base solo estabilizado granul. s/ mistura	688	m³	6,10	4.193,75
Imprimadura betum. impermeabilizante	5.751	m²	1,28	7.361,28
Imprimadura betuminosa ligante	5.751	m²	0,64	3.680,64
Camada rolamento CBUQ - gr-C s/dop (10cm)	413	m³	220,02	90.868,26
Acostamento CBUQ - gr-C s/dop (5cm)	81	m³	220,02	17.821,62
SUB-TOTAL 2				136.609,93
3. DRENAGEM				
Dreno longitudinal prof. p/corte em solo-DPS 01	1.385	m	16,53	22.894,05
Sarjeta canteiro central concreto - SCC 01	770	m	11,68	8.993,60
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01	615	m	16,78	10.319,70
SUB-TOTAL 3				42.207,35
RESUMO	RS	(%) do Total		
1. TERRAPLENAGEM	26.873,61	13,07		
2. PAVIMENTAÇÃO	136.609,93	66,42		
3. DRENAGEM	42.207,35	20,52		
TOTAL	205.690,88	100,00		

TABELA B2 Planilha de custo de construção da TREVEOSIM60/80

ORÇAMENTO BÁSICO				
Dispositivo:TREVOSIM80/60				
			PREÇO (R\$)	
SERVIÇO (Descrição)	Quantidade	Unidade	Unitário	Total
1. TERRAPLENAGEM				
Desm. Dest. Limpeza áreas c/arv. Diam. Até 0,15 m	34.299	m²	0,18	6.173,82
Raspagem do terreno	8.007	m²	0,16	1.281,12
Transporte de ½ cat. Até 1 km	6.005	m³xkm	1,27	7.626,67
Compactação de aterro >= 95%PS	6.240	m³	1,04	6.489,60
Esc. Carga transp. Mat 1ª cat DMT 50m`	7.488	m³	0,92	6.888,96
SUB-TOTAL 1				28.460,17
2. PAVIMENTAÇÃO				
Regularização do subleito	7.800	m²	0,32	2.496,00
Sub-base solo estabilizado granul. S/ mistura	1.950	m³	6,10	11.895,00
Base solo estabilizado granul. S/ mistura	780	m³	6,10	4.758,00
Imprimadura betum. Impermeabilizante	6.674	m²	1,28	8.542,72
Imprimadura betuminosa ligante	6.674	m²	0,64	4.271,36
Camada rolamento CBUQ – gr-C s/dop (10cm)	505	m³	220,02	111.110,10
Acostamento CBUQ – gr-C s/dop (5cm)	81	m³	220,02	17.821,62
SUB-TOTAL 2				160.894,80
3. DRENAGEM				
Dreno longitudinal prof. P/corte em solo-DPS 01	1.476	m	16,53	24.398,28
Sarjeta canteiro central concreto – SCC 01	862	m	11,68	10.068,16
Sarjeta trapezoidal de concreto – SZC 01	615	m	16,78	10.319,70
SUB-TOTAL 3				44.786,14
RESUMO	RS	(%) do Total		
1. TERRAPLENAGEM	28.460,17	12,16		
2. PAVIMENTAÇÃO	160.894,80	68,72		
3. DRENAGEM	44.786,14	19,13		
TOTAL	234.141,11	100,00		

TABELA B3 Planilha de custo de construção da TREVOACEL

ORÇAMENTO BÁSICO				
Dispositivo: TREVOACEL				
SERVIÇO (Descrição)	Quantidade	Unidade	PREÇO (R\$)	
			Unitário	Total
1. TERRAPLENAGEM				
Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	121.575	m²	0,18	21.883,50
Raspagem do terreno	20.530	m²	0,16	3.284,80
Transporte de 1/2 cat. até 1 km	15.398	m³xkm	1,27	19.554,83
Compactação de aterro >= 95%PS	15.630	m³	1,04	16.254,78
Esc. carga transp. mat 1a cat DMT 50m	18.756	m³	0,92	17.255,08
SUB-TOTAL 1				78.232,99
2. PAVIMENTAÇÃO				
Regularização do subleito	19.537	m²	0,32	6.251,84
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	4.884	m³	6,10	29.793,93
Base solo estabilizado granul. s/ mistura	1.954	m³	6,10	11.917,57
Imprimadura betum. impermeabilizante	16.558	m²	1,28	21.194,24
Imprimadura betuminosa ligante	16.558	m²	0,64	10.597,12
Camada rolamento CBUQ - gr-C s/dop (10cm)	1.236	m³	220,02	271.944,72
Acostamento CBUQ - gr-C s/dop (5cm)	210	m³	220,02	46.204,20
SUB-TOTAL 2				397.903,62
3. DRENAGEM				
Dreno longitudinal prof. p/corte em solo - DPS 01	2.254	m	16,53	37.258,62
Sarjeta canteiro central concreto - SCC 01	720	m	11,68	8.409,60
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01	1.534	m	16,78	25.740,52
SUB-TOTAL 3				71.408,74
RESUMO		R\$	(%) do Total	
1. TERRAPLENAGEM		78.232,99	14,29	
2. PAVIMENTAÇÃO		397.903,62	72,67	
3. DRENAGEM		71.408,74	13,04	
TOTAL	547.545,34		100,00	

