

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

**ESTUDO PARA ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DAS
INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS AO LONGO DA VIA L2
NORTE, BRASÍLIA-DF**

LEONARDO DE MIRANDA CLEMENTINO
MATHEUS ENNES TAVARES TEIXEIRA

ORIENTADOR: PAULO CESAR MARQUES DA SILVA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM TRANSPORTES

BRASÍLIA / DF: 12 / 2017

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

**ESTUDO PARA ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DAS
INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS AO LONGO DA VIA L2
NORTE, BRASÍLIA-DF**

**LEONARDO DE MIRANDA CLEMENTINO
MATHEUS ENNES TAVARES TEIXEIRA**

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

APROVADA POR:

**Prof. Doutor: PAULO CESAR MARQUES DA SILVA (UNB/ ENC)
(ORIENTADOR)**

**Prof. Doutora: MICHELLE ANDRADE (UNB/ENC)
(EXAMINADORA INTERNA)**

**Eng.^a YARA DA SILVA GERALDINI (DETRAN-DF)
(EXAMINADORA EXTERNA)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 08 de 12 de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

CLEMENTINO, LEONARDO DE MIRANDA; TEIXEIRA; MATHEUS ENNES TAVARES

Estudo para alteração da configuração das interseções semaforizadas ao longo da via L2 Norte, Brasília-DF [Distrito Federal] 2017.

xiii, 68 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2017)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Tráfego

2. Interseção

3. Sobreposição

4. Conflito

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CLEMENTINO, L.M.; TEIXEIRA, M. E. T. (2017). Estudo para alteração da configuração das interseções semaforizadas ao longo da via L2 Norte, Brasília-DF. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-002/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 68 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOMES DOS AUTORES: Leonardo de Miranda Clementino; Matheus Ennes Tavares Teixeira

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Estudo para alteração da configuração das interseções semaforizadas ao longo da via L2 Norte, Brasília-DF.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2017

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

Leonardo de Miranda Clementino
CCSW 01 Lote 02 Bloco B ap. 612
70.680-150 - Brasília/DF – Brasil

Matheus Ennes Tavares Teixeira
SCRN 704/705 Bloco B Entrada 40 ap. 212
70.730-620 - Brasília/DF – Brasil

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todos os familiares e colegas que nos apoiaram nesta etapa tão importante da graduação, além de todos os professores que nos transmitiram seus conhecimentos e permitiram nos tornar alunos melhores.

AGRADECIMENTOS

Nos aproximando da conclusão do curso de Engenharia Civil percebemos o quanto foi importante cada conhecimento adquirido ao longo da graduação. Gostaríamos de agradecer aos professores do Departamento de Engenharia Civil, mas agradecer também a todos os outros que nos transmitiram conhecimentos que serviram como ferramentas que nos possibilitaram adquirir a base necessária para absorver corretamente o conteúdo transmitido na parte final deste curso.

Agradecemos também aos nossos familiares que nos apoiaram na decisão de escolha deste árduo curso, sabendo que todas as dificuldades seriam motivo de orgulho uma vez que fossem superadas.

RESUMO

Percebe-se em alguns pontos ao longo da via L2 no bairro Asa Norte da cidade de Brasília que existe uma sobreposição de movimentos conflitantes, entre os veículos que desejam cruzar a via e os que desejam realizar o retorno.

Os veículos que saem da quadra comercial podem ser divididos entre os que desejam seguir no sentido em que acessam a via (norte-sul), e os que a acessam apenas momentaneamente para que logo em seguida possam fazer o retorno e seguir no sentido sul-norte. O conflito ocorre entre este segundo grupo de veículos que saem da comercial e os que vêm seguindo pela via L2 e desejam mudar seu sentido de tráfego, pois ambos têm que utilizar-se do mesmo retorno para fazer esta alteração de percurso.

Para melhorar a fluidez destes locais sugere-se que seja aberto um cruzamento na pista que libere a passagem de veículos que saem da comercial e desejem trafegar no sentido contrário ao de acesso da L2, desafogando assim o retorno que existe na proximidade e deixando-o livre apenas para veículos que venham previamente na via e desejem mudar de sentido. O retorno atualmente existente deverá ser deslocado alguns metros para que não haja interferência dos veículos que o forem utilizar com os que forem cruzar a via. Os veículos que forem acessar a via L2 Norte e não tiverem intenção de mudar seu sentido de navegação deverão continuar seguindo normalmente como tem sido feito até o momento.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto para uma interseção típica do corredor, simular seu desempenho operacional e compará-lo com o desempenho das atuais configurações.

Palavras-chave: sobreposição, conflito, tráfego, interferência, interseção.

ABSTRACT

It can be seen at some points along the L2 highway in the Asa Norte neighborhood of the city of Brasilia that there is an overlay of conflicting movements, among vehicles that wish to cross the highway and those who wish to make a return.

The vehicles that leave the commercial block can be divided between those who wish to follow in the direction that they access the road (southbound), and those who access it only momentarily so that soon after can return and move northbound. The conflict occurs between this second group of vehicles that leave the commercial and those who have been following the route L2 and wish to change their direction of traffic, since both have to use the same return to make this change of course.

In order to improve the flowability of these spots, it is suggested to make a intersection in the lane, releasing the passage of vehicles leaving the commercial and wishes to travel in the direction opposite to that of access of the L2, releasing the return that exists in the vicinity and leaving it free only for vehicles that have previously been on the road and wish to change direction. The current return should be moved a few meters so that there is no interference of the vehicles that are going to do it, with those that are going to cross the road. Vehicles that access the L2 North route and do not intend to change their direction of navigation should continue to follow normally as they have been doing so far.

The objective of this work is to develop a project for a typical intersection of the corridor, simulate its operational performance and compare it to the performance of current settings.

Keywords: overlay, conflict, traffic, interference, intersection.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 DISPOSIÇÃO DAS QUADRAS E PRINCIPAIS VIAS DE BRASÍLIA	1
1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVO DO TRABALHO	7
2 COMPARAÇÃO DO RETORNO DA 406 COM O DA 402 NORTE.....	9
2.1 DIAGRAMA DE ESTÁGIOS	9
2.2 SEPARAÇÃO DE MOVIMENTOS	11
3 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS INICIAIS.....	12
3.1 VOLUME	12
3.1.1 INTERSEÇÃO DA 406 NORTE	13
3.1.2 INTERSEÇÃO DA 402 NORTE	13
3.2 FLUXO DE SATURAÇÃO	14
4 MÉTODO UTILIZADO	17
4.1 MÉTODO DO HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM).....	17
4.1.1 FASE 1: MÓDULO DA ENTRADA DE DADOS.....	17
4.1.2 FASE 2: MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUME E MÓDULO DE FLUXO DE SATURAÇÃO	17
4.1.3 FASE 3: MÓDULO DE ANÁLISE DA CAPACIDADE.....	18
4.1.4 FASE 4: MÓDULO DE NÍVEIS DE SERVIÇO	18
4.2 CÁLCULO DOS TEMPOS DE CICLOS SEMAFÓRICOS	19
4.2.1 MÉTODO DE WEBSTER	19
5 ANÁLISE DOS DADOS.....	20
5.1 SITUAÇÃO ATUAL.....	20
5.1.1 406 NORTE.....	21
5.1.2 402 NORTE.....	24
6 PROPOSTA DE MELHORIA DO NÍVEL DE SERVIÇO POR ALTERAÇÃO DO CICLO SEMAFÓRICO NA QUADRA 406 NORTE – MÉTODO DE WEBSTER.....	26
6.1 INTERSEÇÃO C.....	26

6.2	INTERSEÇÃO R.....	26
6.3	INTERSEÇÃO C + R.....	27
6.3.1	INTERSEÇÃO C + R (CORREÇÃO).....	27
6.4	RESULTADOS: ANÁLISE PELO HCS.....	28
6.5	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS: DESEMPENHO DA INTERSEÇÃO C+R DA 406 NORTE.....	30
7	PROPOSTA DE MELHORIA DE DESEMPENHO POR MUDANÇA DE CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA NA QUADRA 406 NORTE.....	31
7.1	RESULTADOS: ANÁLISE PELO HCS.....	33
7.2	MELHORIA NO NÍVEL DE SERVIÇO DA FAIXA DA DIREITA DA SAÍDA DA QUADRA COMERCIAL DA 406 NORTE.....	34
8	CONCLUSÕES.....	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
A1	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – COMERCIAL...38	
A2	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – RETORNO.....41	
A3	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 402 NORTE.....44	
A4	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – COMERCIAL – MÉTODO DE WEBSTER.....47	
A5	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – RETORNO - MÉTODO DE WEBSTER.....50	
A6	RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE - PROPOSTA.....53	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema representativo das duas principais avenidas do Plano Piloto (modificado – BRAGA, 2012).....	2
Figura 1.2: Esquema representativo de vias ao longo do Plano Piloto (modificado – BEZERRA, 2012)	3
Figura 1.3: Acessos de quadras comerciais à via L2 Norte	4
Figura 1.4: Interseção da 406 Norte	5
Figura 1.5: Interseção da 402 Norte	6
Figura 1.6: Situação hipotética em que a fila do retorno bloqueia o acesso da comercial ao sentido Sul-Norte da via L2 Norte	7
Figura 1.7: Retorno da 402 Norte/ Retorno da 406 Norte.....	8
Figura 2.1: Diagrama de estágios atual do retorno da 406 Norte.....	9
Figura 2.2: Diagrama de estágios da interseção da 402 Norte	10
Figura 2.3: Diagrama de estágios esperado para a interseção da 406 Norte após conformação geométrica	11
Figura 3.1: Fluxo de saturação, tempo perdido e verde efetivo (DENATRAN, 2014)	14
Figura 3.2: Tempo gasto entre cada veículo para atravessar o semáforo após o veículo à sua frente (modificado – SILVA, 1994).....	15
Figura 4.1: Níveis de Serviço (modificado - SILVA, 1994).....	18
Figura 5.1: Desempenho atual simplificado da interseção C	22
Figura 5.2: Desempenho atual simplificado da interseção R	23
Figura 5.3: Desempenho atual da interseção da Quadra 402 Norte	25
Figura 6.1: Grupos de movimento da interseção C divididos por estágio	26
Figura 6.2: Grupos de movimento da interseção R divididos por estágio	27
Figura 6.3: Desempenho simplificado esperado para a interseção C mediante mudança de ciclo semafórico	29
Figura 6.4: Desempenho simplificado esperado para a interseção R mediante mudança de ciclo semafórico	29
Figura 6.5: Diagrama de estágios esperado para a interseção da 406 Norte após mudança de ciclo	30
Figura 7.1: Grupos de movimento da interseção da 406 Norte após conformação geométrica	31
Figura 7.2: Volume de veículos por movimento da interseção da 406 Norte após conformação geométrica	32
Figura 7.3: Transferência de fluxo de veículos para o retorno seguinte	32
Figura 7.4: Desempenho simplificado esperado para a interseção da 406 Norte após mudança de configuração geométrica	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Fator de equivalência para todos tipos de veículos (DENATRAN, 2014).....	13
Tabela 3-2: Volume de veículos na interseção da 406 Norte.....	13
Tabela 3-3: Volume de veículos na interseção da 402 Norte.....	14
Tabela 5-1: Tempo de ciclo semafórico da interseção C da 406 Norte	22
Tabela 5-2: Tempo de ciclo semafórico da interseção R da 406 Norte	22
Tabela 5-3: Tempo de ciclo semafórico da interseção da 402 Norte	24
Tabela 6-1: Tempos do ciclo da interseção C	27
Tabela 6-2: Tempos do ciclo da interseção R	27
Tabela 6-3: Tempos do ciclo da interseção C (correção).....	28
Tabela 6-4: Tempos do ciclo da interseção R (correção).....	28
Tabela 8-1: Níveis de serviço das aproximações da quadra 406 Norte	35

