



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia de Produção

BRENO CASTRO LOPES
HEITOR GIUBERTI

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE
TRÁFEGO PARA ANÁLISE E MELHORIA DE UMA
INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA**

Vitória - ES

2011

BRENO CASTRO LOPES

castro_lopes@hotmail.com

HEITOR GIUBERTI

heitor.giuberti@gmail.com

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE
TRÁFEGO PARA ANÁLISE E MELHORIA DE UMA
INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof.º Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa

Vitória – ES

2011

BRENO CASTRO LOPES

HEITOR GIUBERTI

**APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE
TRÁFEGO PARA ANÁLISE E MELHORIA DE UMA
INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em: 04 de Julho de 2011

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.º Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof.º MsC. Antônio Luiz Caus
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof.º Marco Antônio Barbosa da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus;

Agradecemos aos nossos pais, por terem nos proporcionado a oportunidade de concluir nossos estudos;

Agradecemos aos nossos irmãos, por terem nos apoiado em todas as escolhas nessa trajetória;

Agradecemos a toda nossa família, tios, primos e avós que sempre estiveram conosco;

Agradecemos aos nossos amigos;

Agradecemos ao Professor Rodrigo que contribuiu de maneira intensa com seus conhecimentos para elaboração desse trabalho;

A todos os envolvidos nessa caminhada, NOSSO MUITO OBRIGADO.

RESUMO

O presente estudo analisa a interseção entre as Av. Norte Sul, Av. João Palácio, Rod. Norte Sul e R. Rio Amazonas, localizada em um importante corredor de veículos da Grande Vitória, entre as cidades de Vitória e Serra, a fim de buscar melhorias para o trânsito na região. Os conceitos e metodologias descritos no Highway Capacity Manual (HCM), no Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e no Manual de Semáforos do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) foram utilizados juntamente com o método de Webster e os indicadores de desempenho com a finalidade de embasar e suportar todo o desenvolvimento desse trabalho. Foram realizadas contagens de tráfego e coleta de dados em toda a região analisada. Posteriormente, como proposições de melhoria, foram definidos três cenários distintos envolvendo rearranjo de circulação e remodelação da estrutura viária, de modo a buscar uma melhor fluidez do trânsito na região. Como parâmetro de comparação entre os cenários foram utilizados os indicadores de desempenho, que ilustraram o atraso médio por veículo, comprimento médio da fila, tempo médio de espera e porcentagem de veículos detidos, em cada uma das vias. Por fim, um dos cenários foi escolhido como a melhor solução, pois melhorou significativamente os indicadores de desempenho do trânsito na região analisada.

Palavras-chave: Engenharia de Tráfego, Método de Webster, Indicadores de Desempenho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de perdas de usuário do transporte público	15
Figura 2: Pilares básicos da engenharia de tráfego	20
Figura 3: Semáforo.....	23
Figura 4: Fases de um semáforo.....	23
Figura 5: Diagrama de estágio	25
Figura 6: Diagrama de tempos	26
Figura 7: Modelo de histograma para cálculo do fluxo de saturação	30
Figura 8: Estudo de escoamento da via	31
Figura 9: Metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto.....	42
Figura 10: Mapa da interseção analisada	45
Figura 11: Imagem da interseção analisada.....	45
Figura 12: Foto da interseção analisada	46
Figura 13: Limite dos bairros presentes na interseção.....	46
Figura 14: Delimitação dos bairros de Vitória.....	47
Figura 15: Delimitação dos bairros da Serra	47
Figura 16: Delimitação do zoneamento urbanístico de Vitória	48
Figura 17: Zoom da área demarcada na Figura 16.....	48
Figura 18: Sentido do fluxo de veículos na região.....	49
Figura 19: Mapa viário da região.....	49
Figura 20: Os semáforos da interseção	50
Figura 21: Os estágios semaforicos do cenário atual.....	51
Figura 22: Primeiro estágio do cenário atual.....	52
Figura 23: Segundo estágio do cenário atual.....	52
Figura 24: Terceiro estágio do cenário atual	53
Figura 25: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário atual.....	53
Figura 26: Primeiro estágio do cenário 2.....	69
Figura 27: Segundo estágio do cenário 2.....	70
Figura 28: Área para construção da nova pista do cenário 3	70
Figura 29: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário 2	77
Figura 30: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário 3	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da frota no Estado do Espírito Santo	13
Gráfico 2: Evolução do número de multas no Estado do Espírito Santo	16
Gráfico 3: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Avenida Norte Sul.....	57
Gráfico 4: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Rodovia Norte Sul.....	57
Gráfico 5: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Avenida João Palácio..	58
Gráfico 6: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Rua Rio Amazonas	58
Gráfico 7: Comparação do grau de saturação dos cenários	98
Gráfico 8: Comparação do atraso médio por veículo dos cenários	99
Gráfico 9: Comparação do comprimento médio da fila dos cenários	100
Gráfico 10: Comparação do tempo médio de espera dos cenários.....	101
Gráfico 11: Comparação da proporção de veículos detidos dos cenários	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição das viagens internas e externas dos municípios da RMGV...	17
Tabela 2: Tabela de equivalência veicular	22
Tabela 3: Tempos de amarelo para cada tipo de via	24
Tabela 4: Dados gerais das vias	54
Tabela 5: Porcentagem de cada tipo de conversão do cenário atual.....	54
Tabela 6: Porcentagem de veículos pesados por via do cenário atual	55
Tabela 7: Volume de tráfego nas vias do cenário atual.....	55
Tabela 8: Fluxo de saturação das vias do cenário atual	59
Tabela 9: Volume de tráfego do cenário 1	71
Tabela 10: Fluxo de saturação do cenário 1	71
Tabela 11: Tempo perdido no cenário 1.....	72
Tabela 12: Taxa de ocupação do cenário 1	72
Tabela 13: Volume de tráfego no cenário 2	73
Tabela 14: Fluxo de saturação do cenário 2	74
Tabela 15: Volume de tráfego do cenário 3	85
Tabela 16: Fluxo de saturação do cenário 3	86
Tabela 17: Comparação do grau de saturação dos cenários	98
Tabela 18: Comparação do atraso médio por veículo dos cenários.....	98
Tabela 19: Comparação do comprimento médio da fila dos cenários.....	99
Tabela 20: Comparação do tempo médio de espera dos cenários	100
Tabela 21: Comparação da proporção de veículos detidos dos cenários	101

LISTA DE SIGLAS

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

DETRAN-ES – Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo

ANTP – Associação Nacional de Transporte Público

CETURB/GV – Companhia de Transporte Urbano da Grande Vitória

RMGV – Região Metropolitana da Grande Vitória

FHP – Fator Horário de Pico

HCM – Highway Capacity Manual

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos.....	17
1.1.1. Objetivo Geral	17
1.1.2. Objetivos Específicos.....	17
1.2. Justificativa.....	18
1.3. Estrutura do Trabalho.....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. A Engenharia de Tráfego.....	20
2.1.1. Elementos do Sistema de Tráfego.....	21
2.1.1.1. Usuário	21
2.1.1.2. Veículo	21
2.1.1.3. Via.....	22
2.2. Semáforo	22
2.2.1. Diagrama de Estágios.....	24
2.2.2. Diagrama de Tempos.....	25
2.3. Pesquisas de Tráfego	26
2.3.1. Contagens Volumétricas	26
2.4. Conceitos, Definições e Características do Tráfego	28
2.4.1. Fluxo ou Volume de Tráfego.....	28
2.4.2. Fator Horário de Pico	28
2.4.3. Fluxo de Saturação	29
2.4.3.1. Método DENATRAN	30
2.4.4. Tempo Perdido.....	31
2.4.4.1. Cálculo do Tempo Perdido	32
2.4.5. Tempo de Verde Efetivo	33
2.4.6. Capacidade.....	34
2.4.7. Taxa de Ocupação	35
2.4.8. Grau de Saturação	35
2.5. Método de Webster	36
2.5.1. Tempo de Ciclo Mínimo	36
2.5.2. Tempo de Ciclo Ótimo	37
2.6. Indicadores de Desempenho	39
2.6.1. Atraso Médio por Veículo	39
2.6.2. Comprimento Médio da Fila.....	40
2.6.3. Tempo Médio de Espera	41

2.6.4. Proporção dos Veículos Detidos	41
3. METODOLOGIA	42
4. ESTUDO DE CASO	45
4.1. Cenário Atual	45
4.1.1. Apresentação da Interseção	45
4.1.2. As Vias da Interseção	48
4.1.3. Os Semáforos da Interseção	50
4.1.3.1. Apresentação dos Semáforos	50
4.1.3.2. Os Estágios Semafóricos	51
4.1.4. Características Gerais da Interseção	54
4.2. Análise do Cenário Atual	54
4.2.1. Conversões do Cenário Atual	54
4.2.2. Veículos Pesados do Cenário Atual	55
4.2.3. Volume de Tráfego do Cenário Atual	55
4.2.4. Fator Horário de Pico do Cenário Atual	55
4.2.5. Fluxo de Saturação do Cenário Atual	56
4.2.6. Tempo perdido do Cenário Atual	59
4.2.7. Capacidade do Cenário Atual	60
4.2.8. Taxa de Ocupação do Cenário Atual	61
4.2.9. Grau de Saturação do Cenário Atual	62
4.2.10. Indicadores de Desempenho do Cenário Atual	63
4.2.10.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário Atual	63
4.2.10.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário Atual	65
4.2.10.3. Tempo Médio de Espera do Cenário Atual	66
4.2.10.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário Atual	67
4.3. Proposição de Melhorias	68
4.3.1. Cenário 1	68
4.3.2. Cenário 2	68
4.3.3. Cenário 3	70
4.4. Análise das Proposições de Melhoria	70
4.4.1. Cenário 1	71
4.4.1.1. Volume de Tráfego do Cenário 1	71
4.4.1.2. Fluxo de Saturação do Cenário 1	71
4.4.1.3. Tempo Perdido do Cenário 1	71
4.4.1.4. Taxa de Ocupação do Cenário 1	72
4.4.1.5. Tempo de Ciclo do Cenário 1	72
4.4.2. Cenário 2	73

4.4.2.1. Volume de Tráfego do Cenário 2.....	73
4.4.2.2. Fator Horário de Pico do Cenário 2.....	73
4.4.2.3. Fluxo de Saturação do Cenário 2.....	74
4.4.2.4. Tempo Perdido do Cenário 2.....	74
4.4.2.5. Taxa de Ocupação do Cenário 2.....	75
4.4.2.6. Tempo de Ciclo do Cenário 2.....	76
4.4.2.7. Tempo de Verde do Cenário 2.....	76
4.4.2.8. Ciclo dos Semáforos do Cenário 2.....	77
4.4.2.9. Capacidade do Cenário 2.....	77
4.4.2.10. Grau de Saturação do Cenário 2.....	79
4.4.2.11. Indicadores de Desempenho do Cenário 2.....	80
4.4.2.11.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário 2.....	80
4.4.2.11.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário 2.....	82
4.4.2.11.3. Tempo Médio de Espera do Cenário 2.....	83
4.4.2.11.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário 2.....	84
4.4.3. Cenário 3.....	85
4.4.3.1. Volume de Tráfego do Cenário 3.....	85
4.4.3.2. Fator Horário de Pico do Cenário 3.....	85
4.4.3.3. Fluxo de Saturação do Cenário 3.....	86
4.4.3.4. Tempo Perdido do Cenário 3.....	87
4.4.3.5. Taxa de Ocupação do Cenário 3.....	87
4.4.3.6. Tempo de Ciclo do Cenário 3.....	88
4.4.3.7. Tempo de Verde do Cenário 3.....	88
4.4.3.8. Ciclo dos Semáforos do Cenário 3.....	89
4.4.3.9. Capacidade do Cenário 3.....	90
4.4.3.10. Grau de Saturação do Cenário 3.....	91
4.4.3.11. Indicadores de Desempenho do Cenário 3.....	92
4.4.3.11.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário 3.....	92
4.4.3.11.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário 3.....	94
4.4.3.11.3. Tempo Médio de Espera do Cenário 3.....	95
4.4.3.11.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário 3.....	96
4.5. Análise Global dos Cenários.....	97
5. CONCLUSÃO.....	103
5.1. Trabalhos Futuros.....	104
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXO A – DADOS COLETADOS.....	109

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a economia brasileira cresceu de forma significativa. Com isso, a população ganhou maior poder de compra e passou a adquirir bens que antes não faziam parte de sua realidade.

Um dos bens que se tornou realidade para a população foram os veículos particulares, que cresceram de forma acentuada em todo o país, saturando as vias urbanas dos grandes e médios centros, contribuindo assim para a complicação do trânsito e para o decréscimo da qualidade de vida nessas regiões.

Por um lado, observa-se o crescimento de uma nova classe média e com ela um novo patamar de poder de compra. Segundo o IBGE (2010) o poder de compra do brasileiro cresceu 19% nos últimos oito anos. Aliado a isso, encontra-se uma maior facilidade de crédito que contribui para a aquisição de novos bens.

Segundo relatório do DETRAN-ES (2009), a frota capixaba de veículos cresceu 44% entre os anos de 2005 e 2009 (Gráfico 1), enquanto a população, no mesmo período, cresceu 7%. Além disso, a taxa de motorização, que corresponde à taxa de veículos por pessoa, cresceu 33% nesse período.

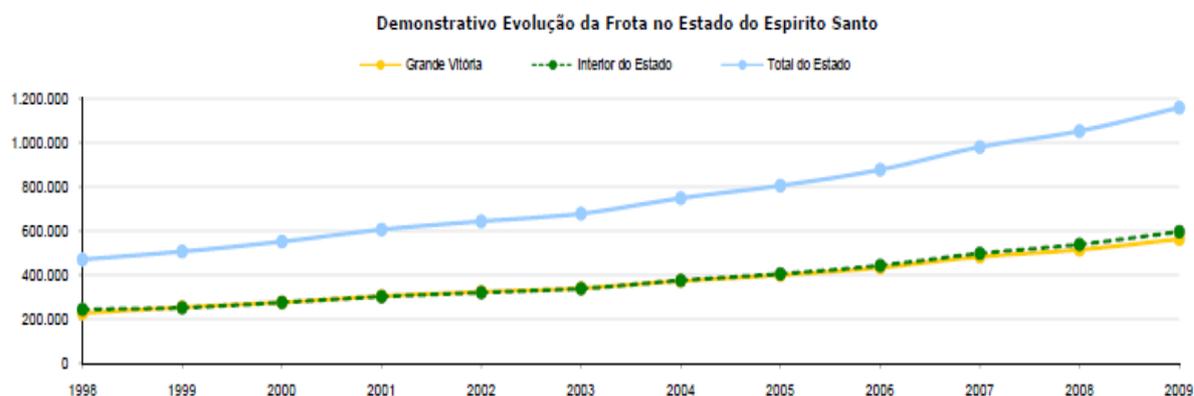


Gráfico 1: Evolução da frota no Estado do Espírito Santo
Fonte: Relatório de Frota DETRAN-ES (2009)

Adicionalmente ao fato acima, outros três fatores podem ser destacados como contribuintes para o caos do trânsito nos centros urbanos: falta de investimento no

transporte coletivo, alta taxa de ocupação das cidades e desrespeito as leis de trânsito e normas de circulação.

A falta de investimento em qualidade nos transportes públicos tornou-se padrão nos municípios brasileiros. Segundo a Associação Nacional de Transporte Público (2010), essa realidade privilegia o aumento do número de automóveis e motos, que representam somente 20% dos deslocamentos nos centros urbanos, provocando assim, perdas de horas produtivas, inchaço da malha viária, gastos excessivos de combustível, congestionamento, perdas pessoais, gastos médicos com acidentes e destruição dos equipamentos públicos.

Segundo o mesmo órgão, o modelo de transporte público adotado pelas cidades brasileiras não está adequado a realidade, pois dificulta a mobilidade urbana, impactando diretamente na qualidade de vida dos moradores e na economia desses centros.

Em pesquisa realizada pela ANTP, verificou-se que o número de usuários do transporte público vem caindo em diversas cidades. Segundo relatório, as perdas de passageiros chegam a índices alarmantes. Um exemplo disso está nos dois maiores centros do país: São Paulo transportava 10 milhões de pessoas por dia e hoje transporta 8,5 milhões, já o Rio transportava 4 milhões de passageiros por dia e hoje transporta 2,5 milhões.

De acordo com a Figura 1, a perda de passageiros nos transportes públicos ocorre de maneira cíclica. Primeiramente, o grande número de automóveis nas ruas prejudica a circulação dos demais veículos, contribuindo assim para o aumento dos congestionamentos. Com isso, os transportes públicos se tornam mais lentos e ineficientes, fazendo que seus usuários deixem de utilizar o serviço e passem a utilizar veículos próprios, que prejudicarão ainda mais o trânsito e os usuários cativos do transporte público.

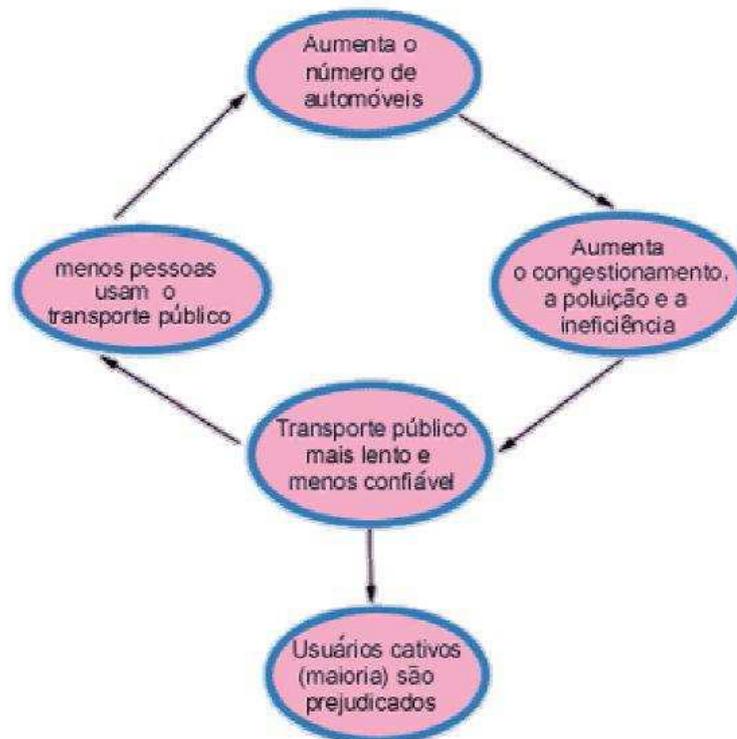


Figura 1: Ciclo de perdas de usuário do transporte público

Fonte: Desenvolvimento urbano e políticas de transporte e trânsito, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Mackenzie. Adaptado ANTP. Pág. 2

No transporte público, a realidade capixaba não está muito distante da brasileira. Em dados publicados pela CETURB (2009), observa-se que a Grande Vitória possui uma média de quarenta e oito passageiros por viagem e esse índice cresce exponencialmente nos horários de pico, o que indica a falta de qualidade no serviço prestado à população.

Outro ponto de análise é a defasagem da malha viária urbana dos grandes centros, que foram projetadas, em muitos casos, para volumes de tráfego bem inferiores aos encontrados hoje.

Com um aumento populacional, diversas construções foram erguidas ao entorno das ruas e avenidas, com isso projetos de ampliação e modernização dessas vias se tornam inviáveis, contribuindo assim para uma maior complicação do trânsito nessas regiões.

Segundo Castiglioni, Uyttenhove e Venturim (2010, Pág. 14), o solo em vitória é altamente consolidado dificultando a expansão racional do sistema viário. Dessa

forma, a abertura de novas vias não consegue acompanhar o crescimento da frota devido à falta de espaço disponível e de recursos financeiros.

O fator educação, um dos pilares da engenharia de tráfego, é outro complicador que afeta a mobilidade do trânsito nos centros urbanos. Diariamente, observa-se um grande número de infrações nas vias urbanas brasileiras, entre elas pode-se citar: ultrapassagem de sinal vermelho, realização de conversões e retornos proibidos e fechamento de cruzamento de vias. Com isso toda a dinâmica do trânsito é afetada, contribuindo para uma piora do fluxo de veículos nas cidades.

Segundo DETRAN-ES (2009), o número de autuações de trânsito no Estado cresceu 342% entre os anos de 2005 e 2009 (Gráfico 2).

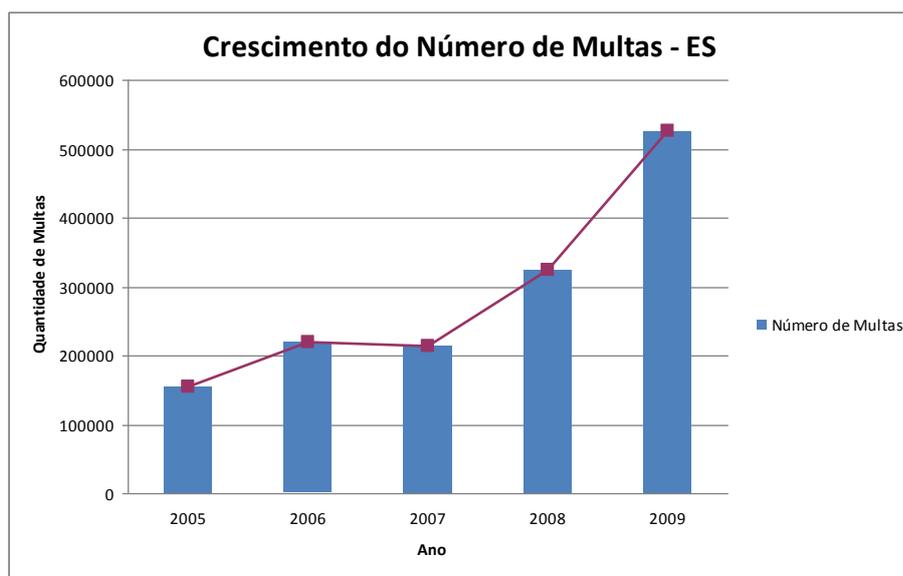


Gráfico 2: Evolução do número de multas no Estado do Espírito Santo

Em Vitória mais um fator pode ser adicionado como complicador do trânsito na capital: o fato de Vitória ser a cidade centralizadora dos deslocamentos da Região Metropolitana.