TABELA B4 Planilha de custo de construção da INTDIVENTRE

ORÇAMENTO BÁSICO				
Dispositivo: INTDIVENTRE				
SERVIÇO (Descrição)	Quantidade	Unidade	PREÇO (R\$)	
			Unitário	Total
1. TERRAPLENAGEM				
Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	73.680	m²	0,18	13.262,40
Raspagem do terreno	16.800	m²	0,16	2.688,00
Transporte de 1/2 cat. até 1 km	12.600	m³xkm	1,27	16.002,00
Compactação de aterro >= 95%PS	11.751	m³	1,04	12.221,25
Esc. carga transp. mat 1a cat DMT 50m	14.101	m³	0,92	12.973,32
SUB-TOTAL 1				57.146,97
2. PAVIMENTAÇÃO				
Regularização do subleito	14.689	m²	0,32	4.700,48
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	3.672	m³	6,10	22.400,73
Base solo estabilizado granul. s/ mistura	1.469	m³	6,10	8.960,29
Imprimadura betum. impermeabilizante	12.570	m²	1,28	16.089,60
Imprimadura betuminosa ligante	12.570	m³	0,64	8.044,80
Camada rolamento CBUQ - gr-C s/dop (10cm)	945	m³	220,02	207.918,90
Acostamento CBUQ - gr-C s/dop (5cm)	156	m³	220,02	34.323,12
SUB-TOTAL 2				302.437,92
3. DRENAGEM				
Dreno longitudinal prof. p/corte em solo - DPS 01	2.539	m	16,53	41.969,67
Sarjeta canteiro central concreto - SCC 01	1.371	m	11,68	16.013,28
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01	1.168	m	16,78	19.599,04
SUB-TOTAL 3				77.581,99
RESUMO		RS	(%) do Total	
1. TERRAPLENAGEM		57.146,97	13,07	
2. PAVIMENTAÇÃO		302.437,92	69,18	
3. DRENAGEM		77.581,99	17,75	
TOTAL	437.166,88		100,00	

TABELA B5 Planilha de custo de construção da INTDIVCANAL

ORÇAMENTO BÁSICO				
Dispositivo: INTDIVCANAL				
			PREÇO (R\$)	
SERVIÇO (Descrição)	Quantidade	Unidade	Unitário	Total
1. TERRAPLENAGEM				
Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	61.686	m²	0,18	11.103,48
Raspagem do terreno	15.044	m²	0,16	2.407,04
Transporte de 1/2 cat. até 1 km	11.283	m³xkm	1,27	14.329,41
Compactação de aterro >= 95%PS	10.453	m³	1,04	10.870,91
Esc. carga transp. mat 1a cat DMT 50m	12.543	m³	0,92	11.539,89
SUB-TOTAL 1				50.250,73
2. PAVIMENTAÇÃO				
Regularização do subleito	13.066	m²	0,32	4.181,12
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	3.267	m³	6,10	19.925,65
Base solo estabilizado granul. s/ mistura	1.307	m³	6,10	7.970,26
Imprimadura betum. impermeabilizante	11.110	m²	1,28	14.220,80
Imprimadura betuminosa ligante	11.110	m²	0,64	7.110,40
Camada rolamento CBUQ - gr-C s/dop (10cm)	823	m³	220,02	181.076,46
Acostamento CBUQ - gr-C s/dop (5cm)	144	m³	220,02	31.682,88
SUB-TOTAL 2				266.167,57
3. DRENAGEM				
Dreno longitudinal prof. p/corte em solo - DPS 01	2.312	m	16,53	38.217,36
Sarjeta canteiro central concreto - SCC 01	1.234	m	11,68	14.413,12
Sarjeta trapezoidal de concreto - SZC 01	1.078	m	16,78	18.088,84
SUB-TOTAL 3				70.719,32
RESUMO		RS	(%) do Total	
1. TERRAPLENAGEM		50.250,73	12,98	
2. PAVIMENTAÇÃO		266.167,57	68,75	
3. DRENAGEM		70.719,32	18,27	
TOTAL	387.137,62		100,00	

ANEXO C – PLANILHAS DE CONFLITOS

TABELA C1 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 10%VP

ROTATÓRIA				
PLANILHA DE CONFLITOS	Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos	A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente	210	210	21	21
Giro à direita	21	21	2	2
Giro à esquerda	32	32	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	4	4	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	2	2
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	1071	1071	107	107
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1071	1071	107
TCBS	2356	1071	1071	107