LISTA DE SIGLAS

CLN	Comércio Local Norte
EB	<i>Eastbound</i>
FHP	Fator de Hora de Pico
GM	Grupo de Movimentos
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
HCS	<i>Highway Capacity Software</i>
NB	<i>Northbound</i>
SB	<i>Southbound</i>
TRB	<i>Transpostation Research Board</i>
ucp	Unidade de Carro de Passeio

LISTA DE SÍMBOLOS

C	comercial
<i>h</i>	<i>headway</i>
h	hora
n	número de estágios
R	retorno
S	fluxo de saturação
s	segundo
t_{co}	tempo de ciclo ótimo
t_i	tempo de início do estágio
T_p	tempo perdido total
y_i	taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i

1 INTRODUÇÃO

O desempenho do sistema viário de uma cidade depende de vários fatores, e para que este seja satisfatório no que tange ao fluxo de veículos, é necessário que todas as variáveis que o influenciam estejam devidamente ajustadas no âmbito da Engenharia de Tráfego. Um ajuste fundamental a ser observado é o desempenho das interseções, algo que foi estudado neste trabalho em uma interseção típica em determinada região do bairro Asa Norte da cidade de Brasília.

As interseções e seu estudo são fundamentais para o bom funcionamento de um sistema viário, e geralmente são pontos críticos na rede de transporte, podendo gerar acúmulos excessivos de veículos caso seu dimensionamento não seja adequado. Ao mesmo tempo que se é esperado que haja certo acúmulo de veículos em horários de pico, deve se ponderar o dimensionamento para que seja aceitável nas horas mais críticas, e fluxo desimpedido nos horários de trânsito mais leve, levando em conta a preocupação com a economia.

O estudo do funcionamento ideal das interseções depende tanto das condições geométricas deste local, que podem ser alteradas quando necessário, quanto da correta calibragem dos semáforos envolvidos. A solução apresentada neste trabalho poderá ser adotada para as demais interseções semelhantes à que será estudada, desde que sejam feitas correções para as condições específicas de cada local, e ainda, levada em conta a necessidade das pessoas que mais utilizam tal porção da rede de transportes.

Além das medições *in loco* feitas para se obter dados relativos ao fluxo de saturação da interseção de estudo neste trabalho, foram utilizados também modelos matemáticos que facilitam a obtenção em larga escala desses dados, o que viabiliza adotar a solução apresentada nos demais pontos da cidade com situações semelhantes de conflito de tráfego.

1.1 DISPOSIÇÃO DAS QUADRAS E PRINCIPAIS VIAS DE BRASÍLIA

O Plano Piloto foi planejado e construído de forma a facilitar o entendimento e localização de todas as quadras existentes. Uma vez compreendida a lógica dos endereços e das principais vias utilizadas para deslocamento, pode-se chegar a qualquer destino sem jamais ter ido para ele, dispensando qualquer necessidade de decorar inúmeros nomes de ruas diferentes.

Existem duas avenidas principais que atravessam a cidade de um lado ao outro: o Eixo Rodoviário (mais conhecido como Eixão), que passa por toda a extensão da Asa Sul e Asa Norte e as separa em lados Leste e Oeste, e o Eixo Monumental (que tem este nome por ser a

região que concentra inúmeros monumentos da cidade), que passa por toda a extensão de Leste a Oeste do Plano e o separa em lados Norte e Sul. A Figura 1.1 mostra um esquema simplificado da disposição destas duas avenidas e a numeração utilizada na composição dos endereços das quadras.

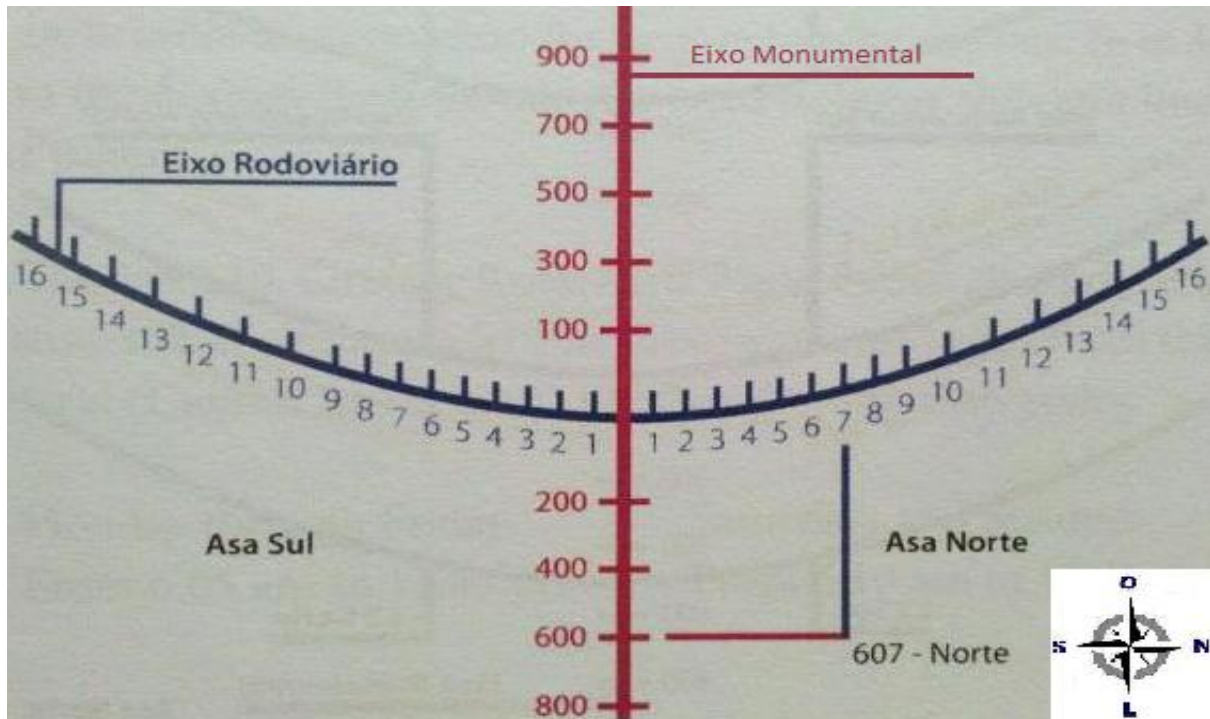


Figura 1.1: Esquema representativo das duas principais avenidas do Plano Piloto (modificado – BRAGA, 2012)

Conforme pode ser percebido, a localização de qualquer endereço nesta região pode ser facilmente identificada de forma semelhante à que se faz num plano cartesiano, porém este modelo apresentado está simplificado e não demonstra todas as vias e peculiaridades envolvidas. O problema percebido que foi objeto de estudo deste trabalho não se encontra em nenhuma destas duas avenidas principais mencionadas, mas em outra chamada L2 Norte.

As vias paralelas ao Eixo Rodoviário que o acompanham pelo lado Leste têm um “L” em seu nome (Via L2, Via L3, etc.), enquanto as que passam ao lado Oeste do Eixão têm um “W” (W3, W4, etc.). O motivo de referir-se a Oeste com um “W” de “West” na língua inglesa enquanto para o Leste adota-se a língua portuguesa é desconhecido pelos autores, tampouco é considerado relevante para este trabalho.

Depois das duas principais vias da cidade (Eixo Rodoviário e Eixo Monumental), as outras duas que concentram maior fluxo de veículos são as vias L2 e W3, que podem ser subdivididas em L2 Norte, L2 Sul, W3 Norte e W3 Sul. A Figura 1.2 demonstra com mais clareza a disposição destas vias mencionadas, além de outras.