A distribuição geográfica das oportunidades de emprego e atividades econômicas faz com que Vitória seja uma região de concentração dos deslocamentos da Grande Vitória. Dessa forma, a capital recebe diariamente um volume alto de veículos externos que prejudicam ainda mais o trânsito na cidade (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição das viagens internas e externas dos municípios da RMGV

Município	Viagens Externas (intermunicipais)	Viagens Internas (intramunicipais)	Total Geral	Participação de Viagens Externas (%)	Participação de Viagens Internas (%)
Vitória	114.675	717.220	831.895	13,80%	86,20%
Cariacica	201.545	427.372	628.917	32,00%	68,00%
Serra	96.345	575.700	721.274	13,40%	79,80%
Viana	46.060	62.890	108.950	42,30%	57,70%
Vila Velha	221.636	669.150	890.786	24,90%	75,10%
RMGV*	680.261	2.452.332	3.181.822	21,40%	77,10%

Fonte: Monitoramento de Intervenções Viárias em áreas Residenciais Urbanas (2010)

Nesse contexto, o presente trabalho busca a aplicação de técnicas de engenharia de tráfego para a análise e melhoria de uma interseção semaforizada, localizada em um importante corredor de veículos da Grande Vitória, entre as cidades de Vitória e Serra, buscando assim, uma melhora do trânsito na região analisada.

Para tal fim, esse estudo apresenta e analisa proposições de melhoria para a interseção, buscando contribuir para uma melhor circulação de veículos na região do estudo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Utilizar as ferramentas da engenharia de tráfego para analisar e propor modificações para o cruzamento entre as Av. Norte Sul, Av. João Palácio, Rod. Norte Sul e R. Rio Amazonas, buscando um aumento do fluxo de veículos e melhoria na qualidade de circulação da região.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos ligados à engenharia de tráfego.
- Identificar os fatores que afetam diretamente o trânsito na região a ser estudada.
- Aplicar as técnicas e conceitos da engenharia de tráfego para a análise dos cenários.
- Aplicar o método de Webster nos cenários propostos.
- Aplicar os indicadores de desempenho para analisar os cenários.
- Identificar uma melhoria para a região.

1.2. Justificativa

Ao observar a política de trânsito da Grande Vitória, observa-se a completa falta de planejamento do governo em gerenciar e controlar o tráfego de veículos na Região Metropolitana, provocando assim o aumento dos congestionamentos e decréscimo da qualidade de vida dos moradores.

Dentro desse contexto, grandes centros industriais como a Serra sofrem com essa problemática, pois dependem diretamente de seus trabalhadores, que em muitos casos, não conseguem chegar aos seus postos de serviço em tempo hábil, provocando assim, prejuízos para as empresas e, principalmente, para o estado.

Considerando os fatos expostos anteriormente, o presente trabalho mostra-se de grande importância, pois pretende melhorar o fluxo de veículos no cruzamento entre as Av. Norte Sul, Av. João Palácio, Rod. Norte Sul e R. Rio Amazonas, que está presente em um dos principais corredores de tráfego da Grande Vitória, sendo responsável pelo escoamento de grande parte dos veículos que seguem em direção ao pólo industrial da Serra.

1.3. Estrutura do Trabalho

O projeto está dividido em cinco capítulos, que serão apresentados nos parágrafos a seguir.

No primeiro capítulo, apresenta-se a introdução, a formulação do problema, a justificativa e os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, destaca-se a fundamentação teórica do trabalho, com o intuito de abordar conceitos e conhecimentos da engenharia de tráfego pertinentes ao desenvolvimento do estudo.

No terceiro capítulo, descreve-se toda a metodologia utilizada para o desenvolvimento e suporte do trabalho.

No quarto capítulo, apresenta-se o estudo de caso do projeto.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A Engenharia de Tráfego

A engenharia de tráfego é a área responsável pelo planejamento de vias e pela circulação do trânsito nas mesmas, buscando sempre transportar pessoas e mercadorias de forma eficiente, econômica e segura (DENATRAN, 2006, pág. 16).

Segundo Silva (2001) a engenharia de tráfego é a área do conhecimento que objetiva o planejamento, o projeto geométrico e a operação de tráfego em vias. Segundo o mesmo autor, essa área da engenharia trata de problemas que não dependem apenas de fatores técnicos e físicos, mas frequentemente incluem o comportamento humano dos usuários e suas inter-relações com a complexidade do ambiente.

Já Pignataro (1973) define a engenharia de tráfego como a área interdisciplinar que objetiva assegurar o movimento seguro, eficiente e conveniente de pessoas e bens. Além disso, afirma que seus projetos devem ser tratados por uma equipe multidisciplinar, composta por: engenheiros civis, engenheiros estruturais, engenheiros de tráfego, arquitetos, paisagistas, urbanistas, planejadores urbanos, sociólogos, geógrafos urbanos, economistas, matemáticos, advogados e analistas de mercado.

A engenharia de tráfego se baseia em três pilares básicos (Figura 2), conhecidos como os três Es, do inglês: Engineering (Engenharia), Education (Educação), Enforcement (Fiscalização).

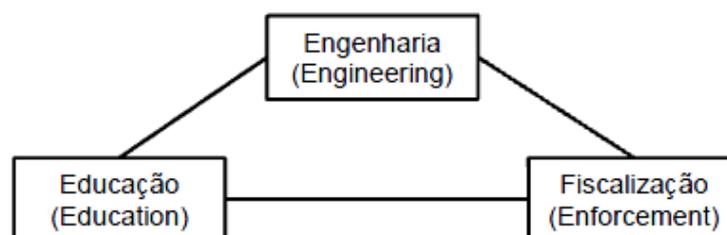


Figura 2: Pilares básicos da engenharia de tráfego

2.1.1. Elementos do Sistema de Tráfego

Em toda bibliografia pertinente ao assunto, define-se a existência de três componentes para o sistema de tráfego: o usuário, o veículo e a via.

2.1.1.1. Usuário

De uma forma geral são considerados usuários do sistema de tráfego todas as pessoas que utilizam de alguma forma a estrutura de tráfego de uma região. Basicamente esse grupo é formado por motoristas e pedestres.

Em uma análise mais ampla, consideram-se também como usuário do sistema os moradores de uma área que são afetados diretamente pela operação do tráfego em uma via.

2.1.1.2. Veículo

Todas as entidades utilizadas como ferramenta de deslocamento em um sistema de tráfego são consideradas veículos, entre elas: automóveis, caminhões, motocicletas, triciclos, bicicletas, carroças, bondes e etc.

Como a quantidade de tipos de veículos é grande, a maioria dos estudos de tráfego adota uma unidade veicular padrão, para a qual são convertidos os outros tipos de veículos por meio de fatores de conversão apropriados. Essa unidade é simbolizada por ucp (unidade de carro de passeio ou unidade de carro padrão) que em qualquer situação corresponde ao automóvel.

A Tabela 2 apresenta os valores de equivalência de cada tipo de veículo em unidade de carro de passeio.

Tabela 2: Tabela de equivalência veicular

Veículo	Equivalência (ucp)
Automóvel	1
Ônibus	2,25
Caminhão	1,75
Motocicleta	0,33

Fonte: Highway Capacity Manual – HCM (2000)

2.1.1.3. Via

As vias de um sistema de tráfego são definidas como as regiões destinadas à circulação dos veículos. O conjunto de vias utilizadas para os deslocamentos é denominado como sistema viário e tem a função básica de assegurar a mobilidade e acessibilidade ao usuário.

2.2. Semáforo

Quando duas vias se encontram ocorre o que se denomina de interseção. Nas interseções diversos movimentos não podem ser executados de maneira simultânea, esses movimentos são definidos como movimentos conflitantes.

Em vias com baixo volume de veículos, a organização do trânsito pode ser realizada com regras de prioridade, onde os motoristas são os responsáveis por julgar e definir o momento certo para a realização das manobras.

Porém, com o volume grande de veículos essas regras de prioridade não são suficientes para a organização do fluxo na interseção. Nesse momento, aparece a necessidade de implantação dos semáforos.

Segundo Lima (2005, pág. 31), o semáforo (Figura 3) é um dispositivo de controle de tráfego que, por meio de indicações luminosas transmitidas para os motoristas e pedestres, é responsável por alternar de maneira cíclica e sequencial o direito de passagem de veículos ou pedestres em interseções.



Figura 3: Semáforo
Fonte: Google (2010)

Os semáforos funcionam alternando seus indicadores luminosos (Figura 4). Cada indicador corresponde a uma fase do semáforo e possui um significado particular e único. Em geral a sequência é formada por verde, amarelo, vermelho e novamente o verde.

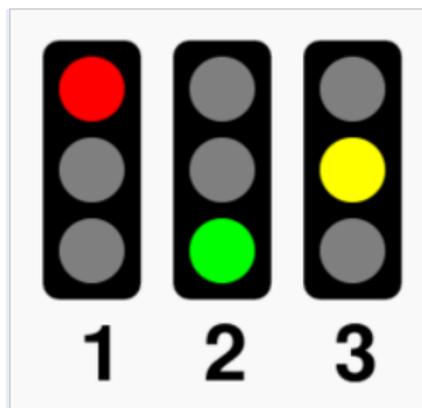


Figura 4: Fases de um semáforo
Fonte: Departamento Nacional de Trânsito

O sinal verde permite ao motorista seguir em frente no cruzamento, exceto que impedido por autoridade legal. Nesse momento, o usuário pode executar qualquer uma das manobras permitidas na interseção.

O sinal amarelo indica que os motoristas devem parar os veículos. Caso não seja possível, devem seguir em frente e atravessar a interseção. Essa fase é utilizada para garantir a limpeza completa do cruzamento.

O tempo do sinal amarelo varia de acordo com a velocidade da via e o comprimento do cruzamento. A Tabela 3 apresenta os tempos de amarelo padrão para cada tipo de via.

Tabela 3: Tempos de amarelo para cada tipo de via

Velocidade Máxima Regulamentada (km)	Tempo de Amarelo Arredondado (segundos)
<= 40	3
50	4
60	4
70	5
80	5

Fonte: Aula 6: Semáforos (ROSA, 2010)

No presente trabalho, o tempo de amarelo adotado será de quatro segundos para o projeto de qualquer cenário a ser analisado.

O sinal vermelho indica que os motoristas devem parar os veículos e permanecer parados até que recebam autorização de passagem por meio da luz verde.

O tempo decorrido entre o fim do verde de uma fase e o início do verde da fase seguinte é definido com período de entreverdes. Normalmente esse tempo corresponde ao tempo de amarelo somado ao vermelho de segurança.

O vermelho de segurança ou vermelho geral é o tempo em que todos os semáforos da interseção estão na fase vermelha. Normalmente é aplicado em interseções longas para garantir a limpeza do cruzamento.

Nesse projeto, o tempo de vermelho de segurança a ser aplicado será de um segundo para qualquer cenário proposto.

2.2.1. Diagrama de Estágios

O estágio semaforico é definido como sendo a situação dos semáforos de uma interseção, durante um período de tempo, que dá direito de passagem a uma ou mais correntes de tráfego e no qual não há mudança de cores.

Os estágios de uma interseção podem ser representados graficamente por meio de setas e “T”, essa representação é denominada diagrama de estágio (Figura 5).

Segundo Lima (2005, pág. 34), o diagrama de estágio é uma representação esquemática da sequência de movimentos permitidos e proibidos para cada intervalo do ciclo.

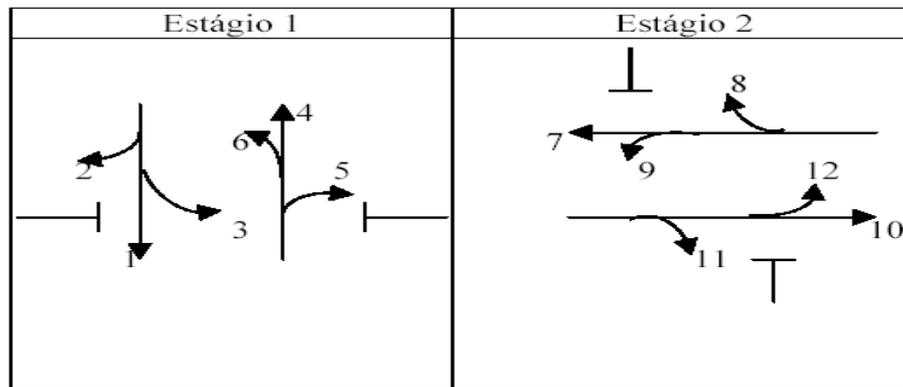


Figura 5: Diagrama de estágio

Fonte: Otimização de trânsito – uma abordagem utilizando algoritmos genéricos (2005)

As setas do diagrama acima indicam as vias que recebem o direito de passagem no estágio. Já os “T” indicam as vias que tiveram seu fluxo bloqueado no estágio.

2.2.2. Diagrama de Tempos

O somatório dos tempos de todas as fases de um semáforo é denominado ciclo semaforico. Esse ciclo pode ser representado por meio de gráficos que são conhecidos como diagrama de tempos (Figura 6).

Segundo Lima (2005, pág. 36), o diagrama de tempos é uma representação esquemática, a qual associa os instantes de mudança dos estágios com a sequência de cores e suas respectivas fases. De um modo geral esse diagrama associa, ainda

que de forma estática, os principais conceitos referentes a uma interseção sinalizada.

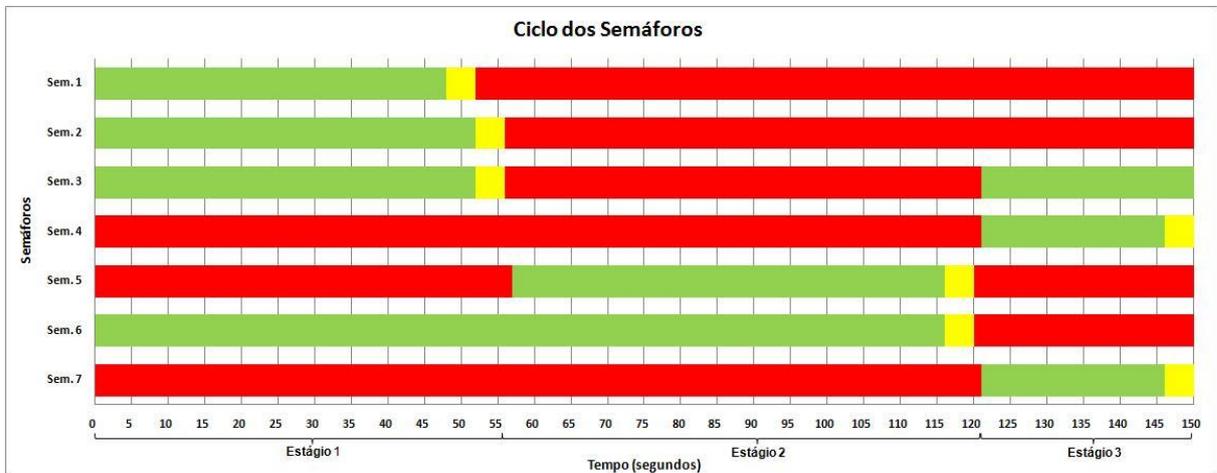


Figura 6: Diagrama de tempos

2.3. Pesquisas de Tráfego

Normalmente na engenharia de tráfego são realizadas pesquisas para fazer o levantamento de dados de campo. Esses dados podem ser obtidos por meio de duas formas: entrevistas ou observação direta.

Para o presente trabalho, serão realizadas apenas observações diretas, a fim de registrar todos os fenômenos de trânsito que ocorrem no local do estudo.

2.3.1. Contagens Volumétricas

As contagens volumétricas visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações serão usadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego e outras melhorias (DNIT, 2006, pág. 101).

Essas contagens podem ser realizadas em dois locais básicos: nos trechos entre interseções ou nas interseções. Nesse trabalho serão realizadas contagens apenas nas interseções.

As contagens em interseções são realizadas visando à obtenção de dados necessários à elaboração de seus fluxogramas de tráfego, projetos de canalização, identificação dos movimentos permitidos, cálculos de capacidade e análise de acidentes (GOLDNER, 2010, pág. 22)

Outro ponto a se avaliar, é a classificação das contagens volumétricas, que podem ser divididas em três grupos: contagens globais, direcionais e classificatórias. Nesse projeto serão realizadas apenas contagens direcionais e classificatórias.

As contagens direcionais são aquelas em que é registrado o número de veículos por sentido do fluxo e são empregadas para cálculos de capacidade, determinação de intervalo de sinais, justificativa de controles de trânsito, estudos de acidentes, previsão de faixas adicionais em rampas ascendentes, etc. (DNIT, 2006, pág. 102).

Já as contagens classificatórias são utilizadas para registrar os volumes para os vários tipos ou classes de veículos. São empregadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculo de capacidade, cálculo de benefícios aos usuários e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas (DNIT, 2006, pág. 102).

Além disso, as contagens volumétricas podem ser realizadas de duas formas: por contagens manuais ou automáticas. Nesse trabalho, os dados serão obtidos por meio de contagens manuais.

As contagens manuais são contagens feitas por pesquisadores, com o auxílio de fichas e contadores manuais. São ideais para a classificação de veículos, análise de movimentos em interseções e contagens em rodovias com muitas faixas (DNIT, 2006, pág. 102).

Todos os procedimentos de coleta que serão realizados durante o desenvolvimento desse projeto serão detalhados na sessão de metodologia.

2.4. Conceitos, Definições e Características do Tráfego

2.4.1. Fluxo ou Volume de Tráfego

O fluxo ou volume de tráfego é uma característica da via que indica a quantidade de veículos que passam por um determinado trecho, ou por uma faixa, durante uma unidade de tempo. Normalmente é expresso em veículo por hora (DNIT, 2006).

Para a determinação de seu valor é preciso realizar contagens volumétricas em intervalos de quinze minutos, pois a adoção de intervalos menores pode resultar em superdimensionamento da via e excesso de capacidade em grande parte do período de pico. Por outro lado, intervalos maiores podem resultar em subdimensionamento e períodos substanciais de saturação (DNIT, 2006).

2.4.2. Fator Horário de Pico

A hora pico é o período de uma hora onde ocorre a maior movimentação de veículos em uma via, em um determinado ponto, em um determinado dia.

O volume de veículos que passa por uma sessão de uma via não é uniforme no tempo. A comparação de contagens de quatro períodos consecutivos de quinze minutos, mostra que são diferentes entre si. Essa variação leva ao estabelecimento do fator horário de pico (FHP), que mede justamente esta flutuação e mostra o grau de uniformidade do fluxo (DNIT, 2006, pág. 66).

A Fórmula 1 apresenta a maneira de se calcular esse fator.

$$FHP = V_{hp}/V_{15m\acute{a}x} \quad (1)$$

Onde:

FHP = Fator horário de pico

V_{hp} = Volume da hora de pico (ucp)

V_{15m_áx} = Volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora pico (ucp)

O fator de hora pico varia, teoricamente, entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de quinze minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme), ambos os casos praticamente impossíveis de se verificar (DNIT, 2006, pág. 68).

Os casos mais comuns são de FHP na faixa de 0,75 a 0,90. Os valores de FHP nas áreas urbanas se situam geralmente no intervalo de 0,80 a 0,98. Valores acima de 0,95 são indicativos de grandes volumes de tráfego, algumas vezes com restrições de capacidade durante a hora de pico (DNIT, 2006, pág. 68).

2.4.3. Fluxo de Saturação

O fluxo de saturação é definido como sendo o volume máximo de veículos que uma via consegue escoar admitindo-se um tempo de verde infinito. Normalmente é expresso em veículos por hora ou veículos por hora de tempo verde.

Ao longo dos anos, diversos autores desenvolveram fórmulas ou métodos para a obtenção desse valor, entre os mais importantes pode-se citar: método da taxa dos headways, método DENATRAN, método ARRB, método HCM, método de Webster, método de Shanteau, método de Kimber, McDonald e Hounsell, método de Andrade, método de Ribeiro, método de Magalhães, entre outros.

Segundo Luna (2003), os métodos de obtenção do fluxo de saturação podem ser divididos em dois grupos: métodos empíricos e métodos de medição direta.

Segundo o mesmo autor, os métodos empíricos apresentam estimativas imprecisas do valor do fluxo de saturação. Dessa forma, no presente trabalho não serão utilizados tais métodos, ficando definido o método DENATRAN como ferramenta de cálculo para o fluxo de saturação no estudo de caso.

2.4.3.1. Método DENATRAN

O Manual de Semáforos (DENATRAN, 1984) apresenta no apêndice A uma forma de identificação do fluxo de saturação utilizando histogramas de tráfego. A finalidade do histograma é representar graficamente o fluxo de veículos versus tempo e pode ser aplicado em qualquer aproximação semaforizada.

Para a aplicação do método é preciso ter um fluxo ininterrupto e contínuo, ou seja, fluxo de veículos em toda a duração do tempo de verde e amarelo do semáforo. Além disso, é preciso verificar se não existem barreiras ou obstáculos à frente que possam prejudicar e alterar a medição do fluxo de saturação.

Em vários ciclos, no mínimo dez, se faz a contagem dos veículos que atravessam a linha de retenção a cada cinco segundos, até que o sinal feche e o fluxo de veículos pare.

Após a coleta, calcula-se a média para cada período e constrói-se o histograma (Figura 7).