TABELA C2 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 10%VP

TREVOSIM60				
PLANILHA DE CONFLITOS	Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos	A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente	210	210	21	21
Giro à direita	21	21	2	2
Giro à esquerda	32	32	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	483	483	48	48
Baixa	704	704	112	112
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	2415	2415	242
Pb(baixa) =	1	704	704	112
TCBS	6945	3119	3119	354

TABELA C3 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 10%VP

TREVOSIM80					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente		210	210	21	21
Giro à direita		21	21	2	2
Giro à esquerda		32	32	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		2	2	2	2
Média		0	0	0	0
Baixa		2	2	4	4
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		3	3	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		2	2	2	2
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		483	483	48	48
Média		0	0	0	0
Baixa		704	704	112	112
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4830	4830	483	483
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	704	704	112	112
TCBS	12258	5534	5534	595	595

TABELA C4 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 10%VP

TREVOACEL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente		210	210	21	21
Giro à direita		21	21	2	2
Giro à esquerda		32	32	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		2	2	2	2
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	4	4
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		2	2	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		2	2	2	2
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Número de conflitos			
Alta		483	483	48	48
Média		0	0	0	0
Baixa		441	441	109	109
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4830	4830	483	483
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	441	441	109	109
TCBS	11726	5271	5271	592	592

TABELA C5 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 10%VP

INTDIVENTRE					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente		210	210	21	21
Giro à direita		21	21	2	2
Giro à esquerda		32	32	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1502	1502	150	150
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1502	1502	150	150
TCBS	3303	1502	1502	150	150

TABELA C6 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 10%VP

INTDIVCANAL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(10%)	A4(10%)
Em frente		210	210	21	21
Giro à direita		21	21	2	2
Giro à esquerda		32	32	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		1	1	0	0
Média		3	3	2	2
Baixa		1	1	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		1	1	1	1
Média		0	0	3	3
Baixa		3	3	2	2
Severidade		Número de conflitos			
Alta		242	242	3	3
Média		630	630	51	51
Baixa		326	326	71	71
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	2415	2415	32	32
Pm(média) =	5	3150	3150	257	257
Pb(baixa) =	1	326	326	71	71
TCBS	12501	5891	5891	360	360

TABELA C7 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 20%VP

ROTATÓRIA				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos		A1	A2	A3(20%) A4(20%)
Em frente		204	204	40,8 40,8
Giro à direita		20,4	20,4	4,08 4,08
Giro à esquerda		30,6	30,6	6,12 6,12
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)		
Alta		0	0	0 0
Média		0	0	0 0
Baixa		4	4	4 4
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)		
Alta		0	0	0 0
Média		0	0	0 0
Baixa		2	2	2 2
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)		
Alta		0	0	0 0
Média		0	0	0 0
Baixa		6	6	6 6
Severidade		Número de conflitos		
Alta		0	0	0 0
Média		0	0	0 0
Baixa		1040	1040	208 208
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade		
Pa(alta) =	10	0	0	0 0
Pm(média) =	5	0	0	0 0
Pb(baixa) =	1	1040	1040	208 208
TCBS	2496,96	1040	1040	208 208

TABELA C8 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 20%VP

TREVOSIM60				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos		A1	A2	A3(20%) A4(20%)
Em frente		204	204	41 41
Giro à direita		20	20	4 4
Giro à esquerda		31	31	6 6
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)		
Alta		0	0	0 0
Média		2	2	2 2
Baixa		2	2	4 4
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)		
Alta		0	0	0 0
Média		0	0	0 0
Baixa		3	3	3 3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)		
Alta		0	0	0 0
Média		2	2	2 2
Baixa		7	7	7 7
Severidade		Número de conflitos		
Alta		0	0	0 0
Média		469	469	94 94
Baixa		683	683	218 218
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade		
Pa(alta) =	10	0	0	0 0
Pm(média) =	5	2346	2346	469 469
Pb(baixa) =	1	683	683	218 218
TCBS	7434	3029	3029	687 687

TABELA C9 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 20%VP

TREVOSIM80				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(20%)	A4(20%)
Em frente	204	204	41	41
Giro à direita	20	20	4	4
Giro à esquerda	31	31	6	6
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	469	469	94	94
Média	0	0	0	0
Baixa	683	683	218	218
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4692	4692	938
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	683	683	218
TCBS	13064	5375	5375	1157

TABELA C10 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 20%VP

TREVOACEL				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(20%)	A4(20%)
Em frente	204	204	41	41
Giro à direita	20	20	4	4
Giro à esquerda	31	31	6	6
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	1	1	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	469	469	94	94
Média	0	0	0	0
Baixa	428	428	212	212
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4692	4692	938
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	428	428	212
TCBS	12542	5120	5120	1151

TABELA C11 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 20%VP

INTDIVENTRE					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(20%)	A4(20%)
Em frente		204	204	40,8	40,8
Giro à direita		20,4	20,4	4,08	4,08
Giro à esquerda		30,6	30,6	6,12	6,12
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1459	1459	292	292
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1459	1459	292	292
TCBS	3501	1459	1459	292	292