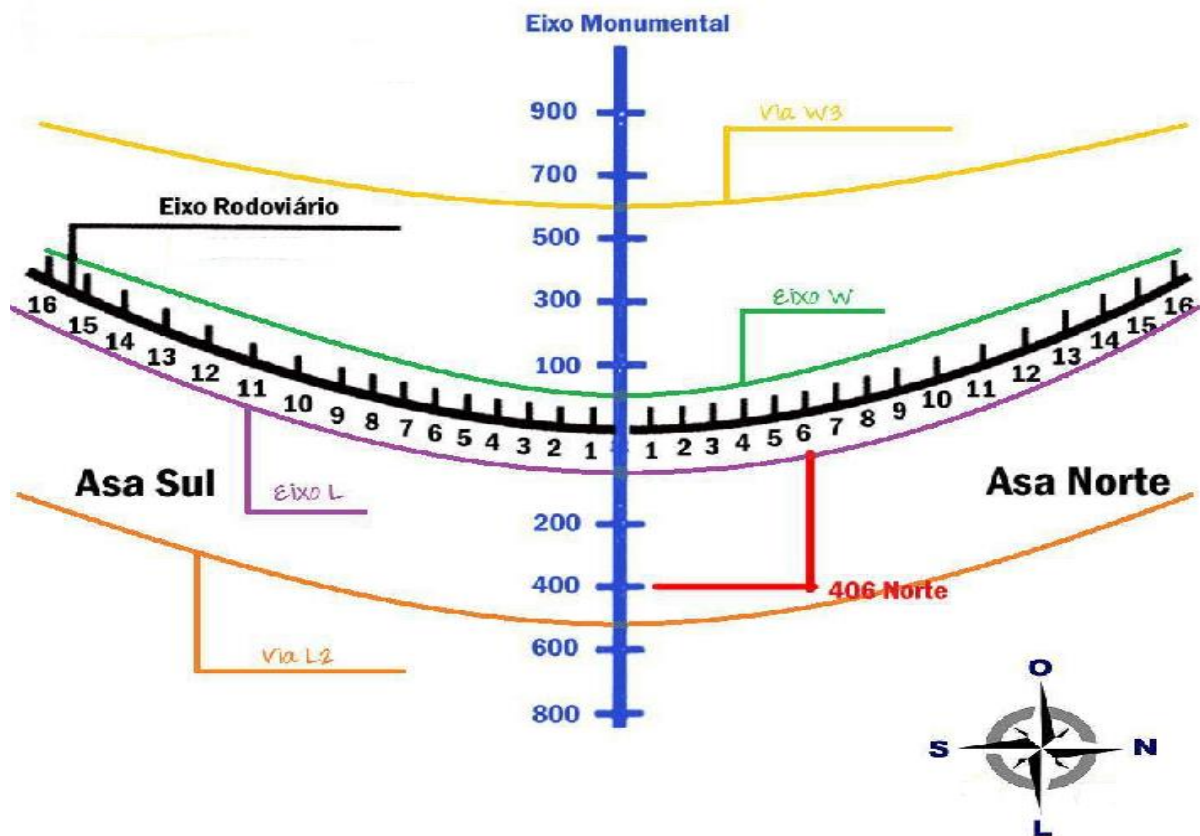


Figura 1.2: Esquema representativo de vias ao longo do Plano Piloto (modificado – BEZERRA, 2012)

A numeração das vias depende tanto do lado que ela se encontra, Leste ou Oeste, quanto das quadras que ela separa. As quadras começadas com número 200 estão separadas das quadras 400 pela via L1, assim como as 400 estão separadas das 600 pela L2 e assim sucessivamente. As quadras começadas com 100 estão separadas das 300 pela via W1, enquanto as 300 estão separadas das quadras 500 pela via W2 e assim sucessivamente.

Veículos que desejam acessar a via L2 Norte vindo das quadras mais internas e próximas ao Eixo Rodoviário (quadras 200 e 400) devem passar pela saída de comerciais localizadas entre quadras residenciais consecutivas que existem ao longo de toda extensão das duas Asas. A Figura 1.3 mostra a disposição destes acessos ao longo da via L2 Norte, facilitando ao leitor a compreensão da frequência em que ocorrem estas interseções em toda extensão da Asa Norte.



Figura 1.3: Acessos de quadras comerciais à via L2 Norte

As interseções marcadas com um retângulo vermelho são as que apresentam configurações geométricas semelhantes entre si, já a marcada com retângulo verde apresenta configuração que serve como modelo adotado por este trabalho para solução do problema observado. Exceto pela interseção modelo, todas as demais apresentam características semelhantes à interseção da 406 Norte (objeto de estudo deste trabalho), no entanto, deve-se avaliar que nem todas apresentam o mesmo grau de baixa fluidez percebido na 406, e cada uma possui uma demanda de veículos diferente. As demais interseções são inclusive não semaforizadas no retorno, algo que deve ser levado em conta ao serem analisadas.

Percebe-se também na imagem anterior que não existe interseção alguma entre as quadras 414 e 415, isto ocorre pelo fato de haver um parque na região que ocupa o espaço que seria destinado a usos residenciais ou comerciais, não havendo, portanto, saída de veículos nesta região.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste trabalho foi estudado um caso específico em um determinado ponto da Asa Norte e, posteriormente, proposta uma solução para esta, podendo, mediante ajustes, servir também para as demais interseções que apresentam este mesmo tipo de problema.

A interseção que foi usada como objeto de estudo ocorre no cruzamento da via coletora comercial da 406 com a via L2 Norte. Esta interseção possui dois pontos de conflito de vias e 5 semáforos que não atendem com efetividade este cruzamento. Em determinados horários de fluxo elevado, desenvolve-se uma fila no sentido Norte-Sul da via L2 Norte para realizar o retorno e acessar o sentido Sul-Norte. Após a formação desta fila surgem vários problemas: as pessoas que vêm da comercial da 406 não conseguem se agregar a esta fila, e precisam então ou esperar a mesma diminuir até que seja possível entrar nela, ou realizar a conversão junto com os carros da fila, o que gera um outro número de problemas que foram listados posteriormente. A Figura 1.4 mostra a atual situação do ponto de conflito estudado.



Figura 1.4: Interseção da 406 Norte

A solução estudada e proposta é abrir uma passagem direta para os veículos que querem, vindo da quadra comercial, fazer o cruzamento rumo ao sentido Sul-Norte da via L2 Norte, sem haver disputa com aqueles que estão querendo apenas mudar de sentido dentro da via. A princípio, esta mudança eliminaria 2 semáforos e aumentaria a fluidez do tráfego no local, mas ainda existem outras considerações a serem feitas: travessias de pedestres que seriam afetadas, aumento da distância entre retornos na via L2, realocação de retornos, entre outros. Esta solução proposta é semelhante a interseção entre a via coletora da quadra comercial 402 e a via L2 Norte, conforme pode ser visto na Figura 1.5.

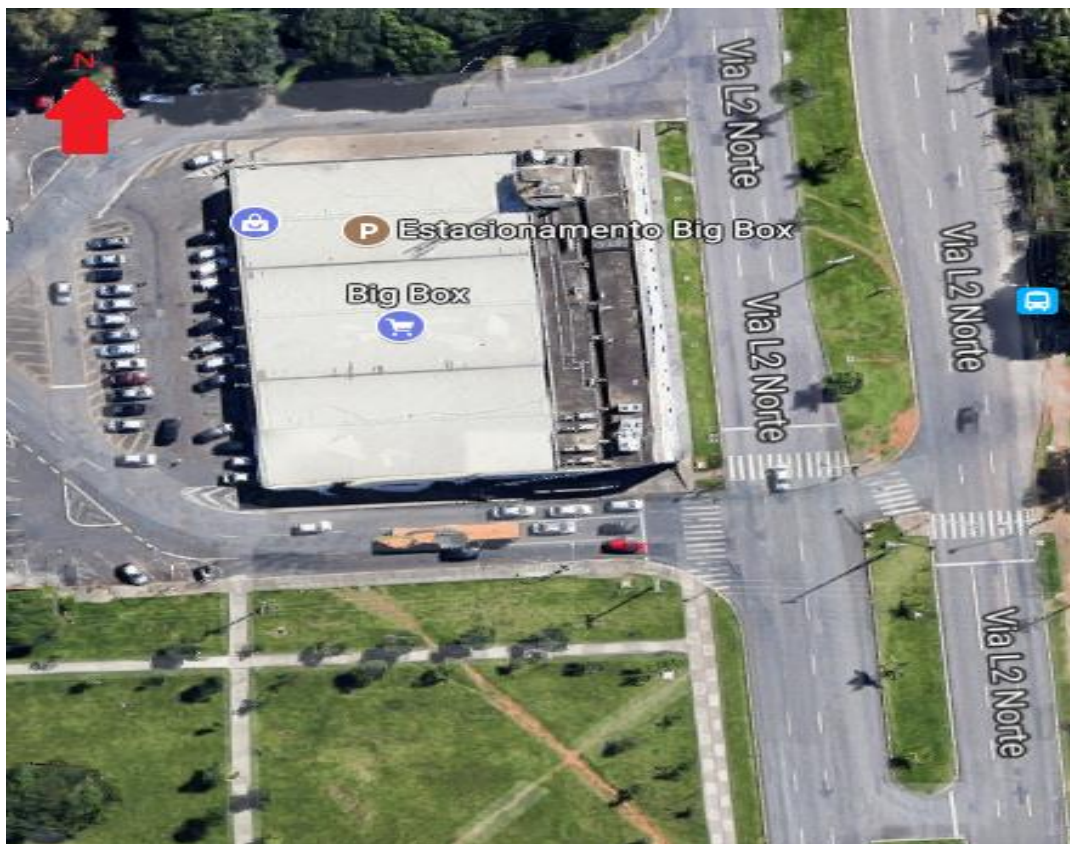


Figura 1.5: Interseção da 402 Norte

Foram avaliados impactos positivos e negativos que esta solução primária apresenta, sendo eventualmente necessário fazer alguns ajustes. Inicialmente, um problema que pareceu ser possível antes de uma análise mais detalhada e aprofundada foi o fato de o retorno que realiza a troca de sentido de Sul-Norte para Norte-Sul gera uma fila que, dependendo do horário, é grande o suficiente para chegar à abertura planejada. Uma solução possível para este colateral seria um sinal de cruzamento (carros não podem passar por ali a menos que haja espaço para atravessar toda aquela extensão) ou um deslocamento do retorno para alguns metros à frente. A Figura 1.6 mostra uma situação hipotética em que veículos aguardando para fazer o retorno fazem uma fila grande o suficiente para bloquear a passagem dos veículos que saem da

comercial e desejam cruzar a via. A solução inicial apresentada e os problemas secundários foram melhor estudados à frente, foi aqui apenas apresentado o problema percebido e o tipo de solução a ser estudada.