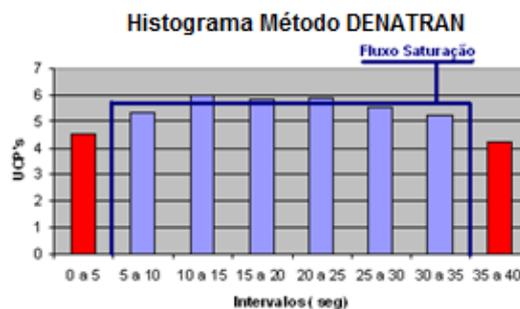


Figura 7: Modelo de histograma para cálculo do fluxo de saturação

Para o cálculo do fluxo de saturação, os períodos não significativos (primeiro e o último) são excluídos, pois apresentam perdas de capacidade devido a efeitos de aceleração e desaceleração. Depois, calcula-se o valor médio do fluxo de veículos para os períodos significativos (períodos restantes). Esse valor, que representa a média do fluxo de veículos em cinco segundos é multiplicado por setecentos e vinte para se ter um valor horário de fluxo de saturação.

2.4.4. Tempo Perdido

Quando um sinal abre em um semáforo é evidente que o fluxo de veículos não se inicia e nem termina instantaneamente. Analisando um estudo de escoamento observa-se que o fluxo de veículos varia no decorrer do período de verde (Figura 8).

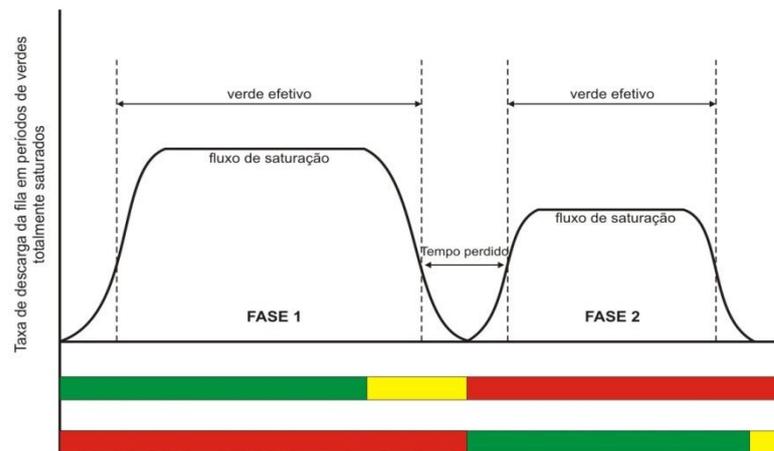


Figura 8: Estudo de escoamento da via

Fonte: Otimização de trânsito – uma abordagem utilizando algoritmos genéricos (2005)

No início do estágio, o escoamento de veículos é baixo. Na medida em que o tempo passa, o volume desse escoamento vai aumentando até atingir seu valor máximo, que é denominado de fluxo de saturação. Esse valor mantém-se praticamente constante durante alguns segundos, e então começa a decair até atingir o valor de zero.

Nos períodos onde a taxa de escoamento é crescente ou decrescente, define-se que ocorrem perdas. Essas perdas acontecem devido ao tempo de reação dos motoristas, que gastam um determinado tempo para acelerar ou frear o veículo.

As perdas que ocorrem no início do período de verde são definidas como tempo perdido inicial, já as perdas que ocorrem no final do período de verde são definidas como tempo perdido final. O somatório desses tempos é conhecido como tempo de reação.

Dessa forma, o tempo perdido é uma característica particular da via que está diretamente relacionado ao comportamento dos motoristas de uma determinada região. Seu valor é calculado por meio do somatório do tempo de reação com o tempo de vermelho de segurança.

2.4.4.1. Cálculo do Tempo Perdido

Conforme explicado anteriormente, o tempo perdido em uma via é formado pelo somatório do tempo perdido inicial (T_{pi}), tempo perdido final (T_{pf}) e o tempo de vermelho de segurança (V_s).

Assim como o fluxo de saturação, o tempo perdido inicial e o tempo perdido final são calculados através dos histogramas utilizados no método do DENATRAN (DENATRAN, 1984).

Para o cálculo do tempo perdido inicial (Fórmula 2), utiliza-se a primeira coluna do histograma. Primeiramente calcula-se a área dessa coluna, em seguida divide-se o valor encontrado pela média do fluxo de veículos dos valores significativos. Por fim, subtrai-se desse valor o tempo do período de coleta.

$$T_{pi} = 5 - (A_i/M_{vs}) \quad (2)$$

Onde:

T_{pi} = Tempo perdido inicial (segundos)

Ai = Área da primeira coluna do histograma

Mvs = Média do fluxo de veículos dos valores significativos do histograma (ucp)

Já para o cálculo do tempo perdido final (Fórmula 3), utiliza-se a última coluna do histograma. A metodologia a ser adotada é idêntica ao do cálculo do tempo perdido inicial.

$$\text{Tp}f = 5 - (A_f/M_{vs}) \quad (3)$$

Onde:

Tpf = Tempo perdido final (segundos)

Af = Área da última coluna do histograma

Mvs = Média do fluxo de veículos dos valores significativos do histograma (ucp)

Por fim, para o cálculo do tempo perdido por semáforo (Fórmula 4), é preciso adicionar, aos valores anteriores, o tempo de vermelho de segurança.

$$I = T_{pi} + T_{pf} + V_s \quad (4)$$

Onde:

I = Tempo perdido do semáforo (segundos)

Tpi = Tempo perdido inicial (segundos)

Tpf = Tempo perdido final (segundos)

Vs = Tempo de vermelho de segurança (segundos)

2.4.5. Tempo de Verde Efetivo

Conforme explicado na sessão anterior, o tempo de verde de um semáforo não é totalmente utilizado para o escoamento de seus veículos, pois ocorrem perdas durante esse processo. Com essa idéia, o tempo de verde efetivo (Gef) é definido como o tempo total em que realmente ocorre o fluxo máximo de veículos.

Seu valor é obtido por meio da diferença entre o tempo real de verde somado ao tempo de amarelo e o tempo de reação dos motoristas (Fórmula 5).

$$\mathbf{Gef = (G + Ta) - Tr} \quad \mathbf{(5)}$$

$$\mathbf{Tr = Tpi + Tpf}$$

Onde:

Gef = Tempo de verde efetivo do semáforo (segundos)

G = Tempo real de verde do semáforo (segundos)

Ta = Tempo de amarelo do semáforo (segundos)

Tr = Tempo de reação dos motoristas (segundos)

Tpi = Tempo perdido inicial (segundos)

Tpf = Tempo perdido final (segundos)

2.4.6. Capacidade

A capacidade de uma via é expressa como sendo o número máximo de veículos que podem passar por uma determinada faixa de tráfego ou trecho da via durante um período de tempo estipulado e sob as condições existentes da via e do trânsito (DENATRAN, 2006, pág. 263)

Normalmente é calculada para quantificar o grau de suficiência da via em acomodar os volumes de trânsito existentes e previstos, permitindo a análise técnica e econômica de medidas que asseguram o escoamento daqueles volumes em condições aceitáveis (DENATRAN, 2006, pág. 263).

Sendo assim, a capacidade de uma via está diretamente relacionada ao seu fluxo de saturação. Seu valor pode ser obtido por meio da Fórmula 6.

$$\mathbf{Cp = FS * (Gef/C)} \quad \mathbf{(6)}$$

Onde:

Cp = Capacidade da via (ucp/hora)

FS = Fluxo de saturação da via (ucp/hora)

Gef = Tempo de verde efetivo do semáforo (segundos)

C = Tempo de ciclo do semáforo (segundos)

2.4.7. Taxa de Ocupação

A taxa de ocupação de uma via é definida como sendo a relação entre o volume de tráfego e o fluxo de saturação.

Essa medida indica o quanto a via está sendo solicitada pelo seu volume de tráfego e pode ser calculada por meio da Fórmula 7.

$$Y = Vt/FS \quad (7)$$

Onde:

Y = Taxa de ocupação da via

Vt = Volume de tráfego da via (ucp/hora)

FS = Fluxo de saturação da via (ucp/hora)

Outra definição importante sobre esse tema é o conceito de taxa de ocupação crítica, que pode ser definida como sendo a maior taxa de ocupação de um estágio (Lima, 2005, pág. 50).

2.4.8. Grau de Saturação

O grau de saturação de uma via é definido como sendo a relação entre o volume de tráfego e a capacidade de atendimento.

Segundo Lima (2005, pág. 48), seu valor indica, dentro das condições reais de operação da interseção, o quanto a demanda está próxima da sua capacidade de escoamento. Dessa forma, esse fator tem grande importância na avaliação de desempenho de uma via. A Fórmula 8 apresenta a maneira de se calcular o grau de saturação.

$$X = Y * (C/Gef) \quad (8)$$

Onde:

X = Grau de saturação da via

Y = Taxa de ocupação da via

C = Tempo de ciclo do semáforo (segundos)

Gef = Tempo de verde efetivo do semáforo (segundos)

Para valores de $X < 1$, conclui-se que a via opera com folga, sendo seu tempo de verde suficiente para o escoamento de todos os veículos. Para o valor de $X = 1$, entende-se que a via está operando em sua capacidade máxima, não sendo possível o atendimento de mais veículos. Já para $X > 1$, observa-se que a via opera acima do limite de sua capacidade, não sustentando flutuações e provocando congestionamentos e formação de fila (LIMA, 2005, pág. 57).

2.5. Método de Webster

2.5.1. Tempo de Ciclo Mínimo

Durante o tempo de sinal vermelho, o volume de veículos que chega à interseção fica retido e com o tempo forma uma fila. Quando o semáforo abre, os veículos parados começam a ser escoados. Dessa forma, para que não haja fila excedente para o próximo ciclo é necessário que o tempo de verde seja suficiente para liberar todos os veículos que estavam parados (LIMA, 2005, pág. 50).

Com essa idéia, Webster (1958) desenvolveu, por meio de estudos e pesquisas, uma fórmula que relaciona as taxas de ocupação dos semáforos de uma interseção com o tempo perdido em cada um deles. Dessa forma, segundo ele, seria possível calcular um valor de tempo de ciclo mínimo para que os veículos fossem escoados em sua totalidade (LIMA, 2005, pág. 51).

A Fórmula 9 apresenta a equação desenvolvida por Webster (1958) para o cálculo do tempo de ciclo mínimo.

$$TCm = (\sum I)/(1 - \sum Y) \quad (9)$$

Onde:

TCm = Tempo de ciclo mínimo (segundos)

$\sum I$ = Somatório dos tempos perdidos em cada estágio (segundos)

$\sum Y$ = Somatório das taxas de ocupação crítica de cada estágio

A Fórmula 10 apresenta a equação desenvolvida por Webster (1958) para o cálculo do tempo de verde efetivo mínimo de cada semáforo da interseção.

$$Gef_{\text{mínimo}} = Y * TCm \quad (10)$$

Onde:

$Gef_{\text{mínimo}}$ = Tempo de verde efetivo mínimo do semáforo (segundos)

Y = Taxa de ocupação da via

TCm = Tempo de ciclo mínimo (segundos)

2.5.2. Tempo de Ciclo Ótimo

No desenvolvimento da equação para o cálculo do tempo de ciclo mínimo, Webster (1958) considerou implicitamente que os valores de demanda e escoamento são constantes durante o funcionamento do semáforo. Isso significa dizer, que essas taxas se manteriam praticamente uniformes ao longo do tempo. Entretanto, sabe-se que tal fato não é verdade, pois taxas aleatórias e imprevisíveis alteram esses valores (LIMA, 2005, pág. 51).

Dessa forma, operar uma interseção com ciclo mínimo não é uma estratégia muito inteligente, pois pequenas variações na demanda podem provocar filas excedentes, que acarretariam em congestionamentos e aumento do comprimento da fila.

Sendo assim, uma saída para esse problema seria estender o tamanho do ciclo para acomodar essas flutuações. Porém tal atitude tem um limite, pois a folga, a partir de certo valor, passa a ter influência irrisória nessa acomodação (LIMA, 2005, pág. 52).

Neste contexto, Webster (1958) a partir de uma série de estudos e simulações computacionais do comportamento do fluxo do tráfego e da relação entre atraso médio e tamanho de ciclo para interseções sinalizadas isoladas, obteve uma fórmula para o cálculo do tamanho do ciclo ótimo de uma dada interseção em função do tempo total perdido e do somatório das taxas de ocupação críticas (LIMA, 2005, pág. 52)

A Fórmula 11 apresenta a equação desenvolvida por Webster (1958) para o cálculo do tempo de ciclo ótimo (LIMA, 2005, pág. 52).

$$TCo = [(1,5 * \sum I) + 5]/(1 - \sum Y) \quad (11)$$

Onde:

TCo = Tempo de ciclo ótimo (segundos)

$\sum I$ = Somatório dos tempos perdidos em cada estágio (segundos)

$\sum Y$ = Somatório das taxas de ocupação crítica de cada estágio

A partir de suas simulações sobre a relação entre o atraso médio por veículo e o tempo de ciclo, Webster (1958) concluiu que o atraso total seria mínimo se o tempo total de verde efetivo no ciclo ótimo fosse distribuído proporcionalmente entre às taxas de ocupação crítica de cada estágio. Sendo assim, a partir desse conceito de proporcionalidade entre as fases de uma dada interseção, pode-se estabelecer uma equação geral para calcular o tempo efetivo de verde de cada semáforo (LIMA, 2005, pág. 53).

A Fórmula 12 apresenta a equação para o cálculo do verde efetivo ótimo ou verde efetivo de cada estágio (LIMA, 2005, pág. 53).

$$Gef = (Y_{crítica}/\sum Y) * (TCo - \sum I) \quad (12)$$

Onde:

Gef = Tempo de verde efetivo do semáforo (segundos)

$Y_{crítica}$ = Taxa de ocupação crítica do estágio

TCo = Tempo de ciclo ótimo (segundos)

$\sum I$ = Somatório dos tempos perdidos em cada estágio (segundos)

$\sum Y$ = Somatório das taxas de ocupação crítica de cada estágio

2.6. Indicadores de Desempenho

Após calcular e definir o plano semafórico de uma interseção é preciso verificar se o mesmo apresenta um nível de desempenho mínimo para atender a região onde está inserido.

Esse nível de desempenho é medido por meio dos indicadores de desempenho, que avaliam o comportamento potencial do projeto semafórico, a fim de responder se o mesmo apresenta a qualidade e os níveis de performance que são esperados (LIMA, 2005, pág. 55).

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores desenvolveram fórmulas para calcular esses indicadores, porém no presente trabalho, serão apresentados alguns métodos desenvolvidos por Webster (1958) e Brinati (1970).

2.6.1. Atraso Médio por Veículo

O conceito de atraso é relativo à parcela do tempo consumido em um deslocamento que excede ao tempo que deveria ter sido gasto. Ele é formado pelo somatório dos tempos de paradas e tempos excedidos pelo fato de trafegar em velocidade inferior a desejada.

Nesse contexto, após uma série de pesquisas e estudos de simulação, Webster (1958) deduziu uma equação para o cálculo do atraso total por veículo (Fórmula 13) em uma interseção (LIMA, 2005, pág. 56).

$$D = C * (1 - h)^2 / 2 * (1 - h * X) + [(X^2 / 2 * Vt * (1 - X)] - [0,65 * (C / Vt^2)^{1/3} * X^{(2+5 * h)}] \quad (13)$$

$h = (Gef/C)$

Onde:

D = Atraso médio por veículo do semáforo (segundos)

C = Tempo de ciclo do semáforo (segundos)

X = Grau de saturação da via

Vt = Volume de tráfego da via (ucp/segundo)

h = Relação entre o verde efetivo e o tempo de ciclo do semáforo

Na Fórmula 13, os dois primeiros termos da fórmula se referem ao atraso uniforme e atraso aleatório, respectivamente. O terceiro termo é um fator de correção que corresponde a 10% do atraso total.

Vale ressaltar ainda, que esta fórmula não é apropriada para vias com taxas de ocupação maiores que 0,90.

2.6.2. Comprimento Médio da Fila

O comprimento médio da fila diz respeito à quantidade de veículos que ficam parados em fila em uma interseção sinalizada.

Esse indicador é de extrema relevância, pois através dele é possível verificar a extensão média da fila durante um ciclo do semáforo, dessa forma, é possível obter uma estimativa de qualidade da via (LIMA, 2005, pág. 56).

A Fórmula 14 apresenta a maneira de calcular esse indicador (LIMA, 2005, pág. 56).

$$\begin{aligned}
 N1 &= Vt * ((C - Gef)/2 + D) \\
 N2 &= Vt * (C - Gef) \\
 N &= (N1 + N2)/2
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Onde:

N = Comprimento médio da fila do semáforo (ucp)

N1 = Primeiro parâmetro para o cálculo da fila (ucp)

N2 = Segundo parâmetro para o cálculo da fila (ucp)

Vt = Volume de tráfego da via (ucp/segundo)

C = Tempo de ciclo do semáforo (segundos)

Gef = Verde efetivo do semáforo (segundos)

D = Atraso médio por veículo do semáforo (segundos)

2.6.3. Tempo Médio de Espera

O tempo médio de espera é definido como o tempo total em que um veículo leva para atravessar completamente a interseção, desde o momento em que chega à fila até o momento que completa a travessia.

Dentro deste contexto, Brinati (1970) aplicou um modelo de filas, para determinar o tempo médio de espera dos veículos em uma interseção. A Fórmula 15 deduzida por ele está apresentada abaixo (NOVAES, 1975, pág. 160).

$$W = (N/FS) + ((C - Gef)/2) \quad (15)$$

Onde:

W = Tempo médio de espera (segundos)

N = Comprimento médio da fila do semáforo (ucp)

FS = Fluxo de saturação da via (ucp/segundo)

C = Tempo de ciclo do semáforo (segundos)

Gef = Verde efetivo do semáforo (segundos)

2.6.4. Proporção dos Veículos Detidos

Esse indicador aponta a porcentagem de veículos que ficam retidos, pelo menos uma vez, nos semáforos da interseção. A Fórmula 16 apresenta a maneira de se calcular esse indicador (LIMA, 2005, pág. 57).

$$P = (1 - h)/(1 + h) \quad (16)$$

Onde:

P = Proporção dos veículos detidos no semáforo

h = Relação entre o verde efetivo e o tempo de ciclo do semáforo

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento desse projeto foi dividida em sete etapas e está apresentada no diagrama abaixo (Figura 9).

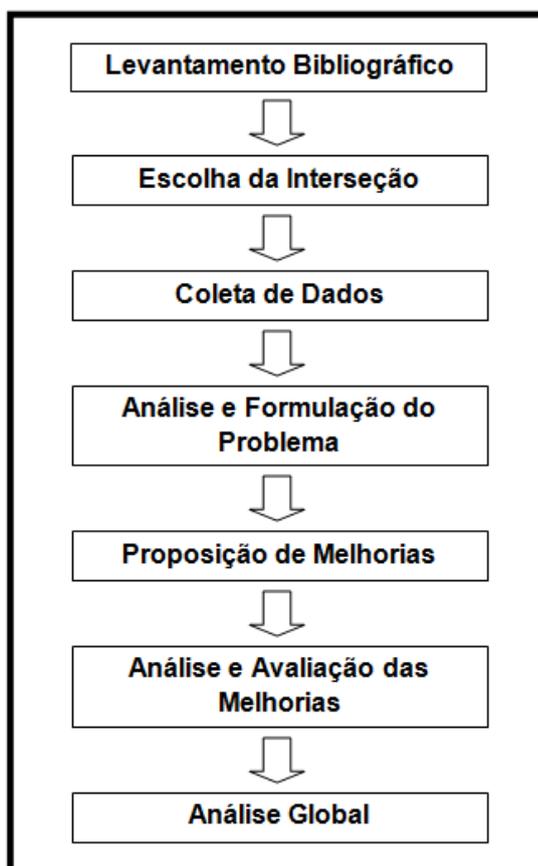


Figura 9: Metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto

O levantamento bibliográfico foi o início do estudo desenvolvido nesse projeto. Essa etapa consistiu em realizar uma pesquisa em todas as bibliotecas sobre o assunto. Nessa pesquisa foram acumuladas diversas literaturas que serão listadas no tópico referências bibliográficas.

Em seguida, foi necessário definir a interseção que seria estudada nesse trabalho. Primeiramente foram propostos três cruzamentos: um por aluno e o outro pelo professor orientador. Após uma série de visitas aos potenciais locais de estudo, ficou definido que a interseção a ser estudada era a localizada entre as Av. Norte Sul, Av. João Palácio, Rod. Norte Sul e R. Rio Amazonas.

A terceira etapa consistiu em um levantamento de dados no local analisado. Essa etapa foi a base essencial para o desenvolvimento do projeto, pois por meio dela foi possível entender a verdadeira situação da interseção.

A coleta de dados foi realizada de maneira manual pelos próprios autores do projeto, durante o horário de pico da região, que foi previamente definido por meio de visitas de observação, conforme definido pelo manual de estudos de tráfego do DNIT.

As atividades realizadas durante esse período foram: contagens classificatórias, contagens direcionais, contagem de veículos por sinal verde, verificação dos tempos semafóricos e registro das características gerais da interseção.

Para a determinação do volume de tráfego em cada uma das vias, foi necessária a realização de contagens classificatórias. Essas contagens foram realizadas em intervalos de quinze minutos, visando registrar o número de veículos que passavam por um determinado ponto da via. Nelas, os pesquisadores se posicionaram em postos de coleta localizados a certa distância do cruzamento, a fim de evitar que os congestionamentos da região afetassem o levantamento dos dados.

As contagens direcionais foram realizadas na parte central do cruzamento. Nela os pesquisadores observaram e registraram o número de veículos que seguiam em cada um dos sentidos da interseção.

A contagem de veículos por sinal verde foi realizada para calcular o fluxo de saturação das vias, por meio do método DENATRAN. Toda a metodologia utilizada está descrita no referencial teórico desse estudo.

Para a determinação dos tempos semafóricos foi realizada uma cronometragem de cada fase dos semáforos do cruzamento.