TABELA C12 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 20%VP

INTDIVCANAL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(20%)	A4(20%)
Em frente		204	204	41	41
Giro à direita		20	20	4	4
Giro à esquerda		31	31	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		1	1	0	0
Média		3	3	2	2
Baixa		1	1	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		1	1	1	1
Média		0	0	3	3
Baixa		3	3	2	2
Severidade		Número de conflitos			
Alta		235	235	6	6
Média		612	612	100	100
Baixa		316	316	139	139
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	2346	2346	61	61
Pm(média) =	5	3060	3060	500	500
Pb(baixa) =	1	316	316	139	139
TCBS	12843,84	5722	5722	700	700

TABELA C13 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 30%VP

ROTATÓRIA				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Em frente	192	192	58	58
Giro à direita	19	19	6	6
Giro à esquerda	29	29	9	9
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	4	4	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	2	2
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	979	979	294	294
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	979	979	294
TCBS	2546	979	979	294

TABELA C14 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 30%VP

TREVOSIM60				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Em frente	192	192	58	58
Giro à direita	19	19	6	6
Giro à esquerda	29	29	9	9
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	442	442	132	132
Baixa	643	643	308	308
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	2208	662	662
Pb(baixa) =	1	643	308	308
TCBS	7644	2851	971	971

TABELA C15 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 30%VP

TREVOSIM80				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
	A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Movimentos				
Em frente	192	192	58	58
Giro à direita	19	19	6	6
Giro à esquerda	29	29	9	9
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	442	442	132	132
Média	0	0	0	0
Baixa	643	643	308	308
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4416	4416	1325
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	643	643	308
TCBS	13384	5059	5059	1633

TABELA C16 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 30%VP

TREVOACEL				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
	A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Movimentos				
Em frente	192	192	58	58
Giro à direita	19	19	6	6
Giro à esquerda	29	29	9	9
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	1	1	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	442	442	132	132
Média	0	0	0	0
Baixa	403	403	300	300
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4416	4416	1325
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	403	403	300
TCBS	12887	4819	4819	1624

TABELA C17 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 30%VP

INTDIVENTRE					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
		A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Movimentos					
Em frente		192	192	58	58
Giro à direita		19	19	6	6
Giro à esquerda		29	29	9	9
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1373	1373	412	412
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1373	1373	412	412
TCBS	3569	1373	1373	412	412

TABELA C18 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 30%VP

INTDIVCANAL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
		A1	A2	A3(30%)	A4(30%)
Movimentos					
Em frente		192	192	58	58
Giro à direita		19	19	6	6
Giro à esquerda		29	29	9	9
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		1	1	0	0
Média		3	3	2	2
Baixa		1	1	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		1	1	1	1
Média		0	0	3	3
Baixa		3	3	2	2
Severidade		Número de conflitos			
Alta		221	221	9	9
Média		576	576	141	141
Baixa		298	298	196	196
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	2208	2208	86	86
Pm(média) =	5	2880	2880	706	706
Pb(baixa) =	1	298	298	196	196
TCBS	12747	5386	5386	988	988

TABELA C19 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 40%VP

ROTATÓRIA				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Em frente	186	186	74	74
Giro à direita	19	19	7	7
Giro à esquerda	28	28	11	11
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	4	4	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	2	2
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	949	949	379	379
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	949	949	379
TCBS	2656	949	949	379

TABELA C20 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 40%VP

TREVOSIM60				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Em frente	186	186	74	74
Giro à direita	19	19	7	7
Giro à esquerda	28	28	11	11
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	428	428	171	171
Baixa	623	623	398	398
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	2139	2139	856
Pb(baixa) =	1	623	623	398
TCBS	8032	2762	2762	1254

TABELA C21 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 40%VP

TREVOSIM80				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Em frente	186	186	74	74
Giro à direita	19	19	7	7
Giro à esquerda	28	28	11	11
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	428	428	171	171
Média	0	0	0	0
Baixa	623	623	398	398
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4278	4278	1711
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	623	623	398
TCBS	14020	4901	4901	2109

TABELA C22 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 40%VP

TREVOACEL				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Em frente	186	186	74	74
Giro à direita	19	19	7	7
Giro à esquerda	28	28	11	11
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	1	1	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	428	428	171	171
Média	0	0	0	0
Baixa	391	391	387	387
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4278	4278	1711
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	391	391	387
TCBS	13533	4669	4669	2098

TABELA C23 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 40%VP

INTDIVENTRE					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
		A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Movimentos					
Em frente		186	186	74	74
Giro à direita		19	19	7	7
Giro à esquerda		28	28	11	11
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1330	1330	532	532
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1330	1330	532	532
TCBS	3724	1330	1330	532	532