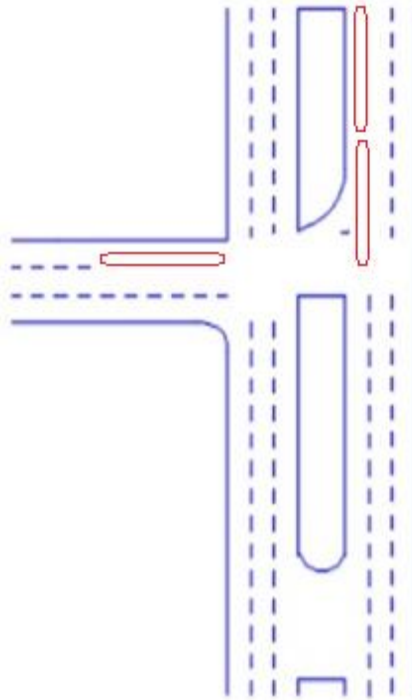


Figura 1.6: Situação hipotética em que a fila do retorno bloqueia o acesso da comercial ao sentido Sul-Norte da via L2 Norte

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

Tem-se como meta estudar o retorno da 406 Norte e compará-lo com o desempenho da interseção da 402 Norte através do método do *Highway Capacity Manual* (HCM). Espera-se que os resultados obtidos apontem uma melhoria no serviço da interseção mediante mudança da configuração atual para uma nova semelhante a do modelo do lado esquerdo da Figura 1.7. O motivo dessa alteração fica mais evidente no capítulo seguinte, que mostra o diagrama de estágios de cada uma das configurações analisadas.

A Figura 1.7 mostra a geometria dos dois retornos em questão:

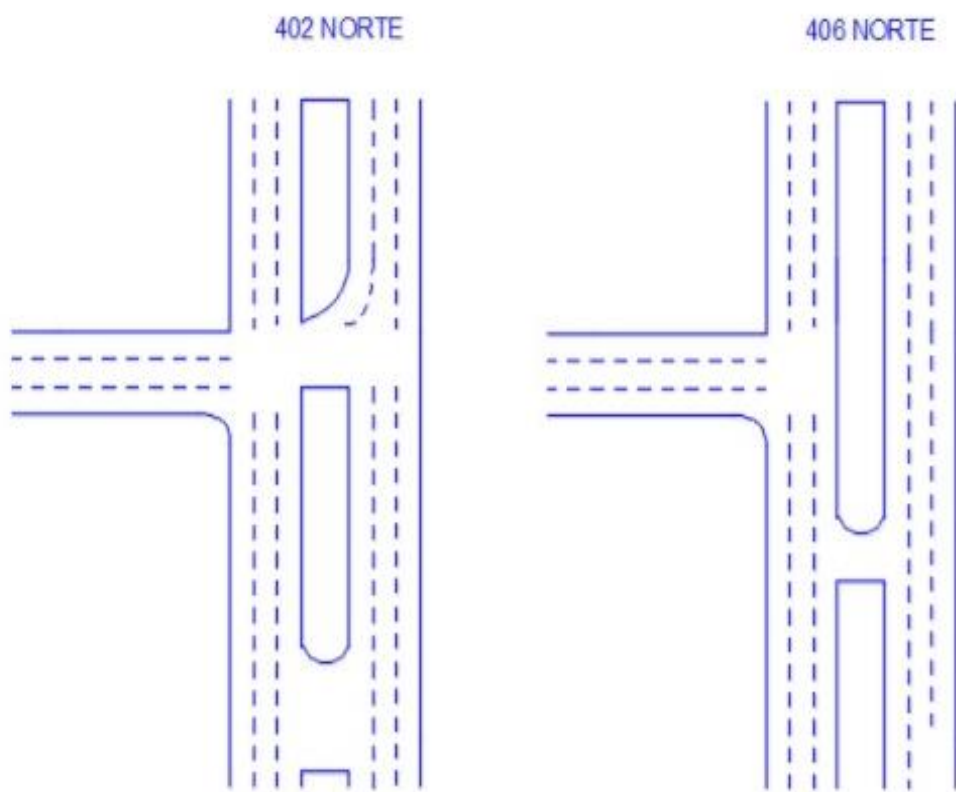


Figura 1.7: Retorno da 402 Norte/ Retorno da 406 Norte

2 COMPARAÇÃO DO RETORNO DA 406 COM O DA 402 NORTE

Antes de qualquer estudo mais aprofundado sobre a operacionalidade dos retornos estudados (tanto o que se deseja alterar quanto o que serve como referência geométrica para este), é importante fazer comparações básicas entre eles, facilitando assim o entendimento de seus funcionamentos. Serão apresentados a seguir algumas diferenças entre eles, demonstrando o porquê da escolha feita pela configuração desejada em substituição à atual.

2.1 DIAGRAMA DE ESTÁGIOS

As configurações geométricas atuais do retorno da 406 Norte fazem com que os movimentos dos veículos que passam por aquela região sejam divididos em quatro estágios, tornando aquele local um ponto de congestionamento em horário de pico devido à demora em se permitir que o movimento desejado pelo condutor seja realizado. Os movimentos citados estão representados na Figura 2.1.

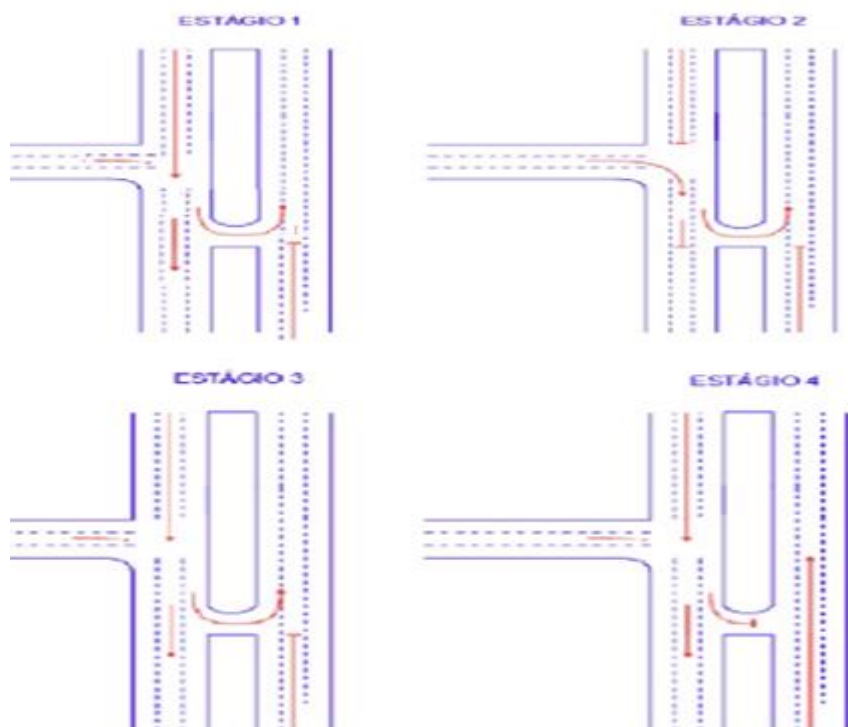


Figura 2.1: Diagrama de estágios atual do retorno da 406 Norte

Conforme está mostrado no diagrama da Figura 2.1, existe mais de um estágio necessário para que se realize uma única manobra: é necessário primeiramente acessar a faixa que possibilita o retorno, aguardar então a permissão para a conversão para somente após isso realizar o movimento desejado.

Após alterada a forma geométrica desse local, um novo diagrama de estágios deverá ser formado, semelhante ao que ocorre na quadra 402, porém com a diferença de que na quadra 406 deverá haver um tempo de passagem para pedestres. O diagrama de estágios da interseção da quadra 402 está mostrado na Figura 2.2.