As características gerais da interseção foram obtidas por meio de observação direta. Nessa etapa foram registrados: sentido de circulação das vias, sequência de abertura dos semáforos e as características físicas do local.

Todas as informações obtidas foram registradas em planilhas desenvolvidas pelos próprios pesquisadores e são apresentadas no ANEXO A.

Após a coleta de dados, foi realizada uma organização e análise de todas as informações obtidas no levantamento. Nessa etapa, foram definidos os pontos críticos e os problemas da interseção, para que pudessem ser tratados e solucionados nas etapas seguintes.

Estando definida a problemática, foi necessário propor melhorias para o trânsito na região. Para isso, foram propostos três cenários distintos, envolvendo rearranjo de circulação e remodelação da estrutura viária, de modo a melhorar a fluidez do trânsito no local.

Em seguida, foi realizada uma análise de todos os cenários propostos na etapa anterior. Durante esse processo, os conceitos da engenharia de tráfego, juntamente com o método de Webster e os indicadores de desempenho, foram utilizados para avaliar o desempenho dos cenários sugeridos.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa de todos os indicadores calculados na etapa anterior, a fim de definir o melhor cenário.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Cenário Atual

4.1.1. Apresentação da Interseção

A interseção analisada durante o desenvolvimento desse projeto é a existente entre as Av. Norte Sul, Av. João Palácio, Rod. Norte Sul e R. Rio Amazonas (Figura 10 e Figura 11).

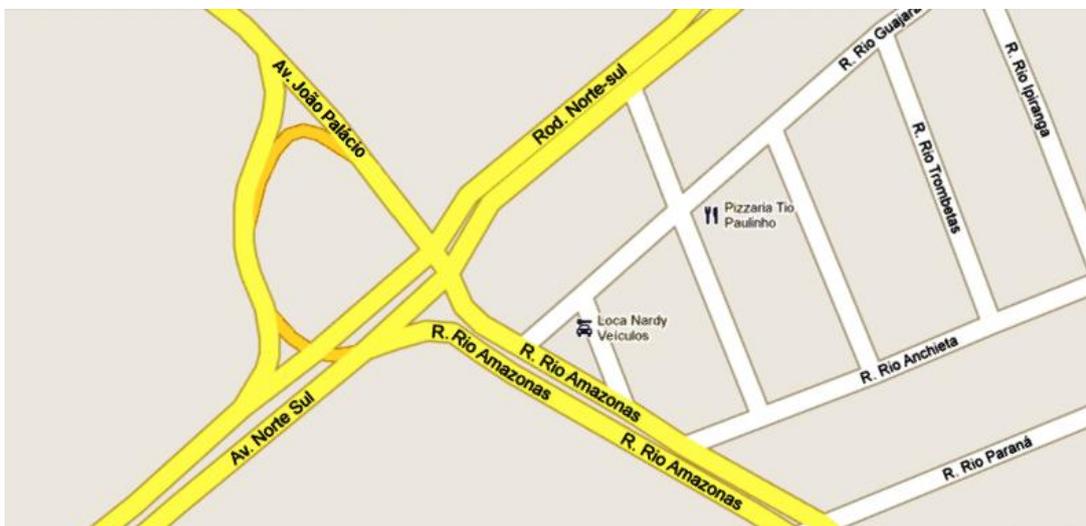


Figura 10: Mapa da interseção analisada
Fonte: Google (2011)



Figura 11: Imagem da interseção analisada
Fonte: Google (2011)

Está localizada em um dos principais corredores de veículos da Grande Vitória, sendo responsável pelo escoamento de grande parte dos automóveis que seguem em direção ao pólo industrial da Serra (Figura 12).

Além disso, é utilizada pelos moradores da região metropolitana como via de acesso ao Terminal de Carapina e a outras regiões da Grande Vitória.

Dessa forma, verifica-se a grande importância econômica da interseção para o estado.



Figura 12: Foto da interseção analisada

O cruzamento está na divisa de três bairros da Grande Vitória, sendo dois do município da Serra, Hélio Ferraz e Eurico Salles, e um do município de Vitória, Jardim Camburi (Figura 13, Figura 14 e Figura 15).



Figura 13: Limite dos bairros presentes na interseção
Fonte: Google - Adaptado (2011)

4.1.2. As Vias da Interseção

A interseção recebe o fluxo de veículos provenientes de quatro vias, sendo duas arteriais, Av. Norte Sul e Rod. Norte Sul, e duas coletoras, Av. João Palácio e R. Rio Amazonas (Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19).

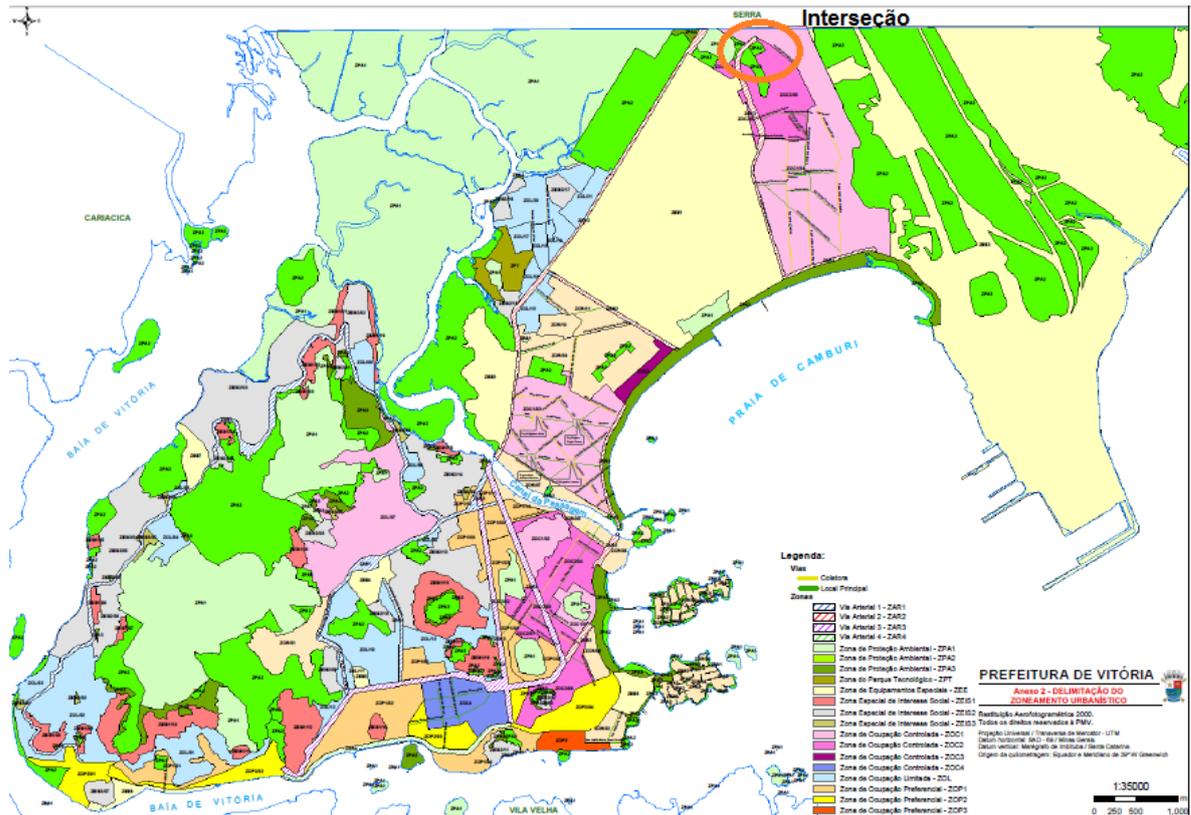


Figura 16: Delimitação do zoneamento urbanístico de Vitória
 Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória - Adaptado (2011)

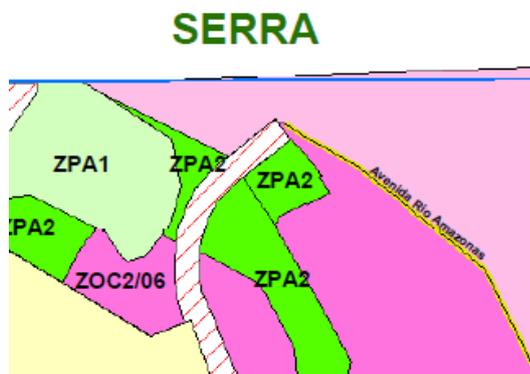


Figura 17: Zoom da área demarcada na Figura 16
 Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória

As regiões interligadas pelas vias estão descritas nos tópicos abaixo:

- Av. Norte Sul: É a via de ligação entre R. Gelu Vervloet dos Santos e o cruzamento analisado.
- Rod. Norte Sul: É a via de ligação entre o cruzamento analisado e a R. Desembargador Mário da Silva Nunes.
- Av. João Palácio: É a via de ligação entre a R. Rio Amazonas e a BR 101.
- R. Rio Amazonas: É a via de ligação entre a Av. João Palácio e a Av. José Rato.



Figura 18: Sentido do fluxo de veículos na região
Fonte: Google (2011)

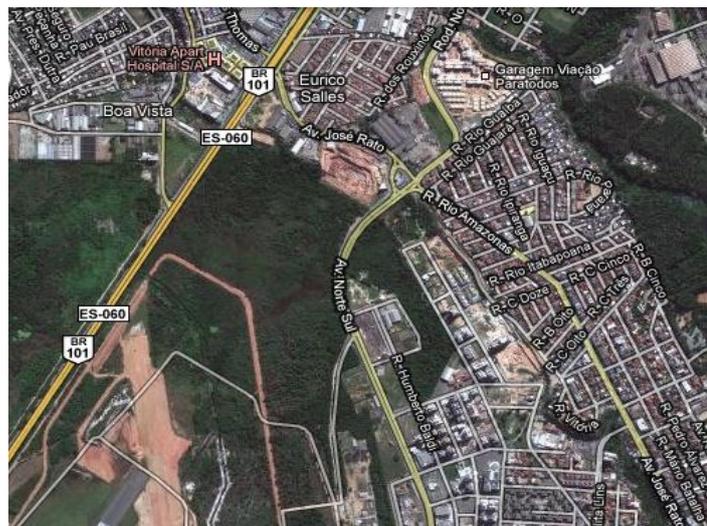


Figura 19: Mapa viário da região
Fonte: Google (2011)

4.1.3. Os Semáforos da Interseção

4.1.3.1. Apresentação dos Semáforos

Na interseção analisada existem sete semáforos que controlam o fluxo de veículos. A Figura 20 indica a posição de cada um deles.



Figura 20: Os semáforos da interseção
Fonte: Google - Adaptado (2011)

- Semáforo 1 ou Sem. 1: É o primeiro semáforo encontrado pelos veículos da Av. Norte Sul que seguem em direção ao cruzamento.
- Semáforo 2 ou Sem. 2: É uma extensão do semáforo 1.
- Semáforo 3 ou Sem. 3: É o semáforo utilizado pelos veículos que seguem em direção à R. Rio Amazonas.
- Semáforo 4 ou Sem. 4: É o semáforo utilizado pelos veículos da R. Rio Amazonas que seguem em direção ao cruzamento.
- Semáforo 5 ou Sem. 5: É o primeiro semáforo encontrado pelos veículos da Rod. Norte Sul que seguem em direção ao cruzamento.

- Semáforo 6 ou Sem. 6: É uma extensão do semáforo 5.
- Semáforo 7 ou Sem. 7: É o semáforo utilizado pelos veículos da Av. João Palácio que seguem em direção ao cruzamento.

4.1.3.2. Os Estágios Semafóricos

Conforme explicado na sessão anterior, o cruzamento é controlado por sete semáforos que funcionam sincronizados em três estágios distintos (Figura 21).

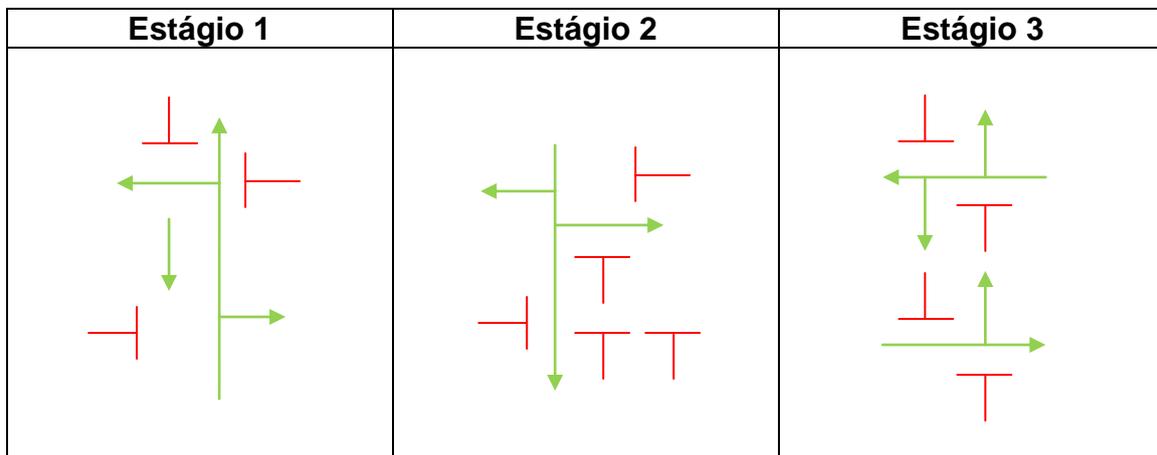


Figura 21: Os estágios semafóricos do cenário atual

No primeiro estágio (Figura 22) os veículos provenientes da Av. Norte Sul recebem o direito de passagem no cruzamento. Nesse momento, eles são autorizados a executar três tipos de manobras: podem virar à direita em direção à R. Rio Amazonas, podem seguir reto em direção à Rod. Norte Sul ou podem virar à esquerda em direção à Av. João Palácio.

Nesse estágio a passagem de veículos pelo semáforo 6 também é autorizada.

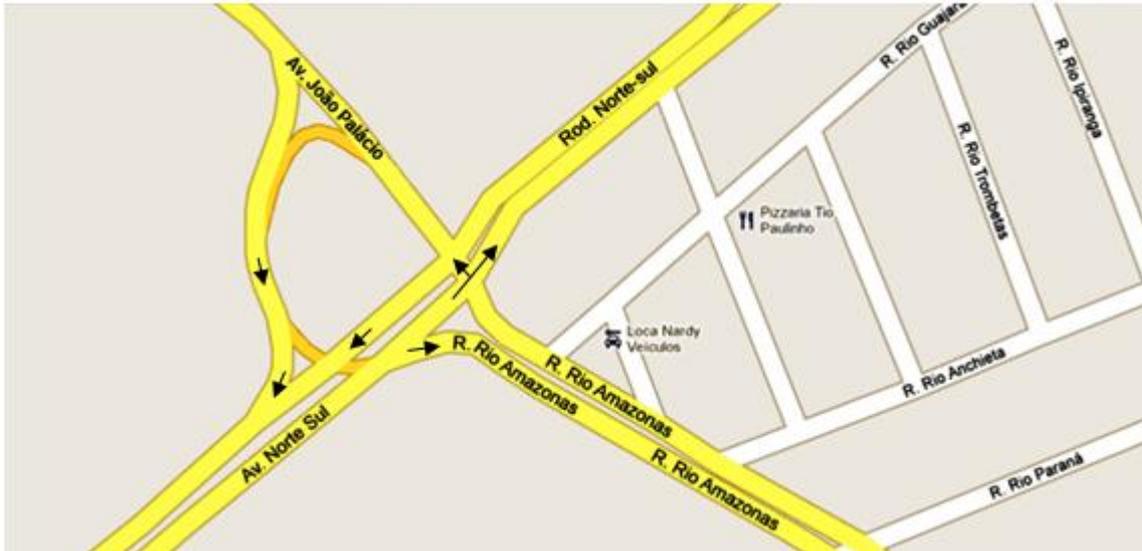


Figura 22: Primeiro estágio do cenário atual
Fonte: Google - Adaptado (2011)

No segundo estágio (Figura 23) os veículos que chegam da Rod. Norte Sul são autorizados a passar no cruzamento. Nesse momento, eles podem executar três tipos de manobras: podem virar à esquerda em direção à R. Rio Amazonas, podem seguir reto em direção à Av. Norte Sul ou podem virar à direita em direção à Av. João Palácio.



Figura 23: Segundo estágio do cenário atual
Fonte: Google - Adaptado (2011)

No terceiro estágio (Figura 24) a passagem de veículos pelo cruzamento é autorizada simultaneamente para a Av. João Palácio e R. Rio Amazonas.

Nesse momento, os veículos que chegam pela R. Rio Amazonas são autorizados a executar três tipos de manobras: podem virar à direita em direção à Rod. Norte Sul, podem seguir reto em direção à Av. João Palácio ou podem virar à esquerda em direção a Av. Norte Sul, onde ficam retidos no semáforo 6.

Já os veículos provenientes da Av. João Palácio são autorizados a executar dois tipos de manobras: podem seguir reto em direção à R. Rio Amazonas ou podem virar à esquerda em direção à Rod. Norte Sul, onde ficam retidos no semáforo 2.

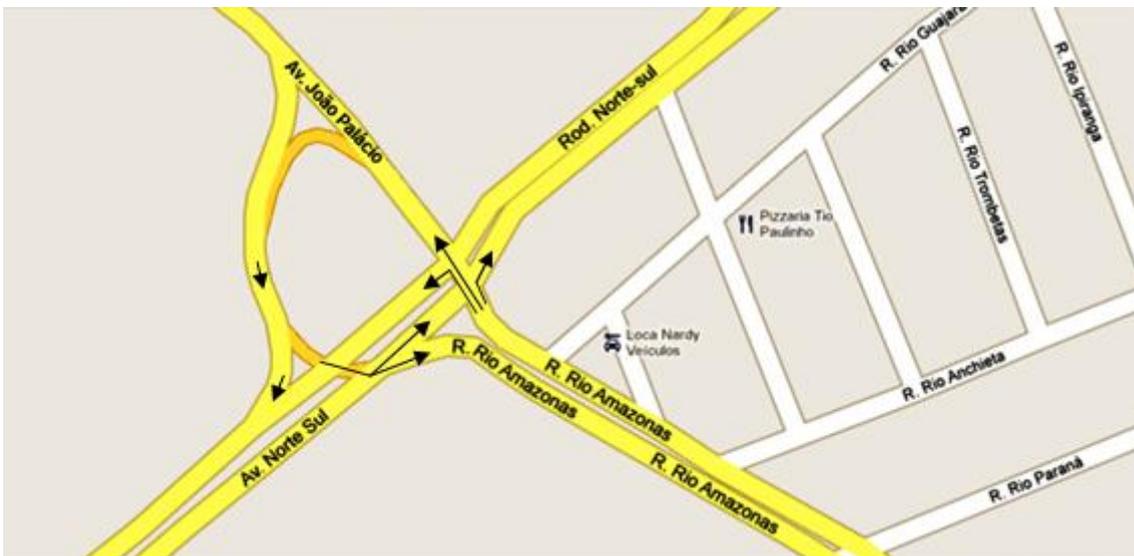


Figura 24: Terceiro estágio do cenário atual
Fonte: Google - Adaptado (2011)

Os dados relacionados aos tempos semafóricos da interseção estão dispostos em uma tabela no Anexo A desse trabalho. A Figura 25 apresenta o ciclo dos semáforos do cenário atual.

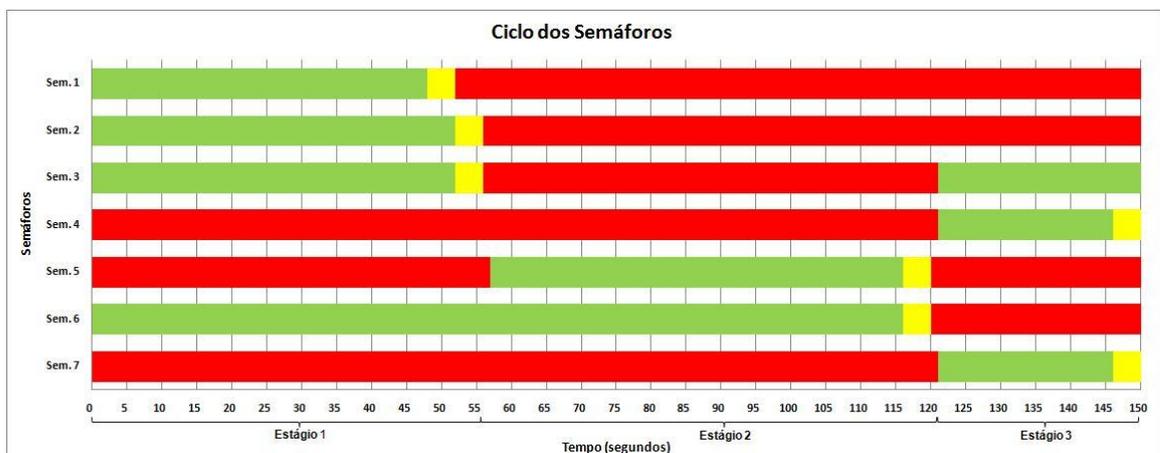


Figura 25: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário atual

4.1.4. Características Gerais da Interseção

Durante a coleta de dados, diversas características das vias foram observadas e registradas. Os dados provenientes dessas análises estão expostos na Tabela 4:

Tabela 4: Dados gerais das vias

Características	Vias			
	Av. Norte Sul	Av. João Palácio	Rod. Norte Sul	R. Rio Amazonas
Número de Faixas	2	2	2	2
Largura das Faixas	3.5 m	3.5 m	3.5 m	3.5 m
Faixas exclusivas para conversão	1/direita	0	0	0
Faixa de Pedestres	Sim	Sim	Sim	Sim
Canteiro Central	Sim	Não	Sim	Sim
Estacionamento	Não	Não	Não	Sim
Ponto de Ônibus	Não	Não	Não	Não
Residências	Poucas	Poucas	Poucas	Muitas
Comercio	Pouco	Pouco	Pouco	Pouco
Velocidade Máxima	60 km/h	40 km/h	60 km/h	40 km/h

4.2. Análise do Cenário Atual

4.2.1. Conversões do Cenário Atual

A Tabela 5 apresenta a porcentagem de veículos para cada tipo de conversão em cada via analisada.