TABELA C24 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 40%VP

INTDIVCANAL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
		A1	A2	A3(40%)	A4(40%)
Movimentos					
Em frente		186	186	74	74
Giro à direita		19	19	7	7
Giro à esquerda		28	28	11	11
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		1	1	0	0
Média		3	3	2	2
Baixa		1	1	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		1	1	1	1
Média		0	0	3	3
Baixa		3	3	2	2
Severidade		Número de conflitos			
Alta		214	214	11	11
Média		558	558	182	182
Baixa		288	288	253	253
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	2139	2139	112	112
Pm(média) =	5	2790	2790	911	911
Pb(baixa) =	1	288	288	253	253
TCBS	12986	5217	5217	1276	1276

TABELA C25 Planilha de Conflitos da ROTATÓRIA para o caso 50%VP

ROTATÓRIA				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente	178	178	89	89
Giro à direita	18	18	9	9
Giro à esquerda	27	27	13	13
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	4	4	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	2	2
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	908	908	454	454
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	908	908	454
TCBS	2724	908	908	454

TABELA C26 Planilha de Conflitos da TREVOSIM60 para o caso 50%VP

TREVOSIM60				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente	178	178	89	89
Giro à direita	18	18	9	9
Giro à esquerda	27	27	13	13
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	0	0	0	0
Média	2	2	2	2
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	0	0	0	0
Média	409	409	205	205
Baixa	596	596	476	476
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0
Pm(média) =	5	2047	2047	1024
Pb(baixa) =	1	596	596	476
TCBS	8286	2643	2643	1500

TABELA C27 Planilha de Conflitos da TREVOSIM80 para o caso 50%VP

TREVOSIM80				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente	178	178	89	89
Giro à direita	18	18	9	9
Giro à esquerda	27	27	13	13
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	3	3	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	7	7	7	7
Severidade	Número de conflitos			
Alta	409	409	205	205
Média	0	0	0	0
Baixa	596	596	476	476
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4094	4094	2047
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	596	596	476
TCBS	14427	4690	4690	2523

TABELA C28 Planilha de Conflitos da TREVOACEL para o caso 50%VP

TREVOACEL				
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)		
Movimentos	A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente	178	178	89	89
Giro à direita	18	18	9	9
Giro à esquerda	27	27	13	13
Severidade	Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	1	1	4	4
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Baixa	2	2	3	3
Severidade	Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta	2	2	2	2
Média	0	0	0	0
Baixa	6	6	6	6
Severidade	Número de conflitos			
Alta	409	409	205	205
Média	0	0	0	0
Baixa	374	374	463	463
Fator de Equivalência	Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	4094	4094	2047
Pm(média) =	5	0	0	0
Pb(baixa) =	1	374	374	463
TCBS	13956	4468	4468	2510

TABELA C29 Planilha de Conflitos da INTDIVENTRE para o caso 50%VP

INTDIVENTRE					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente		178	178	89	89
Giro à direita		18	18	9	9
Giro à esquerda		27	27	13	13
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		6	6	6	6
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		7	7	7	7
Severidade		Número de conflitos			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1273	1273	636	636
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	0	0	0	0
Pm(média) =	5	0	0	0	0
Pb(baixa) =	1	1273	1273	636	636
TCBS	3818	1273	1273	636	636

TABELA C30 Planilha de Conflitos da INTDIVCANAL para o caso 50%VP

INTDIVCANAL					
PLANILHA DE CONFLITOS		Volumes de tráfego (veic/h)			
Movimentos		A1	A2	A3(50%)	A4(50%)
Em frente		178	178	89	89
Giro à direita		18	18	9	9
Giro à esquerda		27	27	13	13
Severidade		Ponto de Conflito (Em frente)			
Alta		1	1	0	0
Média		3	3	2	2
Baixa		1	1	3	3
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à direita)			
Alta		0	0	0	0
Média		0	0	0	0
Baixa		1	1	1	1
Severidade		Ponto de Conflito (Giro à esquerda)			
Alta		1	1	1	1
Média		0	0	3	3
Baixa		3	3	2	2
Severidade		Número de conflitos			
Alta		205	205	13	13
Média		534	534	218	218
Baixa		276	276	303	303
Fator de Equivalência		Número de conflitos de baixa severidade			
Pa(alta) =	10	2047	2047	134	134
Pm(média) =	5	2670	2670	1090	1090
Pb(baixa) =	1	276	276	303	303
TCBS	13038,5	4993	4993	1526	1526