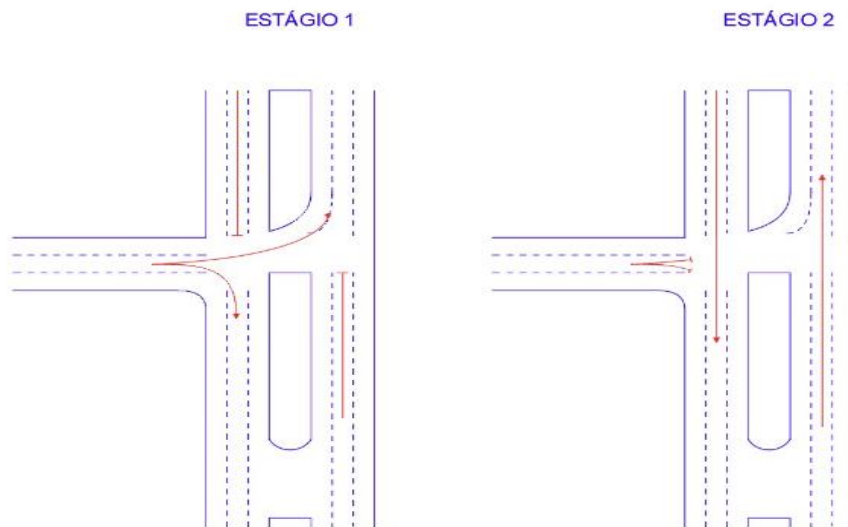


Figura 2.2: Diagrama de estágios da interseção da 402 Norte

Nesta situação existem apenas dois estágios, pois a travessia de pedestres ocorre durante o vermelho no semáforo dos veículos. No entanto, um pedestre que deseja atravessar a L2 deve fazê-lo em três momentos distintos: primeiro é realizada a travessia de um único sentido, depois ele deve atravessar o canteiro central para somente num terceiro momento completar totalmente a passagem, de forma semelhante a que ocorre nos dois primeiros estágios da configuração proposta à interseção da 406, conforme mostrado na Figura 2.3. Isto ocorre, pois, as faixas de pedestres da via L2 nesta interseção estão opostas uma à outra em relação ao canteiro central, como pode ser observado na Figura 1.5. Esta dificuldade acaba incentivando atitudes perigosas, como tentar passar correndo pela pista entre um veículo e outro, motivo pelo qual os autores desta obra sugerem que sempre seja reservado um tempo exclusivo destinado à travessia de pedestres em interseções semaforizadas deste tipo.

Uma vez que existe a necessidade de manter a faixa de pedestres naquela região da quadra 406 Norte, pois ocorre ali um grande fluxo de pessoas atravessando a via, é necessário que haja um estágio em que os veículos aguardem no semáforo fechado enquanto a travessia dos pedestres é realizada, pelos motivos apresentados anteriormente. O diagrama de estágios

esperado para a interseção na via L2 Norte na altura da quadra 406 após sua alteração geométrica pode ser observado na Figura 2.3.

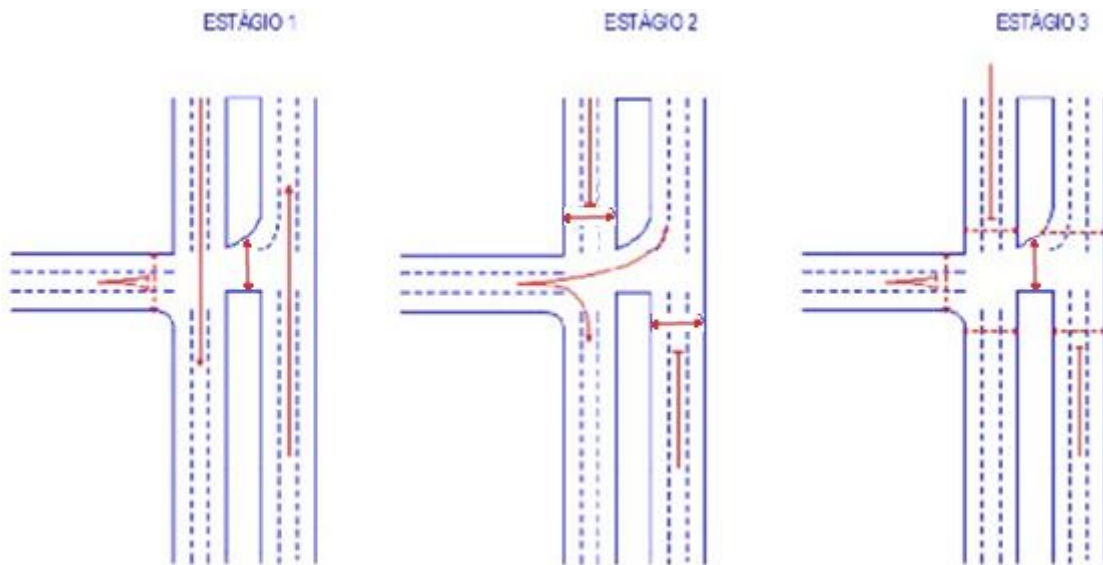


Figura 2.3: Diagrama de estágios esperado para a interseção da 406 Norte após conformação geométrica

Como a passagem de pedestres não ocorre de forma constante e o problema de congestionamento de veículos é muito maior naquela interseção, o estágio destinado à travessia de pedestres deverá ocorrer de forma atuada, ou seja, enquanto não houver a necessidade de nenhum pedestre atravessar a via, ela deverá ficar aberta para veículos o máximo de tempo possível.

2.2 SEPARAÇÃO DE MOVIMENTOS

A principal vantagem observada em se alterar a forma em que se encontra atualmente o retorno da via L2 Norte, próximo à quadra 406, é a separação de movimentos conflitantes. Permitir que veículos oriundos de acessos diferentes disputem o mesmo retorno gera um excesso de veículos tentando realizar aquele movimento acima da capacidade suportada, comprometendo toda a fluidez do tráfego. Em horários de pouca demanda este problema não acarreta graves perturbações, porém deve-se dimensionar a via para que o desempenho da mesma seja satisfatório nos horários mais críticos.

Os movimentos diretos foram privilegiados em detrimento dos outros, ou seja, ficará permitido fazer tanto a conversão de sentido quanto o prosseguimento no sentido de origem com apenas um movimento para os veículos que saem da quadra comercial. Assim sendo, os veículos que vinham originalmente seguindo pela via L2 e irão retornar, deverão ter o acesso ao retorno exclusivamente para eles, sem disputas com outros veículos e garantindo assim que não haja congestionamento do local.

3 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS INICIAIS

Após definidos os grupos de movimento da interseção e os estágios de um ciclo semafórico completo, partiu-se para as obtenções de dados primários para realização da análise. Para cada grupo de movimento foi coletado um valor de volume e um valor de fluxo de saturação.

3.1 VOLUME

As medições de volume para este trabalho foram feitas mediante observação e contagem manuais in loco nas interseções estudadas. O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito define, na página 72 de seu texto, que o período desejável de medição de dados é ao longo de um dia. Devido a limitações para adquirir o equipamento necessário para este longo período de medida (câmeras especiais para longos períodos de filmagem) ou uma equipe para auxiliar nas medidas (operadores para estas câmeras), estimou-se por observação empírica os horários de pico e as medições foram realizadas nestes. Desta forma, não será possível neste trabalho analisar as variações volumétricas ao longo de um dia, mas sim o comportamento das interseções quando são mais demandadas. De qualquer maneira, este tipo de coleta de dados não interferirá no objetivo principal desta obra: comparar as interseções reais com as propostas. Os parâmetros para comparação foram obtidos sob as mesmas condições, e, assim, devem gerar um resultado coerente, pois os resultados obtidos serão referentes ao desempenho operacional das interseções mediante as mesmas condições de tráfego, não havendo assim qualquer prejuízo à análise feita.

Esta análise expõe que as interseções, no momento em que foram analisadas, não funcionam de maneira ideal, mas vale ressaltar que as mesmas são dimensionadas para funcionar apenas de maneira aceitável durante esses horários de maior demanda, garantindo que o aspecto econômico seja atendido. Nos horários de fluxo menor e mais estável, as interseções devem funcionar de forma melhor e mais satisfatória.

A contagem de veículos deve levar em conta o fator de equivalência entre os diferentes tipos de meio de transporte, fazendo-se necessário saber a quantidade de cada tipo de veículo que foi contado. O fator de equivalência para cada tipo de meio de transporte encontra-se na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Fator de equivalência para todos tipos de veículos (DENATRAN, 2014)

Veículo	Fator de equivalência (ucp)
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão (2 eixos)	2,00
Caminhão (3 eixos)	3,00

Devido às dificuldades técnicas mencionadas, a separação entre todos os tipos de veículos conforme a Tabela 3-1 não foi realizada, foi feita apenas separação entre veículos comuns e veículos pesados, pois a porcentagem destes em relação ao total é necessária para a verificação do serviço da interseção pelo *Highway Capacity Software* (HCS).

Após o processamento dos dados pelo HCS foi possível perceber nitidamente que as interseções testadas não atingiram tal patamar considerado aceitável. Os resultados obtidos, assim como críticas e possíveis soluções encontram-se expostos à frente.

A seguir estão as quantidades de veículos, em valor absoluto, que passaram por cada aproximação, organizadas em intervalos de 15 minutos:

3.1.1 INTERSEÇÃO DA 406 NORTE

Horário de início: 18:15

Horário de término: 19:15

Data: Quinta-feira, 14 de setembro de 2017

Tabela 3-2: Volume de veículos na interseção da 406 Norte

Intervalos	Aproximação			
	Retorno	L2 sentido S-N	Comercial	L2 sentido N-S
18:15-18:30	114	479	167	248
18:30-18:45	116	460	159	244
18:45-19:00	134	339	170	242
19:00-19:15	128	370	199	221
Total:	492	1.348	695	955

3.1.2 INTERSEÇÃO DA 402 NORTE

Horário de início: 12:00

Horário de término: 13:00

Data: Quarta-feira, 6 de setembro de 2017

Tabela 3-3: Volume de veículos na interseção da 402 Norte

Intervalos	Aproximação		
	Comercial	L2 sentido S-N	L2 sentido N-S
12:00-12:15	261	317	575
12:15-12:30	209	362	533
12:30-12:45	215	309	529
12:45-13:00	221	355	415
Total:	906	1.343	2052

3.2 FLUXO DE SATURAÇÃO

Por definição, fluxo de saturação é o número máximo de veículos por hora por faixa que pode passar numa aproximação se o ciclo tiver 100% de verde para ela e o fluxo tiver demanda máxima sem interrupção, ou seja, o maior número de veículos que pode atravessar a faixa em caso de verde total. Para fazer esta medição, deve-se descontar o tempo perdido.