Tabela 5: Porcentagem de cada tipo de conversão do cenário atual

Origem	Conversões			
	Esquerda	Reto	Direita	Total
Avenida Norte Sul	32,33 %	66,69 %	0,98 %	100 %
Rodovia Norte Sul	23,65 %	73,94 %	2,41 %	100 %
Avenida João Palácio	17,06 %	82,94	-	100 %
Rua Rio Amazonas	6,97 %	55,68 %	37,35 %	100 %

4.2.2. Veículos Pesados do Cenário Atual

A análise dos veículos pesados é essencial para diagnosticar a saúde de uma via. Esse indicador pode afetar diretamente o fluxo de saturação, alterando assim, a qualidade do serviço prestado.

Na engenharia de tráfego são considerados veículos pesados os ônibus e os caminhões. Na Tabela 6 são apresentadas as porcentagens de veículos pesados por via do cenário atual

Tabela 6: Porcentagem de veículos pesados por via do cenário atual

Via	Porcentagem de Veículos Pesados
Avenida Norte Sul	4,77 %
Rodovia Norte Sul	9,10 %
Avenida João Palácio	9,32 %
Rua Rio Amazonas	5,35 %

4.2.3. Volume de Tráfego do Cenário Atual

A Tabela 7 apresenta o volume de tráfego em cada via do cenário atual.

Tabela 7: Volume de tráfego nas vias do cenário atual

Via	Número de Veículos (UCP)				Total (ucp/h)
	Período				
	0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	
Avenida Norte Sul	359,94	401,58	408,86	331,00	1501,38
Rodovia Norte Sul	336,22	359,97	396,22	408,52	1500,93
Avenida João Palácio	68,87	69,96	74,12	84,59	297,54
Rua Rio Amazonas	250,38	266,88	297,69	315,10	1130,05

4.2.4. Fator Horário de Pico do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 1, calcula-se o fator horário de pico para o cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1501,38/4 \cdot 408,86 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

2) Rodovia Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1500,93/4 \cdot 408,52 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

3) Avenida João Palácio:

$$\text{FHP} = 297,54/4 \cdot 84,59 = 0,88$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4) Rua Rio Amazonas:

$$\text{FHP} = 1130,05/4 \cdot 315,10 = 0,90$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4.2.5. Fluxo de Saturação do Cenário Atual

Por meio da metodologia descrita na sessão 2.4.3.1 do referencial teórico, calcula-se o fluxo de saturação do cenário atual (Gráfico 3, Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6):

1) Avenida Norte Sul:

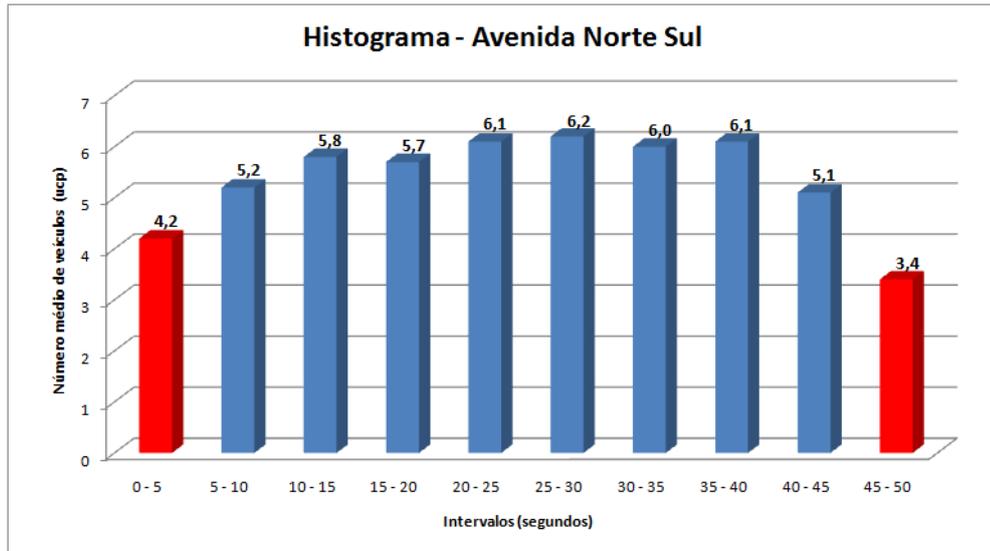


Gráfico 3: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Avenida Norte Sul

$$FS = [(5,2+5,8+5,7+6,1+6,2+6,0+6,1+5,1)/8]*720 = 4158$$

$$FS = 4158 \text{ ucp/hora}$$

2) Rodovia Norte Sul:

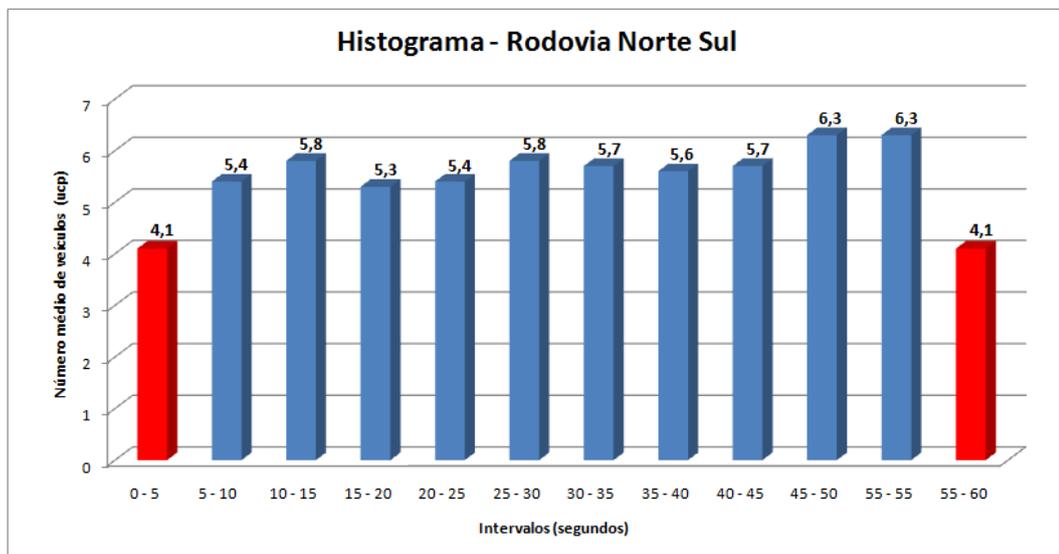


Gráfico 4: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Rodovia Norte Sul

$$FS = [(5,4+5,8+5,3+5,4+5,8+5,7+5,6+5,7+6,3+6,3)/10]*720 = 4125,6$$

$$FS = 4126 \text{ ucp/hora}$$

3) Avenida João Palácio:

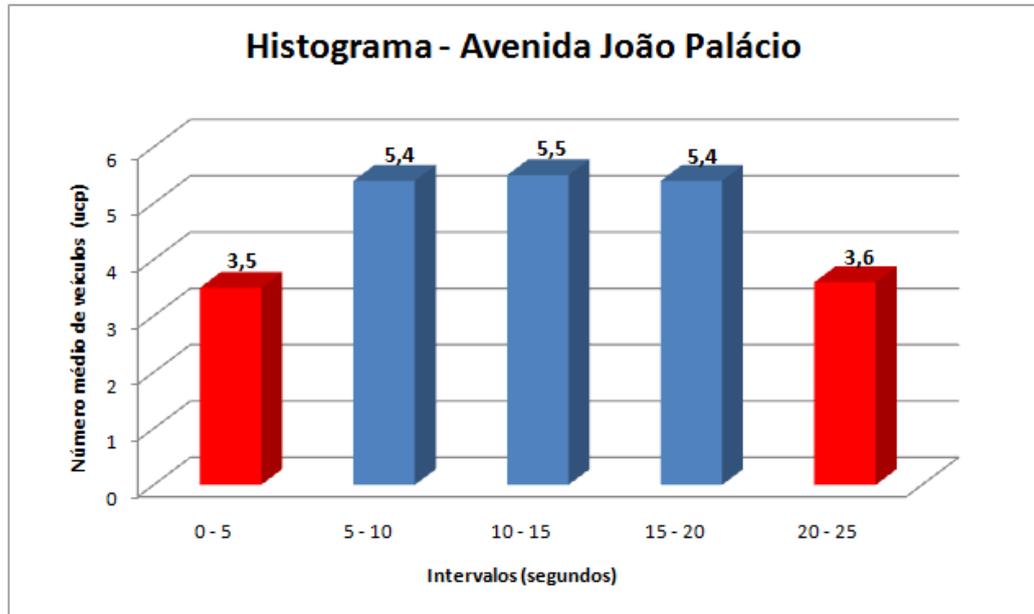


Gráfico 5: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Avenida João Palácio

$$FS = [(5,4+5,5+5,4)/3]*720 = 3912$$

$$FS = 3912 \text{ ucp/hora}$$

4) Rua Rio Amazonas:

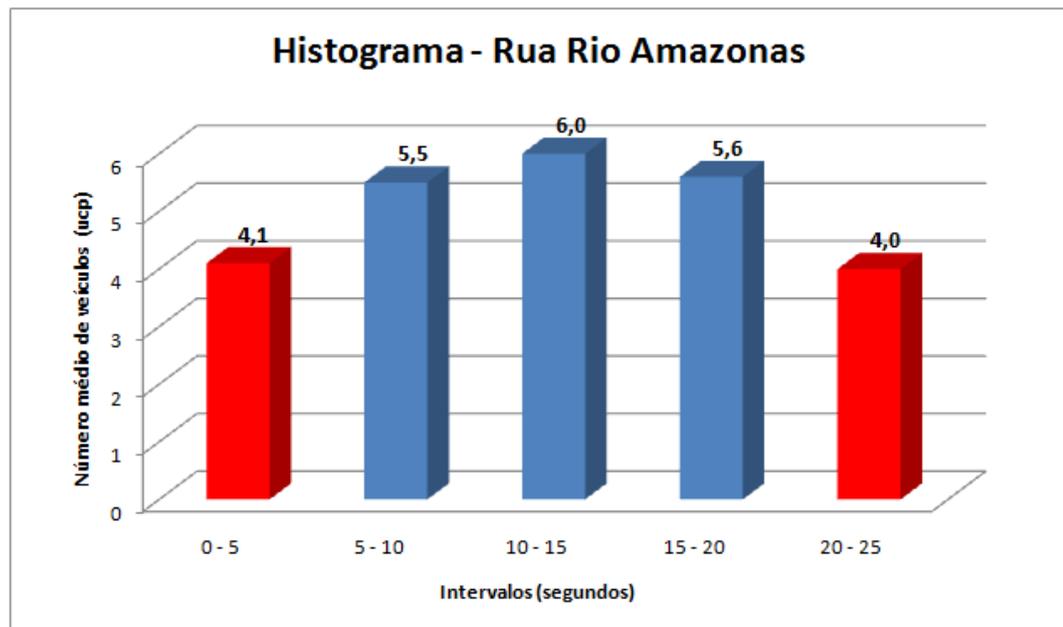


Gráfico 6: Histograma para o cálculo do fluxo de saturação – Rua Rio Amazonas

$$FS = [(5,5+6,0+5,6)/3]*720 = 4104$$

$$FS = 4104 \text{ ucp/hora}$$

A Tabela 8 apresenta um resumo dos fluxos de saturação do cenário atual calculados anteriormente.

Tabela 8: Fluxo de saturação das vias do cenário atual

Via	Fluxo de Saturação (ucp/hora)
Avenida Norte Sul	4158
Rodovia Norte Sul	4126
Avenida João Palácio	3912
Rua Rio Amazonas	4104

4.2.6. Tempo perdido do Cenário Atual

Por meio das Fórmulas 2,3 e 4, calcula-se o tempo perdido em cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$T_{pi} = 5 - (21/5,775) = 1,36 \text{ segundos}$$

$$T_{pf} = 5 - (17/5,775) = 2,06 \text{ segundos}$$

$$T_r = 1,36 + 2,06 = 3,42 \text{ segundos}$$

$$V_s = 1 \text{ segundo}$$

$$I = 3,42 + 1 = 4,42 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$T_{pi} = 5 - (20,5/5,73) = 1,42 \text{ segundos}$$

$$T_{pf} = 5 - (20,5/5,73) = 1,42 \text{ segundos}$$

$$T_r = 1,42 + 1,42 = 2,84 \text{ segundos}$$

$$V_s = 1 \text{ segundo}$$

$$I = 2,84 + 1 = 3,84 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

$$T_{pi} = 5 - (17,5/5,43) = 1,78 \text{ segundos}$$

$$T_{pf} = 5 - (18/5,43) = 1,69 \text{ segundos}$$

$$Tr = 1,78 + 1,69 = 3,47 \text{ segundos}$$

$$Vs = 1 \text{ segundo}$$

$$I = 3,47 + 1 = 4,47 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$Tpi = 5 - (20,5/5,7) = 1,40 \text{ segundos}$$

$$Tpf = 5 - (20/5,7) = 1,49 \text{ segundos}$$

$$Tr = 1,4 + 1,49 = 2,89 \text{ segundos}$$

$$Vs = 1 \text{ segundo}$$

$$I = 2,89 + 1 = 3,89 \text{ segundos}$$

4.2.7. Capacidade do Cenário Atual

Por meio das Fórmulas 5 e 6, calcula-se a capacidade de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G = 48 \text{ segundos}$$

$$Ta = 4 \text{ segundos}$$

$$Tr = 3,42 \text{ segundos}$$

$$Gef = (48 + 4) - 3,42 = 48,58 \text{ segundos}$$

$$Cp = 4158 * (48,58/150) = 1347 \text{ ucp/hora}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G = 59 \text{ segundos}$$

$$Ta = 4 \text{ segundos}$$

$$Tr = 2,84 \text{ segundos}$$

$$\text{Gef} = (59 + 4) - 2,84 = 60,16 \text{ segundos}$$

$$\text{Cp} = 4126 * (60,16/150) = 1655 \text{ ucp/hora}$$

3) Avenida João Palácio:

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G = 25 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 3,47 \text{ segundos}$$

$$\text{Gef} = (25 + 4) - 3,47 = 25,53 \text{ segundos}$$

$$\text{Cp} = 3912 * (25,53/150) = 666 \text{ ucp/hora}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G = 25 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 2,89 \text{ segundos}$$

$$\text{Gef} = (25 + 4) - 2,89 = 26,11 \text{ segundos}$$

$$\text{Cp} = 4104 * (26,11/150) = 715 \text{ ucp/hora}$$

4.2.8. Taxa de Ocupação do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 7, calcula-se a taxa de ocupação de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 1501,38/4158 = 0,36$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 1500,93/4126 = 0,36$$

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 297,54/3912 = 0,08$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$Y = 1130,05/4104 = 0,28$$

4.2.9. Grau de Saturação do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 8, calcula-se o grau de saturação de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 0,36$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Gef = 48,58 \text{ segundos}$$

$$X = 0,36 * (150/48,58) = 1,11$$

Análise: A via está operando acima de sua capacidade de atendimento, não sustentando flutuações de demanda e provocando congestionamento e formação de fila excedente.

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 0,36$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Gef = 60,16 \text{ segundos}$$

$$X = 0,36 * (150/60,16) = 0,90$$

Análise: A via está operando um pouco abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, variações bruscas de demanda podem provocar congestionamentos e formação de fila excedente.

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 0,08$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Gef = 25,53 \text{ segundos}$$

$$X = 0,08 * (150/25,53) = 0,47$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

4) Rua Rio Amazonas:

$$Y = 0,28$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Gef = 26,11 \text{ segundos}$$

$$X = 0,28 * (150/26,11) = 1,61$$

Análise: A via está operando acima de sua capacidade de atendimento, não sustentando flutuações de demanda e provocando congestionamento e formação de fila excedente.

4.2.10. Indicadores de Desempenho do Cenário Atual

4.2.10.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 13, calcula-se o atraso médio por veículo de cada uma das vias do cenário atual.

1) Avenida Norte Sul:

Conforme definido anteriormente, o indicador de desempenho de atraso médio por veículo não é recomendado para a avaliação de vias com grau de saturação superior a 0,90. Dessa forma, não será utilizado na análise dessa via.

2) Rodovia Norte Sul:

$$X = 0,90$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 60,16 \text{ segundos}$$

$$h = (60,16/150) = 0,40$$

$$D = 150 * (1 - 0,40)^2 / 2 * (1 - 0,40 * 0,90) + [(0,90^2 / 2 * 0,42 * (1 - 0,90))] - [0,65 * (150 / 0,42^2)^{1/3} * 0,90^{(2 + 5 * 0,40)}] = 47,79 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

$$X = 0,47$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,08 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 25,53 \text{ segundos}$$

$$h = (25,53/150) = 0,17$$

$$D = 150 * (1 - 0,17)^2 / 2 * (1 - 0,17 * 0,47) + [(0,47^2 / 2 * 0,08 * (1 - 0,47))] - [0,65 * (150 / 0,08^2)^{1/3} * 0,47^{(2 + 5 * 0,17)}] = 56,60 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

Conforme definido anteriormente, o indicador de desempenho de atraso médio por veículo não é recomendado para a avaliação de vias com grau de saturação superior a 0,90. Dessa forma, não será utilizado na análise dessa via.

4.2.10.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 14, calcula-se o comprimento médio da fila de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

O cálculo do comprimento médio da fila está condicionado ao valor do atraso médio por veículo. Dessa forma, como não foi possível calcular o indicador de atraso médio por veículo dessa via, não será possível calcular o seu indicador de comprimento médio da fila.

2) Rodovia Norte Sul:

$$V_t = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 60,16 \text{ segundos}$$

$$D = 47,79 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,42 * ((150 - 60,16)/2 + 47,79) = 38,94 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,42 * (150 - 60,16) = 37,73 \text{ ucp}$$

$$\mathbf{N = (38,94 + 37,73)/2 = 38,34 \text{ ucp}}$$

3) Avenida João Palácio:

$$V_t = 0,08 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 25,53 \text{ segundos}$$

$$D = 56,60 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,08 * ((150 - 25,53)/2 + 56,60) = 9,51 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,08 * (150 - 25,53) = 9,96 \text{ ucp}$$

$$\mathbf{N = (9,51 + 9,96)/2 = 9,74 \text{ ucp}}$$

4) Rua Rio Amazonas:

O cálculo do comprimento médio da fila está condicionado ao valor do atraso médio por veículo. Dessa forma, como não foi possível calcular o indicador de atraso médio por veículo dessa via, não será possível calcular o seu indicador de comprimento médio da fila.

4.2.10.3. Tempo Médio de Espera do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 15, calcula-se o tempo médio de espera de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

O cálculo do tempo médio de espera está condicionado ao valor do comprimento médio da fila. Dessa forma, como não foi possível calcular o indicador de comprimento médio da fila dessa via, não será possível calcular o seu indicador de tempo médio de espera.

2) Rodovia Norte Sul:

$$N = 38,34 \text{ ucp}$$

$$FS = 1,15 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$$Gef = 60,16 \text{ segundos}$$

$$W = (38,34/1,15) + (150 - 60,16)/2 = 78,26 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

$$N = 9,74 \text{ ucp}$$

$$FS = 1,09 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 150 \text{ segundos}$$

$Gef = 25,53$ segundos

$$W = (9,74/1,09) + (150 - 25,53)/2 = 71,17 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

O cálculo do tempo médio de espera está condicionado ao valor do comprimento médio da fila. Dessa forma, como não foi possível calcular o indicador de comprimento médio da fila dessa via, não será possível calcular o seu indicador de tempo médio de espera.

4.2.10.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário Atual

Por meio da Fórmula 16, calcula-se a proporção de veículos detidos de cada uma das vias do cenário atual:

1) Avenida Norte Sul:

$$h = 0,32$$

$$P = (1 - 0,32)/(1 + 0,32) = 0,52$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$h = 0,40$$

$$P = (1 - 0,40)/(1 + 0,40) = 0,43$$

3) Avenida João Palácio:

$$h = 0,17$$

$$P = (1 - 0,17)/(1 + 0,17) = 0,71$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$h = 0,17$$

$$P = (1 - 0,17)/(1 + 0,17) = 0,71$$

4.3. Proposição de Melhorias

Com o intuito de melhorar a qualidade do serviço prestado pela interseção e pelas vias analisadas, serão propostos três cenários distintos.

4.3.1. Cenário 1

O primeiro cenário mantém todas as características operacionais e estruturais do cenário atual, exceto os tempos semaforicos, que serão determinados por meio da aplicação do método de Webster.

Nesse cenário, os semáforos funcionarão sincronizados em três estágios distintos que são idênticos ao do cenário atual. Todas as conversões permitidas atualmente serão mantidas.

4.3.2. Cenário 2

O segundo cenário manterá todas as características estruturais do cenário atual, porém serão realizadas algumas modificações operacionais na interseção.

Os semáforos funcionarão sincronizados em dois estágios distintos e terão seus tempos definidos através do método de Webster.

No primeiro estágio (Figura 26) os veículos provenientes das Av. Norte Sul e Rod. Norte Sul receberão simultaneamente o direito de passagem no cruzamento. Nesse momento, os veículos da Av. Norte Sul serão autorizados a executar dois tipos de manobras: poderão virar à direita em direção à R. Rio Amazonas ou poderão seguir

reto em direção à Rod. Norte Sul. Já os veículos da Rod. Norte Sul poderão executar dois tipos de manobras: poderão virar à direita em direção a Av. João Palácio ou poderão seguir reto em direção a Av. Norte Sul.