ANEXO D – PROJETO GEOMÉTRICO DAS INTERSEÇÕES

FIGURA D1 ROTATÓRIA – Medidas em metros

FIGURA D2 TREVOSIM60/80 – Medidas em metros

FIGURA D4 INTDIVENTRE – Medidas em metros

FIGURA D5 INTDIVCANAL – Medidas em metros

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C.
- ALBERTA (1999). *Highway Geometric Design Guide*. Edmonton, Alberta, CANADA.
- ALMQVIST, S.; EKMAN, L. (2001). *"The Swedish Traffic Conflict Technique – Observers Manual"*. Material didático do Curso de Segurança do Departamento de Transportes da EESC/USP em parceria com Lund University. Promovido no segundo semestre de 2001, São Carlos – SP.
- BARED, J. G.; KAISAR, E. I. (2000). *"Advantages of the split intersection"*. / Apresentado no The 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board in January 2000 in Washington, D.C.
- BRANCO, A. M. (1972). *Acidentes Rodoviários, Sinalização e Segurança*. São Paulo, SP, L.P.M., 1972.
- BRASIL. Código, 1997. *Código de Trânsito Brasileiro – Lei nº 9.503, de setembro de 1997 e legislação complementar*. 2.ed.. Bauru, SP, EDIPRO, 1998.
- BRILON, W.; KOENIG, R.; TROUTBECK, R. J. (1999). *"Useful estimation procedures for critical gaps"*. Transportation Research. Part A, n.33, p.161 – 186.
- BRINKMAN e SMITH (1984). *"Two-Lane Rural Highway"* Public Roads, v.48, n.2, p.48 - 53 apud TRB (1987), Special Report 214, Washington, D.C., p.77 - 109, TRB.
- CACCALANO, L.(2002); Simulação: conceitos, benefícios e metodologia. [http://www.straight.com.br/Artigos Interessantes/Simulação](http://www.straight.com.br/Artigos%20Interessantes/Simula%C3%A7%C3%A3o). (11/03/2002).

CALTRANS (2001). California State Department of Transportation.
<http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/pdf/chp0200.pdf> (10/12/01).

CNT (2001). Pesquisa Rodoviária. Confederação Nacional dos Transportes.
<http://www.cnt.org.br/Pesquisa> (15/10/2002).

CONTRAN (2001).Ministério da Justiça do Brasil – Conselho Nacional de Trânsito.
<http://www.mj.gov.br> (15 Junho).

CONTRAN (1998a) *Resolução 12/98: Estabelece Limites de peso e dimensões para veículos que transitam em vias terrestres*. Conselho Nacional de Trânsito, Ministério da Justiça do Brasil, Brasília, DF.

CONTRAN (1998b) *Resolução 68/98: Requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga*. Conselho Nacional de Trânsito, Ministério da Justiça do Brasil, Brasília, DF.

DEMARCHI, S. H. (1995) *Influência dos Veículos Pesados na Capacidade de Interseções Rodoviárias*. São Carlos. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DEMARCHI, S. H. (2000) *Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla*. São Carlos. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. A. (2001). *Determinação da capacidade e nível de serviço em interseções rodoviárias através de simulação*. Transportes - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. v.5, n.2, p.37 - 63.

DER-SP (2002). *Tabela de Preços Unitários do DER*. Departamento de Estradas de Rodagem – São Paulo -. http://www.der.sp.gov.br/obras/fm_obr.htm (04 Março)

DER-SP (2001). *A malha viária*. Departamento de Estrada de Rodagem – São Paulo - http://www.der.sp.gov.br/malha/frm_mal.htm (20 Setembro).

DIAS DA SILVA, A. C.; THEODORO, R. B. (1978) *Sinalização vertical: montagem e implantação*. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego – CET. Série: Boletim Técnico da CET. n.13. 92p.

DNER (1963). *Instruções para Autorização e Construção de Acessos às Rodovias Federais – Aprovadas pelo Conselho Executivo do DNER por resoluções do 29-01-1963 e 20-08-1963 junto ao processo 5.526-63*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNER (1996). *Manual de Implantação Básica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 2.ed., Rio de Janeiro. (IPR. Publ. 696).

DNER (1999). *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro. (IPR. Publ. 706).

DNER (2002). *Gerência de Custos Rodoviários*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. <http://www.dner.gov.br/gcr/sp.htm> (04 Março).

DOMINGUES JR., M.; FERRAZ, A. C. P. (2001). *Técnica MDJ para avaliação de conflitos de tráfego em interseções no Brasil*. In: XV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Campinas, SP, Brasil, 2001. Anais. v.1, p.43-52.

DOTTA, A. (1998). *O condutor defensivo: teoria e prática*. 1ª. Edição. Porto Alegre, Sagra Luzzatto.

EQUIPE DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO DA COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (1975). *Engenharia de Tráfego*. Grêmio Politécnico - Departamento de Livros e Publicações. São Paulo, SP.

FAIRCLOUGH, S.H.;MAY, A. J.;CARTER, C. (1997). "The effect of time headway feedback on following behaviour". *Accident Analysis & Prevention*, v. 29, n.3, p.387 – 397.

FERRAZ, C. C. P.; FORTES, F. Q.; SIMÕES, F. A. (1999). *Engenharia de Tráfego Urbano – Fundamentos Práticos*. Departamento de Transportes – EESC – USP. Edição Preliminar. 123 p. Agosto de 1999.

FRAENKEL, B. B. (1980). *Engenharia Rodoviária*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A.