O valor de fluxo de saturação pode ser estimado a partir da fórmula matemática a seguir:

$$S = \frac{3600}{h} \quad (3.1)$$

Onde:

- h é o valor do *headway*, que é o tempo, em segundos, entre a passagem de 2 veículos consecutivos em uma determinada seção da via.
- S é o fluxo de saturação, dado em ucp/h.

A Figura 3.1 mostra um esquema que representa o desenvolvimento do fluxo até alcançar o valor de saturação.

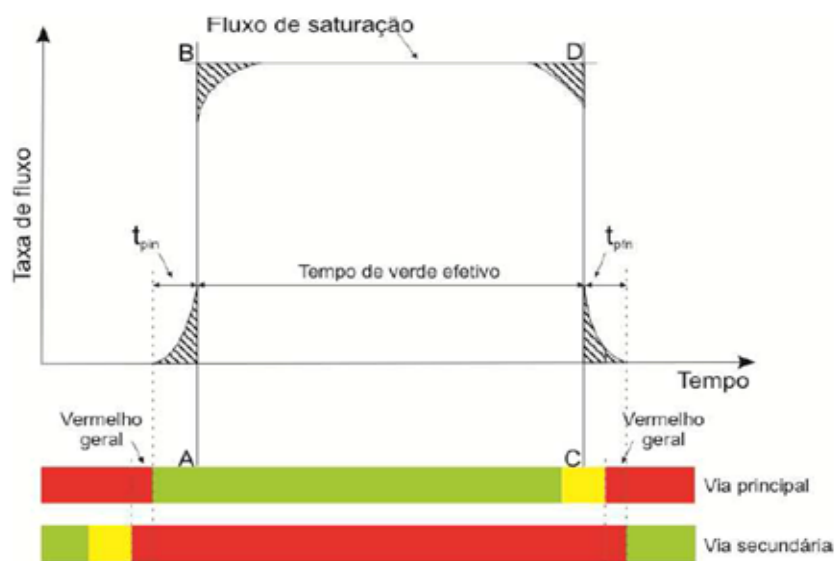


Figura 3.1: Fluxo de saturação, tempo perdido e verde efetivo (DENATRAN, 2014)

Percebe-se na Figura 3.1 que existe um intervalo entre o término do verde de um semáforo e o início do tempo de verde do outro, este intervalo é conhecido como tempo de entreverdes. O tempo de entreverdes é destinado à limpeza da interseção para evitar que seja concedida passagem de algum veículo enquanto outro de um movimento veicular conflitante ainda está em travessia. O tempo perdido total é o somatório do tempo perdido no início de verde com o tempo de entreverdes.

Segundo DENATRAN (2014), uma forma de calcular o *headway* é medindo-se o tempo gasto entre a passagem de veículos consecutivos em determinado ponto da via. Em uma aproximação de interseção semaforizada, o tempo gasto pelo primeiro veículo começa a ser contado no momento em que se inicia o verde, para os demais veículos a contagem inicia-se normalmente quando o veículo da frente atravessa o semáforo.

Os veículos localizados nas primeiras posições da fila tendem a levar um tempo maior para atravessar a seção em relação aos posicionados após eles, isso ocorre por causa dos tempos de reação do motorista à indicação luminosa e também pelo fato de que os primeiros motoristas atravessam a linha de parada da aproximação em velocidades menores que os últimos. A Figura 3.2 demonstra com mais clareza este fenômeno citado.

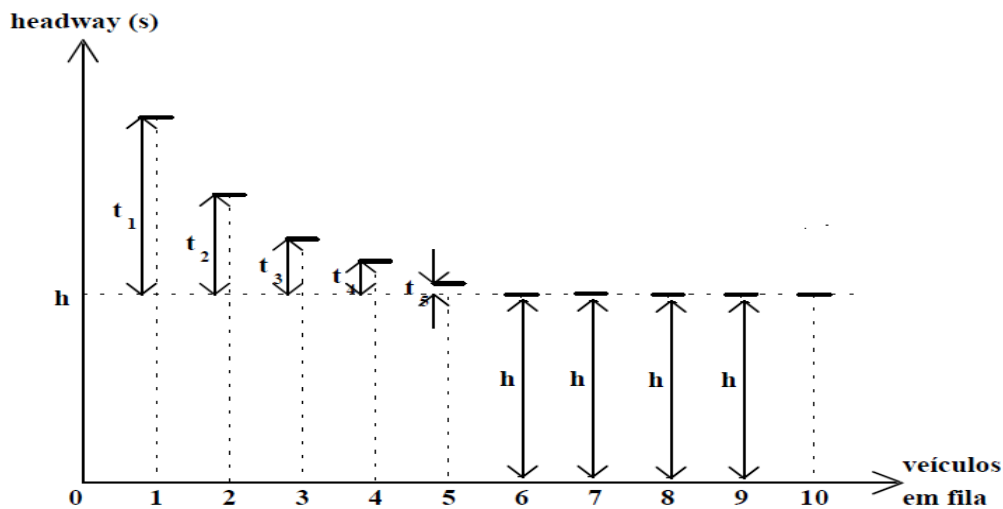


Figura 3.2: Tempo gasto entre cada veículo para atravessar o semáforo após o veículo à sua frente (modificado – SILVA, 1994)

Como pode ser percebido na imagem mostrada, o tempo gasto entre a travessia de cada veículo em relação ao imediatamente à sua frente tende a diminuir até que se estabilize em um valor, que é considerado o *headway*. O somatório das parcelas de tempo que excedem o *headway* de cada um dos primeiros veículos corresponde ao tempo perdido no início do verde.

Para realizar tais aferições e calcular esses valores desta maneira seria necessário equipamento de alta precisão, algo que não se encontrava disponível para os responsáveis por

este trabalho. A obtenção destes dados foi feita mediante ajuste pelo *Highway Capacity Software*, através da inserção de dados coletados referentes a estacionamento, largura de faixas, greide da pista, existência de parada de ônibus, estreitamento da faixa de rolamento devido à uma árvore que invade parcialmente a pista da direita, etc.

4 MÉTODO UTILIZADO

Existem diversos modelos matemáticos utilizados para obtenção da capacidade e níveis de serviço das interseções, porém as normas de trânsito brasileiras nem sempre coincidem com as normas internacionais, sendo necessário em alguns casos adotar-se correções para as especificidades de cada região.

O método usado para se determinar o desempenho das interseções foi o proposto pelo *Highway Capacity Manual* (HCM). A análise dos dados foi feita pelo programa *Highway Capacity Software*, que realiza a aplicação do método com maior facilidade e rapidez.

4.1 MÉTODO DO *HIGHWAY CAPACITY MANUAL* (HCM)

Este método foi desenvolvido pelo *Transportation Research Board* (TRB), e desde sua criação em 1950 é tido como referência mundial em capacidade viária. Os procedimentos necessários para a determinação da capacidade e nível de serviço da interseção semaforizada são divididos em cinco módulos e quatro fases:

4.1.1 FASE 1: MÓDULO DA ENTRADA DE DADOS

Neste módulo, são levados em conta condições geométricas, condições de tráfego e condições de sinalização.

4.1.2 FASE 2: MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUME E MÓDULO DE FLUXO DE SATURAÇÃO

Módulo de ajuste de volume:

Neste módulo, determina-se o volume de estudo do grupo de faixas pela divisão do volume de veículos que chega em uma hora (em ucp/h) pelo fator de hora de pico (FHP). Ainda, ajusta-se esse valor em relação ao número de faixas e ao tipo de movimento realizado neste grupo.

Módulo de fluxo de saturação:

Neste módulo, ajusta-se o valor do fluxo de saturação às várias condições de infraestrutura do grupo de faixas. São elas: número de faixas, largura das faixas, percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego, inclinação da aproximação, existência de estacionamento na via, bloqueio provocado pelas paradas de ônibus para embarque e/ou

desembarque, finalidade da área em que se localiza a interseção, manobras de giro existente no grupo de faixas (diferente para giros à esquerda e à direita).

Neste trabalho, no entanto, o fluxo de saturação foi determinado por observação em campo.

4.1.3 FASE 3: MÓDULO DE ANÁLISE DA CAPACIDADE

Neste módulo, calculam-se as capacidades de cada grupo de faixa individualmente e da interseção como um todo.

4.1.4 FASE 4: MÓDULO DE NÍVEIS DE SERVIÇO

Neste módulo, calculam-se os atrasos de cada grupo de faixa individualmente, de cada aproximação e, finalmente, da interseção como um todo. Estes valores de atraso determinarão em qual nível de serviço trabalhará a interseção, em uma escala de A a F. Na Figura 4.1 é possível ver exemplos de tráfego nas situações de Níveis de Serviço análogas às mencionadas, mas para vias de fluxo ininterrupto.