Figura 26: Primeiro estágio do cenário 2
Fonte: Google - Adaptado (2011)

No segundo estágio (Figura 27) a passagem de veículos pelo cruzamento será autorizada para a Av. João Palácio e R. Rio Amazonas. Nesse momento, os veículos que se aproximarem pela R. Rio Amazonas serão autorizados a executar três tipos de manobras: poderão virar à direita em direção à Rod. Norte Sul, poderão seguir reto em direção à Av. João Palácio ou poderão virar à esquerda em direção a Av. Norte Sul, onde ficarão retidos no semáforo 6. Já os veículos provenientes da Av. João Palácio serão autorizados a executar dois tipos de manobras: poderão seguir reto em direção à R. Rio Amazonas ou poderão virar à esquerda em direção à Rod. Norte Sul, onde ficarão retidos no semáforo 2.

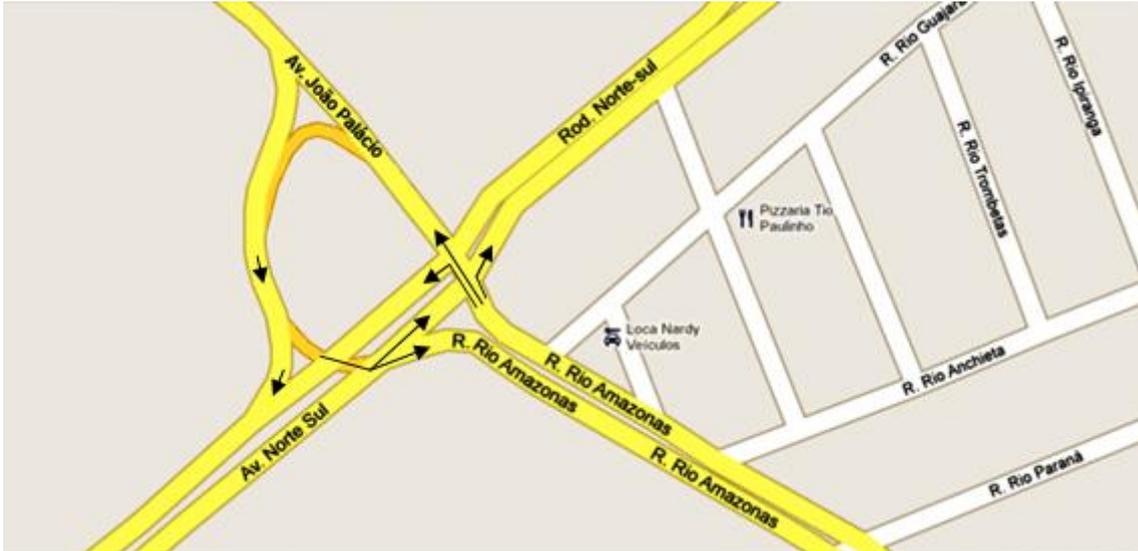


Figura 27: Segundo estágio do cenário 2
Fonte: Google - Adaptado (2011)

4.3.3. Cenário 3

No terceiro cenário serão mantidas quase todas as características operacionais e estruturais do cenário atual. A única modificação existente é a inclusão de mais uma pista na Rod. Norte Sul no sentido Serra-Vitória (Figura 28). Além disso, os tempos semafóricos desse cenário serão obtidos através do método de Webster.



Figura 28: Área para construção da nova pista do cenário 3
Fonte: Google - Adaptado (2011)

4.4. Análise das Proposições de Melhoria

4.4.1. Cenário 1

Por não haver diferenças operacionais e estruturais desse cenário em relação ao cenário atual, todos os dados utilizados nessa análise são retirados da sessão 4.2.

4.4.1.1. Volume de Tráfego do Cenário 1

A Tabela 9 apresenta o volume de tráfego do cenário 1.

Tabela 9: Volume de tráfego do cenário 1

Via	Número de Veículos (UCP)				Total (ucp/h)
	Período				
	0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	
Avenida Norte Sul	359,94	401,58	408,86	331,00	1501,38
Rodovia Norte Sul	336,22	359,97	396,22	408,52	1500,93
Avenida João Palácio	68,87	69,96	74,12	84,59	297,54
Rua Rio Amazonas	250,38	266,88	297,69	315,10	1130,05

4.4.1.2. Fluxo de Saturação do Cenário 1

A Tabela 10 apresenta o fluxo de saturação das vias do cenário 1.

Tabela 10: Fluxo de saturação do cenário 1

Via	Fluxo de Saturação (ucp/hora)
Avenida Norte Sul	4158
Rodovia Norte Sul	4126
Avenida João Palácio	3912
Rua Rio Amazonas	4104

4.4.1.3. Tempo Perdido do Cenário 1

A Tabela 11 apresenta o tempo perdido em cada uma das vias do cenário 1.

Tabela 11: Tempo perdido no cenário 1

Via	Tempo Perdido (segundos)
Avenida Norte Sul	4,42
Rodovia Norte Sul	3,84
Avenida João Palácio	4,47
Rua Rio Amazonas	3,89

4.4.1.4. Taxa de Ocupação do Cenário 1

A Tabela 12 apresenta a taxa de ocupação de cada uma das vias do cenário 1.

Tabela 12: Taxa de ocupação do cenário 1

Via	Taxa de Ocupação
Avenida Norte Sul	0,36108
Rodovia Norte Sul	0,36377
Avenida João Palácio	0,07605
Rua Rio Amazonas	0,27535

4.4.1.5. Tempo de Ciclo do Cenário 1

Através da Fórmula 11, calcula-se o tempo de ciclo ótimo para o cenário 1:

$$\sum I = (4,42 + 3,84 + 4,47) = 12,73 \text{ segundos}$$

$$\sum Y = (0,36108 + 0,36377 + 0,27534) = 1,00019$$

TCo = Incalculável

A aplicação do método de Webster no cenário 1 não é possível, pois o somatório das taxas de ocupação crítica excede seu valor máximo de um. Isso indica que a forma com que os semáforos estão dispostos não é a adequada, pois as vias não conseguem escoar o volume de veículos que chegam à interseção. Dessa forma, conclui-se que o cenário 1 não soluciona a problemática encontrada e sendo assim, está descartado como proposição de melhoria.

4.4.2. Cenário 2

4.4.2.1. Volume de Tráfego do Cenário 2

O volume de tráfego do cenário 2 será calculado adicionando o volume de veículos que realizam conversão à esquerda nas Av. Norte Sul e Rod. Norte Sul ao volume de veículos das R. Rio Amazonas e Av. João Palácio, respectivamente (Tabela 13).

Tabela 13: Volume de tráfego no cenário 2

Via	Número de Veículos (UCP)				Total (ucp/h)
	Período				
	0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	
Avenida Norte Sul	359,94	401,58	408,86	331,00	1501,38
Rodovia Norte Sul	336,22	359,97	396,22	408,52	1500,93
Avenida João Palácio	148,39	155,09	167,83	181,20	652,51
Rua Rio Amazonas	366,75	396,71	429,87	422,11	1615,44

4.4.2.2. Fator Horário de Pico do Cenário 2

Por meio da Fórmula 1, calcula-se o fator horário de pico para o cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1501,38/4 \cdot 408,86 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

2) Rodovia Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1500,93/4 \cdot 408,52 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

3) Avenida João Palácio:

$$\text{FHP} = 652,51/4 \cdot 181,20 = 0,90$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4) Rua Rio Amazonas:

$$\text{FHP} = 1615,44/4 \cdot 429,87 = 0,94$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4.4.2.3. Fluxo de Saturação do Cenário 2

O fluxo de saturação é uma característica particular da via e pode variar dependendo de alguns fatores: número de faixas, tamanho das faixas, porcentagem de veículos pesados, greide da via, estacionamentos, paradas de ônibus, número de conversões à esquerda e à direita e localização.

No cenário 2 nenhuma das características expostas acima foi modificada de forma significativa, dessa forma os fluxos de saturação das vias nesse cenário serão igual aos fluxos de saturação do cenário atual (Tabela 14).

Tabela 14: Fluxo de saturação do cenário 2

Via	Fluxo de Saturação (ucp/hora)
Avenida Norte Sul	4158
Rodovia Norte Sul	4126
Avenida João Palácio	3912
Rua Rio Amazonas	4104

4.4.2.4. Tempo Perdido do Cenário 2

Assim como o fluxo de saturação, o tempo perdido é uma característica particular da via e está relacionada ao comportamento dos usuários e ao tempo de vermelho de segurança.

Nesse cenário nenhuma dessas características foi alterada, dessa forma os tempos perdidos em cada via serão iguais aos tempos perdidos no cenário atual.

1) Avenida Norte Sul:

Tr = 3,42 segundos

Vs = 1 segundo

I = 4,42 segundos

2) Rodovia Norte Sul:

Tr = 2,84 segundos

Vs = 1 segundo

I = 3,84 segundos

3) Avenida João Palácio:

Tr = 3,47 segundos

Vs = 1 segundo

I = 4,47 segundos

4) Rua Rio Amazonas:

Tr = 2,89 segundos

Vs = 1 segundo

I = 3,89 segundos

4.4.2.5. Taxa de Ocupação do Cenário 2

Por meio da Fórmula 7, calcula-se a taxa de ocupação de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 1501,38/4158 = 0,36$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 1500,93/4126 = 0,36$$

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 652,51/3912 = 0,17$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$Y = 1615,44/4104 = 0,39$$

4.4.2.6. Tempo de Ciclo do Cenário 2

Por meio da Fórmula 11, calcula-se o tempo de ciclo ótimo para o cenário 2:

$$\Sigma I = (4,42 + 4,47) = 8,89 \text{ segundos}$$

$$\Sigma Y = (0,36 + 0,39) = 0,75$$

$$TCo = [(1,5 * 8,89) + 5]/(1 - 0,75) = 74 \text{ segundos}$$

4.4.2.7. Tempo de Verde do Cenário 2

Por meio das Fórmulas 12 e 5, calcula-se o tempo de verde para cada estágio do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

Por não possuir a taxa de ocupação crítica do estágio, seu tempo de verde não será calculado.

$$G = 31 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$G_{ef} = (74 - 8,89) * (0,36/0,75) = 31,25 \Rightarrow 32 \text{ segundos}$$

$$G = (32 + 2,84 - 4) = 30,84 \Rightarrow 31 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

Por não possuir a taxa de ocupação crítica do estágio, seu tempo de verde não será calculado.

$$G = 33 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$G_{ef} = (74 - 8,89) * (0,39/0,75) = 33,86 \Rightarrow 34 \text{ segundos}$$

$$G = (34 + 2,89 - 4) = 32,89 \Rightarrow 33 \text{ segundos}$$

4.4.2.8. Ciclo dos Semáforos do Cenário 2

A Figura 29 apresenta o ciclo dos semáforos do cenário 2.

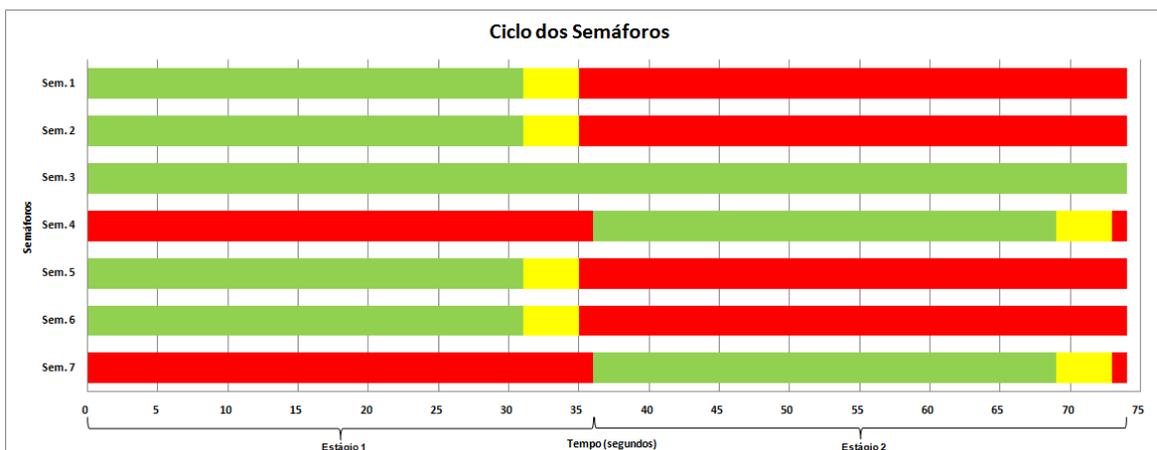


Figura 29: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário 2

4.4.2.9. Capacidade do Cenário 2

Por meio das Fórmulas 5 e 6, calcula-se a capacidade de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$C = 74$ segundos

$G = 31$ segundos

$T_a = 4$ segundos

$T_r = 3,42$ segundos

$G_{ef} = (31 + 4) - 3,42 = 31,58$ segundos

$C_p = 4158 * (31,58/74) = 1774$ ucp/hora

2) Rodovia Norte Sul:

$C = 74$ segundos

$G = 31$ segundos

$T_a = 4$ segundos

$T_r = 2,84$ segundos

$G_{ef} = (31 + 4) - 2,84 = 32,16$ segundos

$C_p = 4126 * (32,16/74) = 1793$ ucp/hora

3) Avenida João Palácio:

$C = 74$ segundos

$G = 33$ segundos

$T_a = 4$ segundos

$T_r = 3,47$ segundos

$G_{ef} = (33 + 4) - 3,47 = 33,53$ segundos

$C_p = 3912 * (33,53/74) = 1773$ ucp/hora

4) Rua Rio Amazonas:

$C = 74$ segundos

$G = 33$ segundos

$T_a = 4$ segundos

$T_r = 2,89$ segundos

$G_{ef} = (33 + 4) - 2,89 = 34,11$ segundos

$$C_p = 4104 * (34,11/74) = 1892 \text{ ucp/hora}$$

4.4.2.10. Grau de Saturação do Cenário 2

Por meio da Fórmula 8, calcula-se o grau de saturação de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 0,36$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 31,58 \text{ segundos}$$

$$X = 0,36 * (74/31,58) = 0,84$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 0,36$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 32,16 \text{ segundos}$$

$$X = 0,36 * (74/32,16) = 0,83$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 0,17$$

C = 74 segundos

Gef = 33,53 segundos

$$X = 0,17 * (74/33,53) = 0,38$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

4) Rua Rio Amazonas:

Y = 0,39

C = 74 segundos

Gef = 34,11 segundos

$$X = 0,39 * (74/34,11) = 0,85$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

4.4.2.11. Indicadores de Desempenho do Cenário 2

4.4.2.11.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário 2

Por meio da Fórmula 13, calcula-se o atraso médio por veículo de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

X = 0,84

C = 74 segundos

Vt = 0,42 ucp/segundo

Gef = 31,58 segundos

$$h = (31,58/74) = 0,43$$

$$D = 74 * (1 - 0,43)^2 / 2 * (1 - 0,43 * 0,84) + [(0,84^2 / 2 * 0,42 * (1 - 0,42))] - [0,65 * (74 / 0,42^2)^{1/3} * 0,84^{(2 + 5 * 0,43)}] = 21,71 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$X = 0,83$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 32,16 \text{ segundos}$$

$$h = (32,16/74) = 0,43$$

$$D = 74 * (1 - 0,43)^2 / 2 * (1 - 0,43 * 0,83) + [(0,83^2 / 2 * 0,42 * (1 - 0,83))] - [0,65 * (74 / 0,42^2)^{1/3} * 0,83^{(2 + 5 * 0,43)}] = 21,27 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

$$X = 0,38$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,18 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 33,53 \text{ segundos}$$

$$h = (33,53/74) = 0,45$$

$$D = 74 * (1 - 0,45)^2 / 2 * (1 - 0,45 * 0,38) + [(0,38^2 / 2 * 0,18 * (1 - 0,38))] - [0,65 * (74 / 0,18^2)^{1/3} * 0,38^{(2 + 5 * 0,45)}] = 14,01 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$X = 0,85$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,45 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 34,11 \text{ segundos}$$

$$h = (34,11/74) = 0,46$$

$$D = 74 * (1 - 0,46)^2 / 2 * (1 - 0,46 * 0,85) + [(0,85^2 / 2 * 0,45 * (1 - 0,85))] - [0,65 * (74 / 0,45^2)^{1/3} * 0,85^{(2 + 5 * 0,46)}] = 20,76 \text{ segundos}$$

4.4.2.11.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário 2

Por meio da Fórmula 14, calcula-se o comprimento médio da fila de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$$V_t = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 31,58 \text{ segundos}$$

$$D = 21,71 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,42 * ((74 - 31,58)/2 + 21,71) = 18,03 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,42 + (74 - 31,58) = 17,82 \text{ ucp}$$

$$N = (18,03 + 17,82)/2 = 17,93 \text{ ucp}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$V_t = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 32,16 \text{ segundos}$$

$$D = 21,27 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,42 * ((74 - 32,16)/2 + 21,27) = 17,72 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,42 + (74 - 32,16) = 17,57 \text{ ucp}$$

$$N = (17,72 + 17,57)/2 = 17,65 \text{ ucp}$$

3) Avenida João Palácio:

$$V_t = 0,18 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 33,53 \text{ segundos}$$

$$D = 14,01 \text{ segundos}$$

$$N1 = 0,18 * ((74 - 33,53)/2 + 14,01) = 6,16 \text{ ucp}$$

$$N2 = 0,18 + (74 - 33,53) = 7,28 \text{ ucp}$$

$$N = (6,16 + 7,28)/2 = 6,72 \text{ ucp}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$Vt = 0,45 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$Gef = 34,11 \text{ segundos}$$

$$D = 20,76 \text{ segundos}$$

$$N1 = 0,45 * ((74 - 34,11)/2 + 20,76) = 18,32 \text{ ucp}$$

$$N2 = 0,45 + (74 - 34,11) = 17,95 \text{ ucp}$$

$$N = (18,32 + 17,95)/2 = 18,14 \text{ ucp}$$

4.4.2.11.3. Tempo Médio de Espera do Cenário 2

Por meio da Fórmula 15, calcula-se o tempo médio de espera de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$$N = 17,93 \text{ ucp}$$

$$FS = 1,15 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 74 \text{ segundos}$$

$$Gef = 31,58 \text{ segundos}$$

$$W = (17,93/1,15) + (74 - 31,58)/2 = 36,80 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$N = 17,65 \text{ ucp}$$

$$FS = 1,15 \text{ ucp/segundo}$$

$C = 74$ segundos

$Gef = 32,16$ segundos

$W = (17,65/1,15) + (74 - 32,16)/2 = 36,27$ segundos

3) Avenida João Palácio:

$N = 6,72$ ucp

$FS = 1,09$ ucp/segundo

$C = 74$ segundos

$Gef = 33,53$ segundos

$W = (6,72/1,09) + (74 - 33,53)/2 = 25,99$ segundos

4) Rua Rio Amazonas:

$N = 18,14$ ucp

$FS = 1,14$ ucp/segundo

$C = 74$ segundos

$Gef = 34,11$ segundos

$W = (18,14/1,15) + (74 - 34,11)/2 = 35,72$ segundos

4.4.2.11.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário 2

Por meio da Fórmula 16, calcula-se a proporção de veículos detidos de cada uma das vias do cenário 2:

1) Avenida Norte Sul:

$h = 0,43$

$P = (1 - 0,43)/(1 + 0,43) = 0,40$

2) Rodovia Norte Sul:

$$h = 0,43$$

$$P = (1 - 0,43)/(1 + 0,43) = 0,40$$

3) Avenida João Palácio:

$$h = 0,45$$

$$P = (1 - 0,45)/(1 + 0,45) = 0,38$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$h = 0,46$$

$$P = (1 - 0,46)/(1 + 0,46) = 0,37$$

4.4.3. Cenário 3

4.4.3.1. Volume de Tráfego do Cenário 3

Como não houve modificação operacional nesse cenário em relação ao cenário atual, o volume de tráfego no cenário 3 será idêntico ao do cenário atual (Tabela 15).

Tabela 15: Volume de tráfego do cenário 3

Via	Número de Veículos (UCP)				Total (ucp/h)
	Período				
	0 – 15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	
Avenida Norte Sul	359,94	401,58	408,86	331,00	1501,38
Rodovia Norte Sul	336,22	359,97	396,22	408,52	1500,93
Avenida João Palácio	68,87	69,96	74,12	84,59	297,54
Rua Rio Amazonas	250,38	266,88	297,69	315,10	1130,05

4.4.3.2. Fator Horário de Pico do Cenário 3

Por meio da Fórmula 1, calcula-se o fator horário de pico para o cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1501,38/4 \cdot 408,86 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

2) Rodovia Norte Sul:

$$\text{FHP} = 1500,93/4 \cdot 408,52 = 0,92$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

3) Avenida João Palácio:

$$\text{FHP} = 297,54/4 \cdot 84,59 = 0,88$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4) Rua Rio Amazonas:

$$\text{FHP} = 1130,05/4 \cdot 315,10 = 0,90$$

Análise: Fator normal para uma área urbana.

4.4.3.3. Fluxo de Saturação do Cenário 3

Conforme dito anteriormente, um dos fatores que modificam o valor do fluxo de saturação é o número de faixas da via.

No cenário 3, o número de faixas da Rod. Norte Sul foi aumentado em 50%, isso significa que seu fluxo de saturação também será aumentado do mesmo valor. As demais vias, que não sofreram modificações, manterão seus valores de fluxo de saturação (Tabela16).

Tabela 16: Fluxo de saturação do cenário 3

Via	Fluxo de Saturação (ucp/hora)
Avenida Norte Sul	4158
Rodovia Norte Sul	6189
Avenida João Palácio	3912
Rua Rio Amazonas	4104

4.4.3.4. Tempo Perdido do Cenário 3

Nesse cenário nenhuma característica influenciável no valor do tempo perdido foi alterada, dessa forma os tempos perdidos em cada via serão iguais aos tempos perdidos no cenário atual.