FILIZZOLA, E. P. et al. (1977) *Noções básicas de engenharia de tráfego*. Equipe técnica coordenada por Edson Paulo Filizzola. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego – CET. Série: Boletim Técnico da CET. n.5. 128p.

FURTADO, N.; KAWAMOTO, E. (1997). *Avaliação de Projetos de Transportes*. 1.ed. São Carlos/SP, EDUSP.

GILLESPIE, T. D. (1996). "Start-up acceleration of heavy trucks on grades" *Transportation Research Record*, n. 1052, p. 107 – 112. International Symposium on Highway Geometric Design Practices_ August 30- September1, 1995; Boston, Massachusetts.

GOLD, P. A. (1998). *Segurança de Trânsito – Aplicações da Engenharia para Reduzir Acidentes*. Direitos Reservados ao Banco Interamericano de Desenvolvimento. 211p.

GONÇALVES, J. E. L. (1982) *Iluminação e Visibilidade*. São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego – CET. Série: Boletim Técnico da CET. n.27. 112 p.

HARWOOD, D.W.; MASON, J.M.; BRYDIA, R.E. (1999). "*Design policies for sight distance at stop-controlled intersections based on gap acceptance*". Transportation Research, Part A, n.33, p.199 - 216.

HYDÉN, C. (1991). "*The Swedish Traffic Conflict Technique*". <http://www.tft.lth.se/rapporter/Conflict1.pdf>. (nov/2001).

HYDÉN, C.; VÁRHELYI, A. (1999). "*The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabout in an urban area: a case study*". Accident Analysis & Prevention, v. 32, n.1, p.11 - 23.

IPR (1976). *Manual de Projeto de Interseções*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro. 114p. (Publ. 503).

ISHGDP 1995. International Symposium on Highway Geometric Design Practices. Boston, Massachusetts. <http://www.nationalacademies.org/trb/publications/geom/toc.pdf> (Nov/2001).

KHISTY, C.J. (1990). *Transportation Engineering: an Introduction*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.

LAY, M. G. (1998). *Handbook of Road Technology: Traffic and Transport*. Gordon and Breach Science Publishers. v.2. 3.ed.

LEITE, J. G. M. (1976). *Análise de Capacidade em Interseções*. Instituto de Pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro. Publ. 580, 52p.

-
- LOTTI, C. P. (2002) Método de sistematização e levantamento de dados para estudo da relação de acidentes com as características geométricas da rodovia. São Carlos. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MAIOLINO, C. E. G.; PORTUGAL, L. S. (2001). *Simuladores de tráfego para análise de desempenho de corredores de ônibus e de sua área de influência*. In: XV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Campinas, SP, Brasil, 2001. Anais. v.1, p.257 - 264.
- MAY, A. D. (1994) "Traffic Management from Theory to Practice: Past, Present, Future". Transportation Research Record 1457, p.1-14.
- MCLEAN, J. R. (1994) "Two-lane highway traffic operations: Theory and Practice". Transportation studies. Gordon and Breach Science Publishers. v.11
- MELO, A. L. (1989). *Ligantes Asfálticos*. Apostila do Curso de Estradas e Transportes 4, Recife, UFPE.
- MELO, A. L. (1996). *Pavimentos – Terminologia, Classificação e Funcionamento*. Apostila do Curso de Estradas e Transportes 2, Recife, UFPE.
- MICHEL, F. D.; PEDROZO, L. G.; SENNA, L. A. S. (2001). *Custos Rodoviários – Análise e Sistematização*. Revista Estradas, ano 1, n.1, p.16 - 23, setembro.
- MODOT (2001). Missouri Department of Transportation. <http://www.modot.state.mo.us/design/ppdm/406.pdf>(10/12/01)
- MOUNTAIN, I.; FAWAZ, B.; JARRETT, D. (1996) "Accident Prediction Model for Roads with Minor Junctions". Accid. Anal. And Prev., v. 28, n. 6, p.695 - 707.

MT (2001). Ministério dos Transportes – Secretaria de Transportes Terrestres.
<http://www.transportes.gov.br/trodo/estatistica> (15 Maio 2001).

NATIONAL SAFETY COUNCIL (1985). *Accident Facts*, apud TRB (1987), Special Report 214, p.77 - 109, TRB.

NIELSEN, O. A.; FREDERIKSEN, R. D.; SIMONSEN, N. (1998) "Stochastic User Equilibrium traffic Assignment with Turn-delays in Intersection". *International Transactions Operational Research*. v. 5, n.6, p.555 – 568.

NODARI, C. T.; LINDAU, L. A. (2001). *Auditoria de Segurança Viária*. Transportes - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. v.9, n.2, p.48 - 66.

ORTOLANI, G. A. (2000). *Simulação de Tráfego da Região Central de Maringá Utilizando o INTEGRATON*. Monografia, Universidade Estadual de Maringá.

O'CONNOR, D.; TROUTBECK, R. J. (1995). "At grade intersections – worldwide review". *International Symposium on Highway Geometric Design Practices*. August 30th – September 1st. Boston, Massachusetts, EUA.