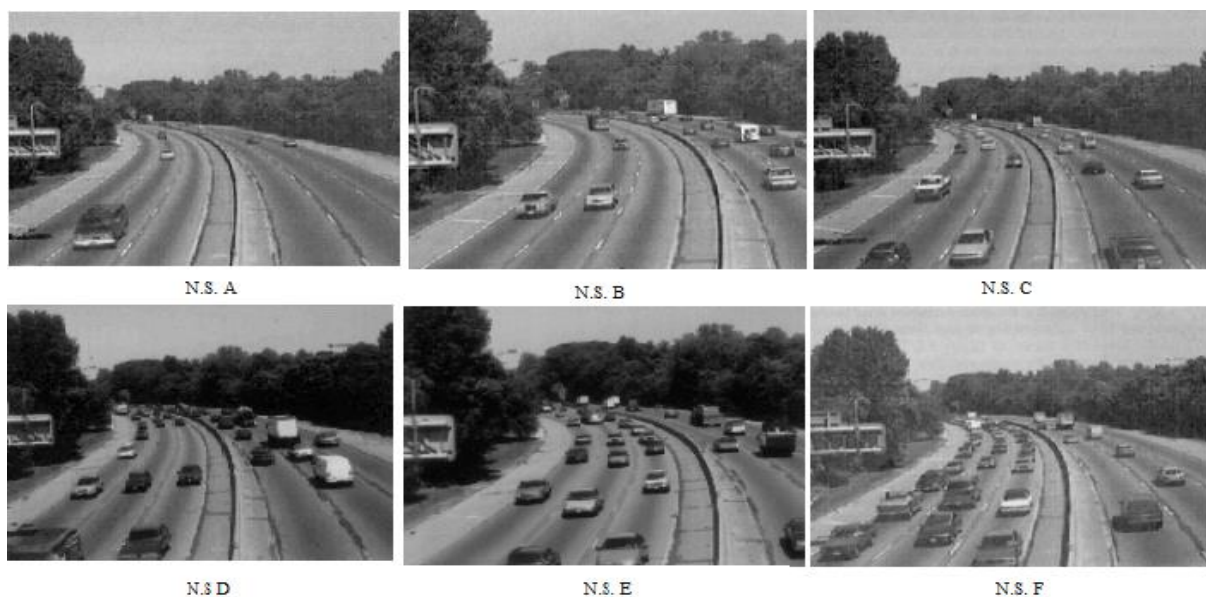


Figura 4.1: Níveis de Serviço (modificado - SILVA, 1994)

Os exemplos de níveis de serviço apresentados na Figura 4.1 são utilizados para caracterizar rodovias e não interseções semaforizadas, no entanto, por não haver representação gráfica do nível de serviço utilizado neste trabalho, utilizou-se desta imagem como analogia à informação que se deseja transmitir. Para rodovias de fluxo ininterrupto, o nível de serviço é determinado por fatores como velocidade de tráfego, liberdade para realizar manobras,

interrupções no fluxo, conforto e conveniência (TRB, 2000). No caso de interseções semaforizadas, o parâmetro adotado para a classificação das situações foi o tempo de atraso (s/veículo) de cada grupo de faixa, aproximação e interseção.

4.2 CÁLCULO DOS TEMPOS DE CICLOS SEMAFÓRICOS

Dois métodos são mais utilizados para este tipo de cálculo: método do grau de saturação máximo e método de *Webster*. Para a análise feita neste trabalho, optou-se pelo método de *Webster*, por ser mais adequado para interseções que recebem fluxo com chegadas aleatórias (DENATRAN, 2014). Esta condição foi assumida para realização de todas as etapas do estudo. Este método tem como objetivo propor um ciclo semafórico que tem como objetivo minimizar o tempo de espera veicular.

4.2.1 MÉTODO DE WEBSTER

Este método define um tempo de “ciclo ótimo” que é dado em segundos (s), pela equação a seguir:

$$t_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (4.1)$$

Onde:

- t_{co} é o tempo de ciclo ótimo, em segundos.
- T_p é o tempo perdido total, em segundos.
- y_i é a taxa de ocupação $\left(\frac{\text{Volume} \left(\frac{vel}{h} \right)}{\text{Fluxo de Saturação} \left(\frac{vel}{h} \right)} \right)$ do grupo de movimentos crítico do estágio i.
- n é o número de estágios.

Segundo DENATRAN (2014), conforme apresentado no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume 5 – Sinalização Semafórica, o método de *Webster* estabelece procedimentos de cálculo para o tempo perdido total. Neste trabalho, todavia, foram adotados os valores já praticados na via L2 e em tantas outras vias do Distrito Federal: 5 segundos de amarelo e 2 segundos de vermelho geral. Estes tempos foram adotados pois, uma mudança nos tempos de amarelo e vermelho geral requerem um processo de conscientização dos motoristas, visando evitar colisões, além disto, os tempos adotados atualmente foram considerados satisfatórios.

5 ANÁLISE DOS DADOS

Nas simulações realizadas no software HCS foram inseridos os valores reais obtidos empiricamente de quantitativo de veículos e tempo dos semáforos, além das configurações geométricas dos dois locais analisados (406 Norte e 402 Norte). Os resultados obtidos foram comparados para se saber o quão melhor é o desempenho de uma configuração em relação a outra. Foi também simulada a situação sugerida por este trabalho, para saber como irá se comportar a interseção da via L2 na 406 Norte com a nova configuração geométrica proposta, semelhante à da quadra 402.

Através de observações e manipulações no HCS foi possível perceber que pequenas alterações mais simples e de imediato emprego podem ser adotadas visando uma melhoria parcial no desempenho da interseção estudada. Apenas alterando-se o tempo de verde dos semáforos da quadra 406 Norte e mantendo-se constantes todos os demais parâmetros já ocorre uma melhoria significativa no desempenho da interseção. Um cálculo sobre um novo tempo de ciclo é necessário para uma melhoria ainda mais efetiva, porém deve ser realizado junto à mudança de configuração geométrica para obter-se assim o melhor resultado possível.

Na interseção da via L2 na quadra 402 Norte a configuração geométrica já é considerada satisfatória e não apresenta os problemas de baixa fluidez observados na quadra 406 Norte, porém uma mudança nos tempos de verde também pode ser feita nesta quadra visando melhorar ainda mais seu desempenho e sem necessitar de um trabalho oneroso. Os tempos de verde atuais não são os ideais pois estão desproporcionais à relação volume/capacidade da aproximação da interseção.

Por mais bem dimensionada que seja uma interseção, não existe uma solução permanente à demanda da mesma, pois os valores de veículos a que ela deve atender sofrem mudanças ao longo do tempo, havendo assim uma necessidade de revisão periódica dos tempos semafóricos. Uma vez que não é feita com a periodicidade necessária a verificação das mudanças de demandas no tráfego que deveriam ser feitas, foi possível observar que os valores atuais de tempos semafóricos se encontram defasados e podem sofrer alterações, visando atender melhor à demanda atual de veículos.

5.1 SITUAÇÃO ATUAL

A partir dos dados obtidos empiricamente, foram feitas análises de capacidade e atrasos por meio do programa HCS. Foram estudadas individualmente as interseções semaforizadas das quadras 402 e 406 Norte. Os dados como volume e fluxo de saturação, assim como outros

elementos necessários para a obtenção destes, foram todos medidos ou estimados até esta etapa. Os resultados dessa análise encontram-se adiante, organizados por interseção. Estão expostos também os tempos de ciclo semaforico organizados por estágios e comentários específicos para cada interseção, parte dela, ou aproximação.

5.1.1 406 NORTE

Para a análise desta interseção com o uso do software, foi necessário dividi-la em duas interseções menores e consecutivas: a interseção que contém as aproximações da pista que vem da quadra comercial e da pista da L2 Norte sentido Norte-Sul, e a interseção que contém as aproximações do retorno e a L2 no sentido Sul-Norte. Chamaremos a primeira de interseção C, e a segunda de interseção R, fazendo alusão à comercial e retorno, respectivamente. As verificações foram feitas individualmente nestes dois segmentos, causando certa dificuldade para simular-se a situação real. Este problema se deve ao fato do *software* aceitar apenas configurações geométricas clássicas, com apenas um grupo de movimento por sentido, limitando o uso do HCS de forma representativa em algumas configurações geométricas.

Alguns problemas advêm do estudo desta configuração específica por este método. Primeiramente, tanto a interseção C como a interseção R estão sendo analisadas de forma isolada, sem relação entre elas. As inter-relações percebidas mesmo com estas limitações são que os dados de volume para cada grupo de faixa foram coletados no mesmo período e a quantidade de carros que passa pela segunda interseção é, de certa forma, afetada pelo nível de serviço da primeira.

Houve uma tentativa de analisar o hiato entre ambas interseções através do módulo *Arterials* do HCS, entretanto, essa opção foi descartada por exigir uma modelagem fictícia que gerou resultados distantes da realidade. Foi decidido então que as investigações seriam feitas apenas pela ferramenta *Signals*, que apresenta resultados de capacidade e nível de serviço para cada interseção individualmente. Deve-se ter em mente que estes resultados representam apenas parcialmente a realidade, e os atrasos podem ser diferentes aos simulados, na prática.

Com essas peculiaridades levadas em conta, simularam-se ambas interseções no software HCS. O memorial de cálculo e os resultados detalhados para essas interseções podem ser encontrados nos apêndices A1 e A2, respectivamente. Nas tabelas 5.1 e 5.2 e nas figuras 5.1 e 5.2 a seguir estão dispostos os resultados de capacidade e nível de serviço das interseções, em formato resumido:

Tabela 5-1: Tempo de ciclo semafórico da interseção C da 406 Norte

INTERSEÇÃO C	Estágio 1	Estágio 2
t de verde (s)	16	57
t de amarelo (s)	5	5
t de vermelho geral (s)	2	2
Tempo de ciclo total (s)	87	

RESULTS											
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound		
R						T					
Lane Group Adjusted Volume, (vph)											
0	0	695	0	0	0	0	0	0	0	955	0
Lane Group Capacity, (vph)											
753						3096					
Lane Group v/c Ratio											
0.92						0.31					
Critical Lane Group											
#						#					
Lane Group Delay, (sec/veh)											
60.8						6.7					
Lane Group Level of Service											
E						A					
Final Unmet Demand, (v)											
0.0						0.0					
Approach Delay, (sec/veh)											
60.8						6.7					
Approach Level of Service											
E						A					
Cycle Length 87.0 sec Intersection Delay 29.5 sec/veh Intersection LOS C											

Figura 5.1: Desempenho atual simplificado da interseção C

Tabela 5-2: Tempo de ciclo semafórico da interseção R da 406 Norte

INTERSEÇÃO R	Estágio 1	Estágio 2
t de verde (s)	21	52
t de amarelo (s)	5	5
t de vermelho geral (s)	2	2
Tempo de ciclo total (s)	87	