1) Avenida Norte Sul:

Tr = 3,42 segundos

Vs = 1 segundo

I = 4,42 segundos

2) Rodovia Norte Sul:

Tr = 2,84 segundos

Vs = 1 segundo

I = 3,84 segundos

3) Avenida João Palácio:

Tr = 3,47 segundos

Vs = 1 segundo

I = 4,47 segundos

4) Rua Rio Amazonas:

Tr = 2,89 segundos

Vs = 1 segundo

I = 3,89 segundos

4.4.3.5. Taxa de Ocupação do Cenário 3

Por meio da Fórmula 7, calcula-se a taxa de ocupação de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 1501,38/4158 = 0,36$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 1500,93/6189 = 0,24$$

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 297,54/3912 = 0,08$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$Y = 1130,05/4104 = 0,28$$

4.4.3.6. Tempo de Ciclo do Cenário 3

Por meio da Fórmula 11, calcula-se o tempo de ciclo ótimo para o cenário 3:

$$\sum I = (4,42 + 3,84 + 4,47) = 12,73 \text{ segundos}$$

$$\sum Y = (0,36 + 0,24 + 0,28) = 0,88$$

$$TCo = [(1,5 * 12,73) + 5]/(1 - 0,88) = 201 \text{ segundos}$$

4.4.3.7. Tempo de Verde do Cenário 3

Por meio das Fórmulas 12 e 5, calcula-se o tempo de verde para cada estágio do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$G_{ef} = (201 - 12,73) * (0,36/0,88) = 77,02 \Rightarrow 77 \text{ segundos}$$

$$G = (77 + 2,84 - 4) = 75,84 \Rightarrow 76 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$G_{ef} = (201 - 12,73) * (0,24/0,88) = 51,35 \Rightarrow 52 \text{ segundos}$$

$$G = (52 + 2,84 - 4) = 50,84 \Rightarrow 51 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

Por não possuir a taxa de ocupação crítica do estágio, seu tempo de verde não será calculado.

$$G = 59 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$G_{ef} = (201 - 12,73) * (0,28/0,88) = 59,90 \Rightarrow 60 \text{ segundos}$$

$$G = (60 + 2,89 - 4) = 58,89 \Rightarrow 59 \text{ segundos}$$

4.4.3.8. Ciclo dos Semáforos do Cenário 3

A Figura 30 apresenta o ciclo dos semáforos do cenário 3.

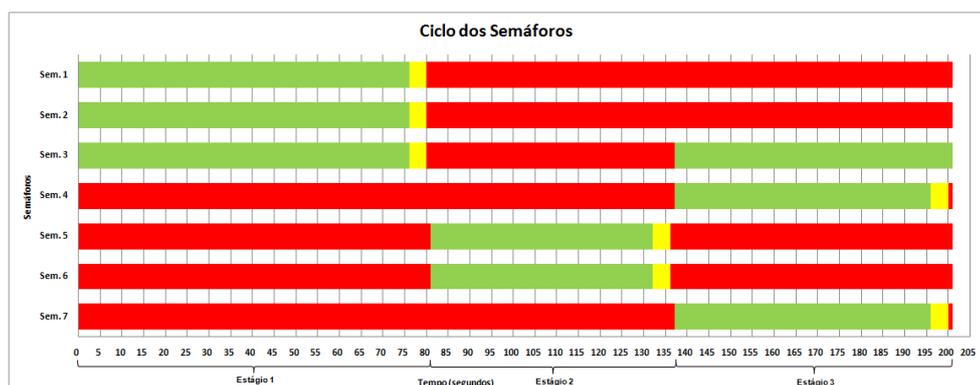


Figura 30: Diagrama do ciclo dos semáforos do cenário 3

4.4.3.9. Capacidade do Cenário 3

Por meio das Fórmulas 5 e 6, calcula-se a capacidade de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G = 76 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 3,42 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = (76 + 4) - 3,42 = 76,58 \text{ segundos}$$

$$C_p = 4158 * (76,58/201) = 1584 \text{ ucp/hora}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G = 51 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 2,84 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = (51 + 4) - 2,84 = 52,16 \text{ segundos}$$

$$C_p = 6189 * (52,16/201) = 1606 \text{ ucp/hora}$$

3) Avenida João Palácio:

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G = 59 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 3,47 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = (59 + 4) - 3,47 = 59,53 \text{ segundos}$$

$$C_p = 3912 * (59,53/201) = 1159 \text{ ucp/hora}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G = 59 \text{ segundos}$$

$$T_a = 4 \text{ segundos}$$

$$T_r = 2,89 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = (59 + 4) - 2,89 = 60,11 \text{ segundos}$$

$$C_p = 4104 * (60,11/201) = 1227 \text{ ucp/hora}$$

4.4.3.10. Grau de Saturação do Cenário 3

Por meio da Fórmula 8, calcula-se o grau de saturação de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$Y = 0,36$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 76,58 \text{ segundos}$$

$$X = 0,36 * (201/76,58) = 0,94$$

Análise: A via está operando um pouco abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, variações bruscas de demanda podem provocar congestionamentos e formação de fila excedente.

2) Rodovia Norte Sul:

$$Y = 0,24$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 52,16 \text{ segundos}$$

$$X = 0,24 * (201/52,16) = 0,93$$

Análise: A via está operando um pouco abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, variações bruscas de demanda podem provocar congestionamentos e formação de fila excedente.

3) Avenida João Palácio:

$$Y = 0,08$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$Gef = 59,53 \text{ segundos}$$

$$X = 0,08 * (201/59,53) = 0,27$$

Análise: A via está operando muito abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, seu tempo de verde é mais que suficiente para o escoamento dos veículos.

4) Rua Rio Amazonas:

$$Y = 0,28$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$Gef = 60,11 \text{ segundos}$$

$$X = 0,28 * (201/60,11) = 0,94$$

Análise: A via está operando um pouco abaixo de sua capacidade de atendimento. Dessa forma, variações bruscas de demanda podem provocar congestionamentos e formação de fila excedente.

4.4.3.11. Indicadores de Desempenho do Cenário 3

4.4.3.11.1. Atraso Médio por Veículo do Cenário 3

Por meio da Fórmula 13, calcula-se o atraso médio por veículo de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$X = 0,94$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 76,58 \text{ segundos}$$

$$h = (76,58/201) = 0,38$$

$$D = 201 * (1 - 0,38)^2 / 2 * (1 - 0,38 * 0,94) + [(0,94^2 / 2 * 0,42 * (1 - 0,94))] - [0,65 * (201 / 0,42^2)^{1/3} * 0,94^{(2 + 5 * 0,38)}] = 72,30 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$X = 0,93$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 52,16 \text{ segundos}$$

$$h = (52,16/201) = 0,26$$

$$D = 201 * (1 - 0,26)^2 / 2 * (1 - 0,26 * 0,93) + [(0,93^2 / 2 * 0,42 * (1 - 0,93))] - [0,65 * (201 / 0,42^2)^{1/3} * 0,93^{(2 + 5 * 0,26)}] = 81,95 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

$$X = 0,27$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$Vt = 0,08 \text{ ucp/segundo}$$

$$Gef = 59,53 \text{ segundos}$$

$$h = (59,53/201) = 0,30$$

$$D = 201 * (1 - 0,30)^2 / 2 * (1 - 0,30 * 0,27) + [(0,27^2 / 2 * 0,08 * (1 - 0,27))] - [0,65 * (201 / 0,08^2)^{1/3} * 0,27^{(2 + 5 * 0,30)}] = 54,00 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$X = 0,94$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$V_t = 0,31 \text{ ucp/segundo}$$

$$G_{ef} = 60,11 \text{ segundos}$$

$$h = (60,11/201) = 0,30$$

$$D = 201 * (1 - 0,30)^2 / 2 * (1 - 0,30 * 0,94) + [(0,94^2 / 2 * 0,31 * (1 - 0,94))] - [0,65 * (201 / 0,31^2)^{1/3} * 0,94^{(2 + 5 * 0,3)}] = 85,65 \text{ segundos}$$

4.4.3.11.2. Comprimento Médio da Fila do Cenário 3

Por meio da Fórmula 14, calcula-se o comprimento médio da fila de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$V_t = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 76,58 \text{ segundos}$$

$$D = 72,30 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,42 * ((201 - 76,58)/2 + 72,30) = 56,49 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,42 + (201 - 76,58) = 52,26 \text{ ucp}$$

$$N = (56,49 + 52,26)/2 = 54,38 \text{ ucp}$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$V_t = 0,42 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 52,16 \text{ segundos}$$

$$D = 81,95 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,42 * ((201 - 52,16)/2 + 81,95) = 65,68 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,42 + (201 - 52,16) = 62,51 \text{ ucp}$$

$$N = (65,68 + 62,51)/2 = 64,10 \text{ ucp}$$

3) Avenida João Palácio:

$$V_t = 0,08 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 59,53 \text{ segundos}$$

$$D = 54,00 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,08 * ((201 - 59,53)/2 + 54,00) = 9,98 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,08 + (201 - 59,53) = 11,32 \text{ ucp}$$

$$N = (9,98 + 11,32)/2 = 10,65 \text{ ucp}$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$V_t = 0,31 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

$$G_{ef} = 60,11 \text{ segundos}$$

$$D = 85,65 \text{ segundos}$$

$$N_1 = 0,31 * ((201 - 60,11)/2 + 85,65) = 48,39 \text{ ucp}$$

$$N_2 = 0,31 + (201 - 60,11) = 43,68 \text{ ucp}$$

$$N = (48,39 + 43,68)/2 = 46,04 \text{ ucp}$$

4.4.3.11.3. Tempo Médio de Espera do Cenário 3

Por meio da Fórmula 15, calcula-se o tempo médio de espera de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$N = 54,38 \text{ ucp}$$

$$FS = 1,15 \text{ ucp/segundo}$$

$$C = 201 \text{ segundos}$$

Gef = 76,58 segundos

$$W = (54,38/1,15) + (201 - 76,58)/2 = 109,50 \text{ segundos}$$

2) Rodovia Norte Sul:

N = 64,10 ucp

FS = 1,72 ucp/segundo

C = 201 segundos

Gef = 52,16 segundos

$$W = (64,10/1,72) + (201 - 52,16)/2 = 111,69 \text{ segundos}$$

3) Avenida João Palácio:

N = 10,65 ucp

FS = 1,09 ucp/segundo

C = 201 segundos

Gef = 59,53 segundos

$$W = (10,65/1,09) + (201 - 59,53)/2 = 80,51 \text{ segundos}$$

4) Rua Rio Amazonas:

N = 46,04 ucp

FS = 1,14 ucp/segundo

C = 201 segundos

Gef = 60,11 segundos

$$W = (46,04/1,14) + (201 - 60,11)/2 = 110,83 \text{ segundos}$$

4.4.3.11.4. Proporção dos Veículos Detidos do Cenário 3

Por meio da Fórmula 16, calcula-se a proporção de veículos detidos de cada uma das vias do cenário 3:

1) Avenida Norte Sul:

$$h = 0,38$$

$$P = (1 - 0,38)/(1 + 0,38) = 0,45$$

2) Rodovia Norte Sul:

$$h = 0,26$$

$$P = (1 - 0,26)/(1 + 0,26) = 0,59$$

3) Avenida João Palácio:

$$h = 0,30$$

$$P = (1 - 0,30)/(1 + 0,30) = 0,54$$

4) Rua Rio Amazonas:

$$h = 0,30$$

$$P = (1 - 0,30)/(1 + 0,30) = 0,54$$

4.5. Análise Global dos Cenários

Primeiramente vale lembrar que o cenário 1 não será comparado aos demais nessa sessão, pois foi previamente descartado por não atender os requisitos mínimos para a aplicação do método de Webster e conseqüentemente aplicação dos indicadores de desempenho.

As tabelas e gráficos a seguir apresentam um comparativo entre os indicadores de desempenho dos cenários analisados.

Tabela 17: Comparação do grau de saturação dos cenários

Vias	Grau de Saturação			
	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Avenida Norte Sul	1,11	-	0,84	0,94
Rodovia Norte Sul	0,90	-	0,83	0,93
Avenida João Palácio	0,47	-	0,38	0,27
Rua Rio Amazonas	1,61	-	0,85	0,94

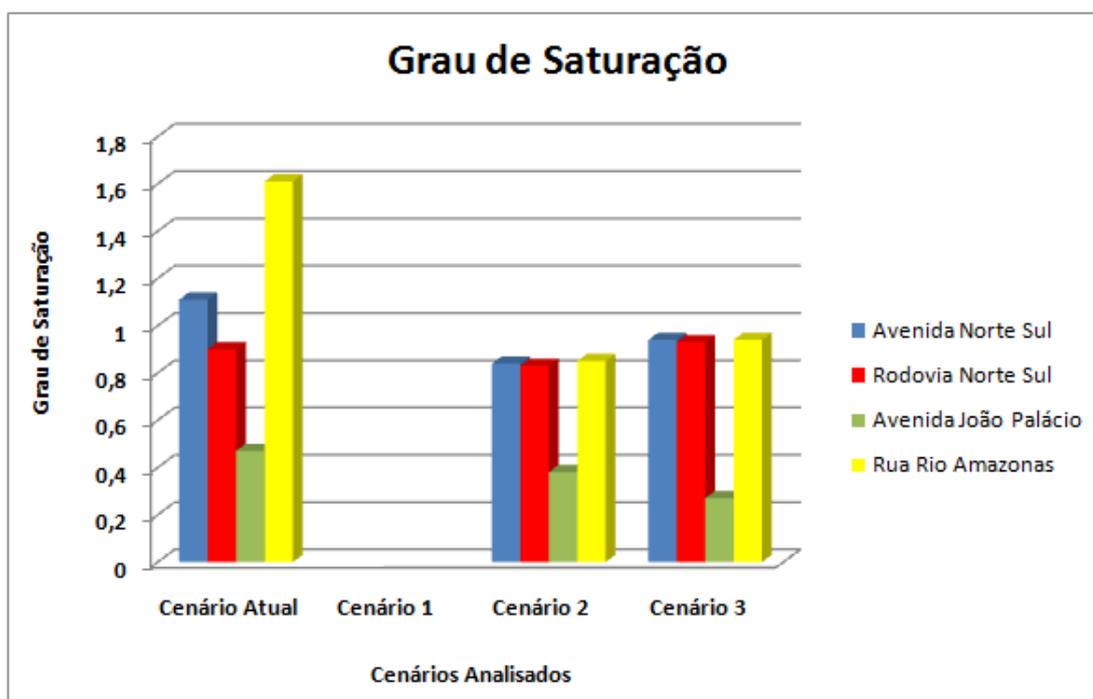


Gráfico 7: Comparação do grau de saturação dos cenários

Com relação ao grau de saturação, Tabela 17 e Gráfico 7, é possível observar que o cenário 2 apresentou em média os melhores valores dentre os cenários analisados, com uma redução média de 29% em relação ao cenário atual e 6% em relação ao cenário 3. Isso significa que de uma forma geral suas vias atenderam com melhor qualidade a demanda de veículos no cruzamento. Dessa forma, conclui-se que nesse indicador o cenário 2 teve o melhor desempenho dentre os cenários verificados.

Tabela 18: Comparação do atraso médio por veículo dos cenários

Vias	Atraso Médio por Veículo (segundos)			
	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Avenida Norte Sul	-	-	21,71	72,30
Rodovia Norte Sul	47,79	-	21,27	81,95
Avenida João Palácio	56,60	-	14,01	54,00
Rua Rio Amazonas	-	-	20,76	85,65

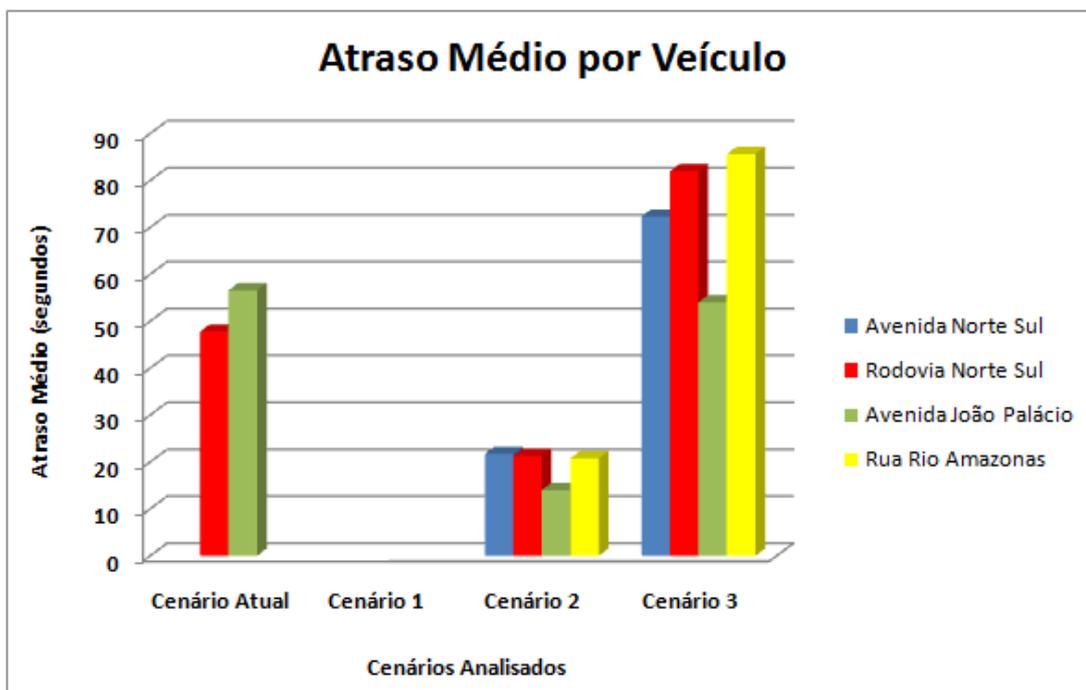


Gráfico 8: Comparação do atraso médio por veículo dos cenários

Quanto ao indicador de atraso médio por veículo, Tabela 18 e Gráfico 8, foi possível observar que o cenário 2 apresentou os melhores valores dentre os cenários analisados, com uma redução média de 66% em relação ao cenário atual e 74% em relação ao cenário 3. Isso indica que o tempo perdido pelos veículos nesse cenário foi inferior aos demais. Dessa forma, verifica-se que nesse indicador o cenário 2 obteve o melhor desempenho.

Tabela 19: Comparação do comprimento médio da fila dos cenários

Vias	Comprimento Médio da Fila (ucp)			
	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Avenida Norte Sul	-	-	17,93	54,38
Rodovia Norte Sul	38,34	-	17,65	64,10
Avenida João Palácio	9,74	-	6,72	10,65
Rua Rio Amazonas	-	-	18,14	46,04

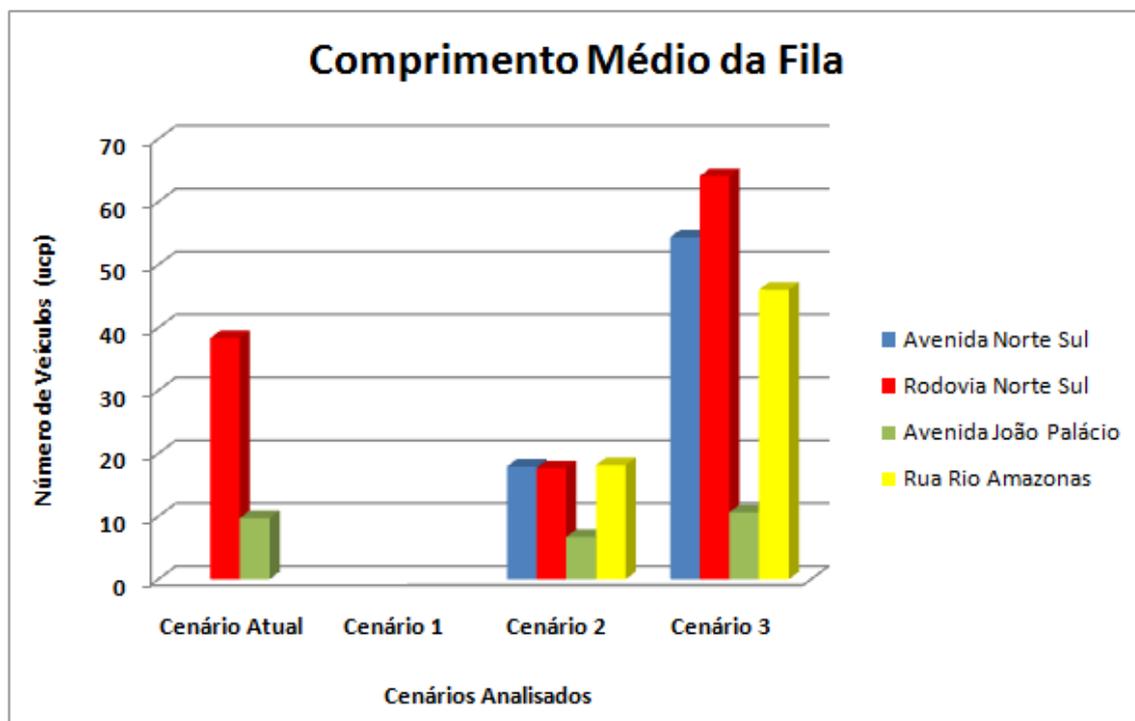


Gráfico 9: Comparação do comprimento médio da fila dos cenários

Analisando o comprimento médio da fila, Tabela 19 e Gráfico 9, observa-se que o cenário 2 apresenta os melhores valores dentre os cenários analisados, com uma redução média de 49% em relação ao cenário atual e 65% em relação ao cenário 3. Isso significa que a quantidade média de veículos parados nos semáforos foi menor nesse cenário. Dessa forma, conclui-se que nesse indicador o cenário 2 obteve o melhor desempenho.