PARKER, M. R.; ZEGEER, C. V. (1989) "*Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations – Observers Manual*". U. S. Department of Transportation – Federal Highway Administration. Publicação n.FHWA-IP-88-027.

PECKER, C. C.; CYBIS, H. B. B.; LINDAU, L. A. (2001) *Simulação Microscópica de Segmentos Rodoviários: Uma avaliação Preliminar dos Comprimentos Críticos de Rampas*. In: XV CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Campinas, SP, Brasil, 2001. Anais. v. 1, p.249 - 256.

-
- PEDROZO, L. G.; SENNA, L. A. S.; MICHEL, F. D. (2001). *Custos Rodoviários – Análise e Sistematização*. Revista Estradas, Ano 1, n.1, p.16 - 23, set.
- PIERIN, I; DEMARCHI, S. H. (2001). *Utilização de curvas de desempenho no projeto de faixas adicionais*. ENTECA 2001 – II Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá-Pr. Realizado de 10 a 14 de setembro de 2001.
- ROBINSON, B. W. et al. (2000). *"Roundabout: An Information Guide"*. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration (Publication n. FHWA-RD-00-067).
- RUSSO, M. R. A. (1995) *"O impacto de manobras de veículos combinados sobre geometria horizontal de interseções rodoviárias"*. São Carlos. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SENÇO, W. (1980). *Estradas de Rodagem: Projeto*. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Grêmio Politécnico. 1.ed.
- SENÇO, W. (1997). *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 1.ed. São Paulo: PINI.
- SENÇO, W. (2001). *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 1.ed. São Paulo, PINI, v. I e II.
- SETTI, J. R.; WIDMER, J. A. (1999). *Tecnologia de Transportes*. Apostila. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade De São Paulo. 2.ed., fevereiro.
- TAC (1986). *Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads*. The Transportation Association of Canada.

TRANSOFT SOLUTIONS (1996). AutoTurn for AutoCAD or MicroStation Version 3.0: User's Guide.. In. 7080 River Road, Suite 206, Richmond, British Columbia, Canadá.

TRB (1994). *Highway Capacity Manual*. Special Report 209. Third Edition. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C.

TRB (2000). *Highway Capacity Manual*. Special Report 209. Third Edition. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C.

TROUTBECK, R. J; KAKO, S. (1999) "*Limited priority merge at unsignalized intersection*" Transportation Research, Part A, n.33, p.291 - 304.

TURNER, S.; NICHOLSON, A. (1998). "*Intersection Accident Estimation: The Role of Intersection Location and Non-collision Flows*". Accid. Anal. And Prev., v. 30, n.4, p. 505 - 517.

VAN AERDE, M. (1997). "*Integration Release 2: User's Guide*". Vol.2: Advanced Model Features. Transportation System Research Group, Queen's University. Kingston, Ontario, Canadá.

VAN AERDE, M. (2000a) *Integration Release 2.3 for Windows: User's Guide*. Vol. 1: Fundamental Model Features. Transportation System Research Group, Queen's University. Kingston, Ontario, Canadá.

VAN AERDE, M. (2000b) *Integration Release 2.3 for Windows: User's Guide*. Vol.2: Advanced Model Features. Transportation System Research Group, Queen's University. Kingston, Ontario, Canadá.

-
- VAN AERDE, M. (2001) *Integration Release 2.3 for Windows: User's Guide*. Vol. 1: Fundamental Model Features. Transportation System Research Group, Queen's University. Kingston, Ontário, Canadá.
- VAN AERDE, M. (2002) *Integration Release 2.3 for Windows: User's Guide*. Vol.2: Advanced Model Features. Transportation System Research Group, Queen's University. Kingston, Ontário, Canadá.
- VELAN, S.; VAN AERDE, M. (1998). "The impact of driver and flow variability on capacity estimates of permissive movements". *Transportation Research, Part A*, v.32, n.7, p.509 - 527.
- VOLVO (2001). Ônibus Rodoviários – Ficha Técnica Comparativa. Volvo do Brasil. <http://www.volvo.com.br/newsite/frameset.html> (set/2001)
- YAMAMOTO, K. (2001) "Development of alertness-level-depend headway distance warning system". <http://www.elsevier.com/locate/jsaerev> (20/01/2003).

APÊNDICE A

FIGURA AP1 Representação da figura 21.1 do IPR (1976)

FIGURA AP2 Representação do DESENHO 23 do IPR (1976)

FIGURA AP3 Representação do DESENHO 24 do IPR (1976)

FIGURA AP4 Representação da figura IX-53 "channalized" do AASHTO (1994)

FIGURA AP5 Representação da figura IX-53 "flared" do AASHTO (1994)

FIGURA AP6 Representação da figura IX-68 do AASHTO (1994)

FIGURA AP7 Representação da figura D5.3h do ALBERTA (1999)