Tabela 20: Comparação do tempo médio de espera dos cenários

Vias	Tempo Médio de Espera (segundos)			
	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Avenida Norte Sul	-	-	36,80	109,50
Rodovia Norte Sul	78,26	-	36,27	111,69
Avenida João Palácio	71,17	-	25,99	80,51
Rua Rio Amazonas	-	-	35,72	110,83

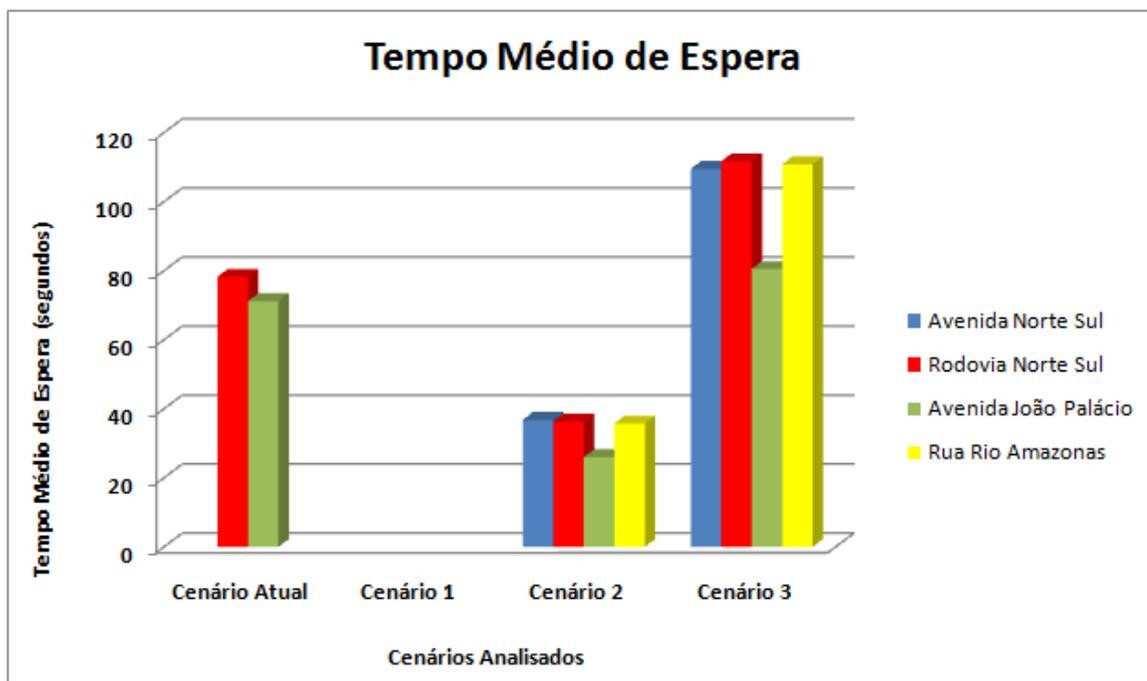


Gráfico 10: Comparação do tempo médio de espera dos cenários

Em relação ao tempo médio de espera, Tabela 20 e Gráfico 10, foi possível observar que o cenário 2 apresentou os melhores valores entre os cenários analisados, com uma redução média de 58% em relação ao cenário atual e 67% em relação ao cenário 3. Dessa forma, conclui-se que nesse indicador o cenário 2 apresentou o melhor desempenho entre os cenários verificados.

Tabela 21: Comparação da proporção de veículos detidos dos cenários

Vias	Proporção de Veículos Detidos			
	Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Avenida Norte Sul	0,52	-	0,40	0,45
Rodovia Norte Sul	0,43	-	0,40	0,59
Avenida João Palácio	0,71	-	0,38	0,54
Rua Rio Amazonas	0,71	-	0,37	0,54

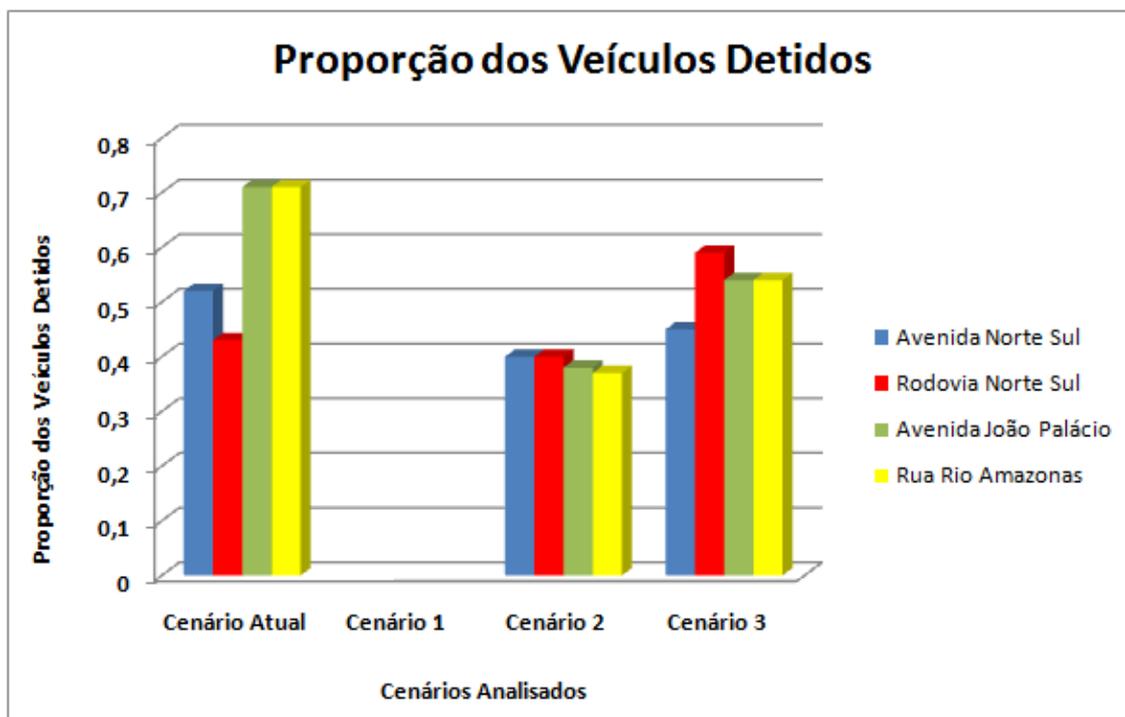


Gráfico 11: Comparação da proporção de veículos detidos dos cenários

Por fim, quando analisado a proporção de veículos detidos, Tabela 21 e Gráfico 11, o cenário 2 apresentou os melhores valores entre os cenários analisados, com uma redução média de 35% em relação ao cenário atual e 27% em relação ao cenário 3. Isso significa que proporção de veículos que pararam nos semáforos pelo menos uma vez foi menor nesse cenário. Dessa forma, conclui-se que nesse indicador o cenário 2 obteve o melhor desempenho entre os cenários verificados.

Sendo assim, quando comparada todas as análises realizadas nessa sessão, conclui-se que o cenário 2 apresentou os melhores resultados entre os cenários analisados. Dessa forma, esse cenário é indicado nesse trabalho como a melhor solução para a interseção analisada.

5. CONCLUSÃO

Nesse projeto foi desenvolvido um estudo viário em uma interseção semaforizada, localizada em um importante corredor de veículos da Grande Vitória, a fim de encontrar melhorias que pudessem aumentar a fluidez de veículos na região.

Para alcançar tal objetivo, foram definidos três novos cenários, envolvendo rearranjo de circulação e remodelação da estrutura viária. Todos os cenários propostos, bem como o cenário atual, foram analisados por meio dos conceitos da engenharia de tráfego, método de Webster e indicadores de desempenho.

A análise do primeiro cenário mostrou, previamente, que o mesmo não poderia ser utilizado para aquela situação, pois não oferecia os requisitos mínimos para a aplicação do método de Webster e consequentemente utilização dos indicadores de desempenho.

O cenário 2 apresentou, entre todos os analisados, o melhor desempenho. Em sua análise foi possível observar a redução do grau de saturação das vias, do atraso médio por veículo, do comprimento médio da fila, do tempo médio de espera e da proporção de veículos detidos. Dessa forma, esse cenário consolidou-se como melhor alternativa de melhoria para a região.

No cenário 3 foi possível observar algumas melhorias em relação ao cenário atual, porém seus indicadores de desempenho mostraram-se inferiores em relação aos do cenário 2.

Diante do exposto anteriormente, foi possível observar que os conceitos da engenharia de tráfego, quando aliados ao método de Webster e aos indicadores de desempenho, tornam-se ferramentas úteis e eficazes na análise e melhoria de situações reais.

5.1. Trabalhos Futuros

Avaliar um projeto semaforico baseando-se somente em resultados teóricos pode ser considerado uma atitude precipitada. Diante disso, a micro-simulação apresenta-se como alternativa viável para a solução desse tipo de problema.

Segundo Oliveira (2009) a simulação é amplamente utilizada em estudos de tráfego, pois possibilita apresentar sugestões de melhoria de trânsito em nível computacional, permitindo um estudo prévio antes da realização efetiva da mudança. Segundo o mesmo autor, esse recurso evita os custos elevados que podem ser gerados através do processo de tentativa e erro.

Dessa forma, entende-se que a aplicação da micro-simulação em uma etapa posterior, complementaria o estudo desenvolvido e agregaria mais valor aos resultados encontrados nesse projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRINATI, M. A. **Estudo do Escoamento do Tráfego em uma Interseção com Sinal Luminoso**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1970.

CAMPOS, Vânia Barcellos G. **Metodologia para Cálculo da Capacidade de Rodovias de Duas Faixas e Rodovias de Múltiplas Faixas**.

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO NORTE. **Manual do Planejamento de Acessibilidades e Transportes: Sinais Luminosos**. 2008.

CUCCI, João Neto. **Desenvolvimento Urbano e Políticas de Transporte e Trânsito – Adaptado ANTP**. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Mackenzie, 2001.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO ESPÍRITO SANTO. **Anuário Estatístico 2009**. Disponível em: < <http://www.detran.es.gov.br/>>. Acesso em: 23 fev. 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, **Manual de Estudos de Tráfego**. Publicação IPR 723, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO E MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. **Serviços de Engenharia: Manual de Semáforos**. Brasília/DF, 1979.

ESPÍRITO SANTO. Lei nº 6.705, de 2006. **Plano Diretor Urbano**. Vitória, 2006.

CASTIGLIONI, A. A; UYTENHOVE, F.; VENTURIM, T. **Monitoramento de Intervenções Viárias em áreas Residenciais Urbanas: Análise do Desempenho Operacional de Interseção Viária Urbana com Utilização de Rotatória x**

Semaforização. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de Tráfego: Módulo 1.** Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de Tráfego: Módulo 2.** Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de Tráfego: Módulo 3 – Análise da Capacidade de Vias com base no HCM 2000.** Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.

LIMA, Cleiton M. V. **Otimização de Transito – Uma Abordagem Utilizando Algoritmos Genéricos.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

LUNA, Marcelo dos Santos. **Sobre o Fluxo de Saturação: Conceituação, Aplicação, Determinação Variação.** Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2003.

NOVAES, Antonio Galvão. **Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos.** São Paulo: Ed. McGraw, 1975.

OLIVEIRA, TÚLIO LUPIANO. **Simulação Computacional Aplicada ao Tráfego: uma Análise do Fluxo de Veículos na Praça Tiradentes em Ouro Preto (MG).** Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DA SERRA. **Delimitação do bairro Eurico Salles.** Disponível em: < <http://www.serra.es.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Limite de bairros.** Vitória, ES. Disponível em: < <http://www.vitoria.es.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

QUEIROZ, I. N. F.; JACQUES, M. A. P. **Modelo para Estimativa do Fluxo de Saturação Desenvolvido a partir das Condições do Tráfego de Brasília**. Brasília: Universidade de Brasília.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 1: Introdução a Engenharia de Tráfego**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 2: Características do Tráfego**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 3: Cálculo da Capacidade de Tráfego**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 4: Determinação do Volume de Tráfego**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 5: Sinalização**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Aula 6: Semáforos**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

SILVA, Paulo Cesar Marques. **Análise de Capacidade de Interseções em Nível**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

SILVA, Paulo Cesar Marques. **Elementos dos Sistemas de Tráfego**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

SILVA, Paulo Cesar Marques. **Teoria do Fluxo de Tráfego**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

TRB – Transportation Research Board. **HCM - Highway Capacity Manual**. Washington: EUA, 2000.

WEBSTER, F. V. **Traffic Signals Settings. Road Research Technical Paper N° 39.** London: Great Britain Road Research Laboratory, 1958.

ANEXO A – DADOS COLETADOS

Semáforos	Tempo dos Semáforos (segundos)		
	Verde	Amarelo	Vermelho
Sem. 1	48	4	98
Sem. 2	52	4	94
Sem. 3	81	4	65
Sem. 4	25	4	121
Sem. 5	59	4	87
Sem. 6	116	4	30
Sem. 7	25	4	121

Tempo de Ciclo =	150 segundos
Vermelho de Segurança =	1 segundo / estágio

Contagem Direcional dos Veículos													
Origem: Rua Rio Amazonas													
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti									Hora: 07h00min até 08h00min				
Coleta	Conversões												
	Direita				Reto				Esquerda				
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	
1	4	0	1	0	14	1	0	0	1	0	0	0	
2	7	0	4	0	10	3	1	0	2	0	0	0	
3	6	0	5	0	4	2	1	0	4	0	0	0	
4	3	1	4	0	14	0	1	0	2	0	0	0	
5	2	0	3	0	15	5	3	0	4	0	0	0	
6	7	0	3	0	9	0	0	0	1	1	0	0	
7	3	1	1	0	15	0	3	1	2	0	0	0	
8	3	1	1	0	15	0	0	0	2	0	0	0	
9	3	0	0	0	12	6	2	1	1	1	0	0	
10	6	1	2	0	16	0	0	0	2	0	0	0	
11	1	1	4	0	12	3	4	1	1	0	0	0	
12	4	2	6	0	15	2	0	0	2	0	0	0	
13	8	1	3	0	14	0	0	1	2	0	0	0	
	Direita				Reto				Esquerda				Total (ucp)
Total (ucp)	142,89				213,01				26,66				382,56
Porcentagem (%)	37,35				55,68				6,97				100

Contagem Direcional dos Veículos												
Origem: Avenida Norte Sul												
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti									Hora: 07h00min até 08h00min			
Coleta	Conversões											
	Direita				Reto				Esquerda			
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão
1	1	0	0	0	36	5	0	1	19	2	1	0
2	0	1	0	0	28	3	2	1	21	3	0	0
3	0	0	0	0	42	3	0	0	20	2	1	0
4	1	0	0	0	36	3	2	0	9	3	0	0
5	0	2	0	0	37	2	0	0	14	0	2	0
6	0	0	0	0	30	2	0	1	15	1	1	0
7	1	0	0	0	25	7	0	0	19	4	0	1
8	0	0	0	0	32	6	0	1	14	3	0	0
9	2	0	0	0	27	1	0	2	17	4	0	0
10	0	0	0	0	26	6	0	2	21	5	0	0
11	1	0	0	0	40	5	2	1	13	2	0	0
12	0	0	0	0	34	5	0	2	10	2	0	0
13	0	0	0	0	31	3	0	1	12	3	1	0

	Direita	Reto	Esquerda	Total (ucp)
Total (ucp)	6,99	475,33	230,47	712,79
Porcentagem (%)	0,98	66,69	32,33	100

Contagem Direcional dos Veículos								
Origem: Avenida João Palácio								
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti						Hora: 07h00min até 08h00min		
Coleta	Conversões							
	Reto				Esquerda			
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão
1	8	4	0	0	0	0	0	0
2	17	4	0	0	0	0	0	0
3	12	5	0	0	2	1	1	0
4	11	9	0	0	3	0	0	2
5	6	3	0	1	0	0	0	0
6	16	3	1	0	1	1	0	0
7	16	0	0	0	1	0	0	2
8	12	2	1	1	0	0	0	1
9	17	3	0	0	1	1	0	1
10	8	1	1	0	1	0	0	0
11	5	0	0	0	3	0	0	0
12	3	1	0	0	2	1	0	0
13	2	2	0	0	1	2	1	0
		Reto			Esquerda			Total (ucp)
Total (ucp)		155,46			31,98			187,44
Porcentagem (%)		82,94			17,06			100

Contagem Direcional dos Veículos												
Origem: Rodovia Norte Sul												
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti									Hora: 07h00min até 08h00min			
Coleta	Conversões											
	Direita				Reto				Esquerda			
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão
1	1	0	0	1	30	1	2	2	9	0	0	0
2	1	0	0	1	25	4	3	3	8	3	1	0
3	0	0	1	0	23	3	3	0	17	0	1	0
4	0	0	0	0	29	5	1	0	2	1	2	0
5	2	0	0	1	32	4	1	0	3	2	4	0
6	0	0	0	1	38	4	1	1	6	0	0	0
7	1	0	0	0	31	5	2	2	12	2	1	0
8	0	1	0	0	32	2	0	1	9	1	1	2
9	0	0	0	0	37	8	1	0	9	1	1	0
10	1	0	0	0	33	2	2	0	10	1	0	0
11	0	0	0	0	22	6	3	2	8	1	4	0
12	0	1	0	0	28	4	0	2	14	2	1	0
13	0	0	0	0	38	1	1	3	4	2	0	0

	Direita	Reto	Esquerda	Total (ucp)
Total (ucp)	15,91	487,17	155,78	658,86
Porcentagem (%)	2,41	73,94	23,65	100

Fluxo de Veículos					
Origem: Rua Rio Amazonas					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Período	Veículos				Total (ucp)
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	
07h00min até 07h15min	210	11	14	3	250,38
07h15min até 07h30min	240	11	8	3	266,88
07h30min até 07h45min	260	18	11	4	297,69
07h45min até 08h00min	274	20	13	3	315,1

Contagem Classificatória					
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Total
Total	984	60	46	13	1103
Porcentagem (%)	89,21	5,44	4,17	1,18	100

Fluxo de Veículos					
Origem: Avenida Norte Sul					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Período	Veículos				Total (ucp)
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	
07h00min até 07h15min	318	43	10	3	359,94
07h15min até 07h30min	352	51	6	11	401,58
07h30min até 07h45min	328	42	22	10	408,86
07h45min até 08h00min	292	50	3	9	331

Contagem Classificatória					
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Total
Total	1290	186	41	33	1550
Porcentagem (%)	83,23	12,00	2,65	2,12	100

Fluxo de Veículos					
Origem: Avenida João Palácio					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Período	Veículos				Total (ucp)
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	
07h00min até 07h15min	50	14	4	3	68,87
07h15min até 07h30min	54	12	3	3	69,96
07h30min até 07h45min	57	14	4	2	74,12
07h45min até 08h00min	58	23	3	7	84,59

Contagem Classificatória					
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Total
Total	219	63	14	15	311
Porcentagem (%)	70,42	20,26	4,50	4,82	100

Fluxo de Veículos					
Origem: Rodovia Norte Sul					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Período	Veículos				Total (ucp)
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	
07h00min até 07h15min	262	34	21	9	336,22
07h15min até 07h30min	289	34	18	11	359,97
07h30min até 07h45min	303	59	25	10	396,22
07h45min até 08h00min	300	69	28	13	408,52

Contagem Classificatória					
	Carro	Moto	Ônibus	Caminhão	Total
Total	1154	196	92	43	1485
Porcentagem (%)	77,70	13,20	6,20	2,90	100

Dados para Cálculo do Fluxo de Saturação					
Origem: Rua Rio Amazonas					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Coleta	Período				
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25
1	3	4	6	5	4
2	4	5	7	5	5
3	5	6	7	6	4
4	3	5	6	6	3
5	4	4	5	6	4
6	5	6	6	5	3
7	5	7	5	6	4
8	3	6	7	6	5
9	5	6	5	5	5
10	4	6	6	6	3

Dados para Cálculo do Fluxo de Saturação										
Origem: Avenida Norte Sul										
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti								Hora: 07h00min até 08h00min		
Coleta	Período									
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 – 35	35 – 40	40 – 45	45 - 50
1	4	6	7	7	6	7	8	6	5	4
2	2	6	6	5	7	5	5	7	6	3
3	4	5	5	7	6	6	6	7	4	4
4	7	5	4	4	4	6	6	7	6	2
5	5	4	5	5	6	7	6	5	5	4
6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	3
7	2	4	6	6	7	5	4	5	4	4
8	4	6	7	6	6	7	5	6	5	3
9	5	5	6	6	7	6	7	6	5	3
10	4	6	6	6	6	7	8	7	6	4

Dados para Cálculo do Fluxo de Saturação					
Origem: Avenida João Palácio					
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti				Hora: 07h00min até 08h00min	
Coleta	Período				
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25
1	3	6	4	7	3
2	4	4	6	6	4
3	4	4	6	4	4
4	3	5	5	6	3
5	3	6	5	4	4
6	4	5	6	5	3
7	3	6	5	5	4
8	4	6	5	6	4
9	3	7	6	5	3
10	4	5	7	6	4

Dados para Cálculo do Fluxo de Saturação												
Origem: Rodovia Norte Sul												
Avaliador: Breno Lopes e Heitor Giuberti									Hora: 07h00min até 08h00min			
Coleta	Período											
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	25 – 30	30 – 35	35 – 40	40 – 45	45 – 50	50 – 55	55 – 60
1	3	5	7	6	6	6	6	6	6	7	5	4
2	3	6	5	7	6	6	7	4	6	7	6	4
3	4	5	5	5	6	6	6	6	5	5	8	4
4	5	4	4	6	4	5	4	5	4	6	5	3
5	4	6	7	6	4	7	4	7	6	7	8	5
6	6	3	7	4	6	5	7	6	5	8	5	5
7	4	6	6	3	5	5	6	5	6	6	5	6
8	5	8	6	5	5	8	6	6	8	7	7	3
9	4	6	6	7	7	5	5	5	6	5	8	4
10	3	5	5	4	5	5	6	6	5	5	6	3