RESULTS																																									
Eastbound						Westbound						Northbound						Southbound																							
L												T																													
Lane Group Adjusted Volume, (vph)																																									
491						0						0						0																							
Lane Group Capacity, (vph)																																									
490												3313																													
Lane Group v/c Ratio																																									
1.00												0.51																													
Critical Lane Group																																									
#												#																													
Lane Group Delay, (sec/veh)																																									
115.8												10.8																													
Lane Group Level of Service																																									
F												B																													
Final Unmet Demand, (v)																																									
1.0												0.0																													
Approach Delay, (sec/veh)																																									
115.8												10.8																													
Approach Level of Service																																									
F												B																													
Cycle Length																																									
86.0						sec						Intersection Delay						34.3						sec/veh						Intersection LOS						C					

Figura 5.2: Desempenho atual simplificado da interseção R

Como pode ser visto nos quadros, a situação atual não é boa. Apesar das aproximações localizadas na L2 funcionarem satisfatoriamente, as aproximações EB apresentam atrasos altíssimos. A aproximação EB da interseção R, principalmente, está em condição de capacidade máxima ($v/c = 1$) e apresenta o pior nível de serviço possível. A condição da aproximação EB da interseção C, apesar de não aparentar ser tão deficiente quanto a do retorno pela análise do software, é, possivelmente, até mais precária. O atraso de início de fluxo ao ser dado verde para esta aproximação não foi representado no relatório do HCS, pois todas as tentativas feitas para emular este fenômeno geraram resultados incompatíveis com a realidade. Preferiu-se, então, apenas usar os dados para uma condição onde não há retenção, mas relatar que muito facilmente há saturação da faixa do retorno, que causa o problema descrito acima.

5.1.2 402 NORTE

A interseção observada na quadra 402 apresenta a configuração geométrica que se considera como modelo para este trabalho, por acreditar-se ser melhor que a observada na quadra 406, o que não significa, no entanto, que a interseção não apresenta problemas. Como mencionado anteriormente, toda interseção semaforizada deve ter seu ciclo semafórico verificado com uma certa periodicidade, visando adequar seu funcionamento à demanda atual.

Foi feita uma análise do desempenho desta interseção através do HCS e constatou-se que a mesma está operando aquém do esperado. Na Tabela 5-3 e na Figura 5.3 encontram-se o resultado da capacidade e níveis de serviço obtido fornecidos pelo HCS. O relatório completo desta análise encontra-se no apêndice A3 deste trabalho.

Tabela 5-3: Tempo de ciclo semafórico da interseção da 402 Norte

INTERSEÇÃO	Estágio 1	Estágio 2
t de verde (s)	31	50
t de amarelo (s)	5	5
t de vermelho geral (s)	2	2
Tempo de ciclo total (s)	95	

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
L	LR	R				T			T			
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
126	151	381	0	0	0	0	1950	0	0	1298	0	
Lane Group Capacity, (vph)												
480	514	423				2487			2487			
Lane Group v/c Ratio												
0.26	0.29	0.90				0.78			0.52			
Critical Lane Group												
		#					#					
Lane Group Delay, (sec/veh)												
24.9	25.3	63.2				20.8			15.5			
Lane Group Level of Service												
C	C	E				C			B			
Final Unmet Demand, (v)												
0.0	0.0	0.0				0.0			0.0			
Approach Delay, (sec/veh)												
		47.2					20.8		15.5			
Approach Level of Service												
		D					C		B			
Cycle Length	95.0	sec	Intersection Delay			23.5	sec/veh	Intersection LOS			C	

Figura 5.3: Desempenho atual da interseção da Quadra 402 Norte

O resultado encontrado está melhor que o obtido para a interseção da quadra 406, no entanto, fica claro que o desempenho poderia ser melhor. Esta melhoria pode ser feita de forma mais simples que a sugerida para a interseção da 406 Norte, ou seja, sem mudança de configuração geométrica. Por já apresentar configuração satisfatória, a forma de se alcançar um desempenho melhor para esta interseção é apenas calculando-se um novo tempo de ciclo semafórico que seja condizente com a necessidade atual da interseção.

6 PROPOSTA DE MELHORIA DO NÍVEL DE SERVIÇO POR ALTERAÇÃO DO CICLO SEMAFÓRICO NA QUADRA 406 NORTE – MÉTODO DE WEBSTER

Buscou-se saber em um primeiro momento se a condição atual melhoraria e medir o quanto isso ocorreria caso fosse calculado um novo ciclo semafórico para as interseções. Esses novos ciclos foram calculados para a situação de horário de pico com os valores reais de demanda para esta situação.

A seguir, estão dispostos os resultados de capacidade e nível de serviço obtidos com os novos ciclos calculados, assim como os grupos de movimentos que foram admitidos em cada estágio, e ainda, comentários sobre particularidades de cálculo de cada interseção. Os resultados obtidos são decorrentes do uso dos dados coletados em campo aplicados à equação (4.1).

A proposta de otimização de ciclo pelo método de *Webster* para esta interseção necessitou do uso dos mesmos artifícios usados para adaptá-la ao HCS.

6.1 INTERSEÇÃO C

Os grupos de movimento para cada estágio desta interseção estão representados na Figura 6.1.



Figura 6.1: Grupos de movimento da interseção C divididos por estágio

Em posse dos dados de volume e fluxo de saturação, e sabendo que T_p para todas interseções da L2 é de 7s por estágio, tem-se que o t_{co} para esta interseção é de 41 segundos. Estes divididos em 12 segundos de verde para o estágio 1, 15 segundos de verde para o estágio 2, e 14 segundos de tempo perdido total.

6.2 INTERSEÇÃO R

Os grupos de movimento para cada estágio desta interseção estão representados na Figura 6.2.



Figura 6.2: Grupos de movimento da interseção R divididos por estágio

Analogamente, foi calculado t_{co} pela equação (4.1) e obteve-se um ciclo ótimo de 58 segundos de duração. Destes 58 segundos, 19 serão de verde do estágio 1, 25 de verde do estágio 2, e 14 de tempo perdido total.

6.3 INTERSEÇÃO C + R

Como era esperado, o tempo de ciclo ótimo obtido foi diferente para cada interseção. Estes ciclos, porém, não podem ocorrer na prática, pois essas interseções trabalham em conjunto. Portanto, houve a necessidade de se estimar um ciclo que funcionasse satisfatoriamente para ambos segmentos. A solução escolhida, a priori, foi calcular a média aritmética de ambos os ciclos e aplicar o resultado como ciclo vigente para ambas interseções. Neste novo ciclo, seriam preservadas as taxas de verde das aproximações consideradas críticas em C e em R.

Levando em contas essas observações, foram criados novos ciclos:

Tabela 6-1: Tempos do ciclo da interseção C

INTERSEÇÃO C	Estágio 1	Estágio 2
Verde	14 segundos	21 segundos
Tempo perdido total	14 segundos	
Tempo de ciclo total	49 segundos	

Tabela 6-2: Tempos do ciclo da interseção R

INTERSEÇÃO R	Estágio 1	Estágio 2
Verde	16 segundos	19 segundos
Tempo perdido total	14 segundos	
Tempo de ciclo total	49 segundos	

6.3.1 INTERSEÇÃO C + R (CORREÇÃO)

Apesar deste novo ciclo aparentar ser satisfatório, e apresentar bons resultados de capacidade e nível de serviço no HCS, ele ainda não leva em conta o fator mais importante

nesta interseção: A retenção de veículos na aproximação do retorno por conta da fácil saturação da faixa do retorno.

A solução proposta foi adicionar 3 segundos de verde ao estágio 1 da interseção R, de forma que este tenha início 5 segundos antes do estágio 1 da interseção C, a fim de permitir um escoamento maior dos veículos retidos ali. Estes 3 segundos adicionados ao ciclo foram todos adicionados ao estágio 2 da interseção C, pois é interessante que o fluxo ao longo da via L2 seja mais fluido, e, ainda, para manter os 14 segundos em que ambos os estágios 1 estarão em sincronia.

O novo ciclo, após esta segunda correção, será composto desta forma:

Tabela 6-3: Tempos do ciclo da interseção C (correção)

INTERSEÇÃO C (correção)	Estágio 1	Estágio 2
Verde	14 segundos	24 segundos
Tempo perdido total	14 segundos	
Tempo de ciclo total	52 segundos	

Tabela 6-4: Tempos do ciclo da interseção R (correção)

INTERSEÇÃO R (correção)	Estágio 1	Estágio 2
Verde	19 segundos	19 segundos
Tempo perdido total	14 segundos	
Tempo de ciclo total	52 segundos	

6.4 RESULTADOS: ANÁLISE PELO HCS

Foi analisada a interseção da 406 Norte através do HCS com os tempos de ciclo calculados pelo método de *Webster*. Os resultados obtidos serão mostrados a seguir. O relatório completo obtido pelo HCS para estas interseções estão nos apêndices A4 e A5.

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
R						T						
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
0	0	695	0	0	0	0	0	0	0	955	0	
Lane Group Capacity, (vph)												
1102						2181						
Lane Group v/c Ratio												
0.63						0.44						
Critical Lane Group												
#						#						
Lane Group Delay, (sec/veh)												
19.7						10.1						
Lane Group Level of Service												
B						B						
Final Unmet Demand, (v)												
0.0						0.0						
Approach Delay, (sec/veh)												
19.7						10.1						
Approach Level of Service												
B						B						
Cycle Length	52.0	sec	Intersection Delay			14.1	sec/veh	Intersection LOS			B	

Figura 6.3: Desempenho simplificado esperado para a interseção C mediante mudança de ciclo semafórico

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
L						T						
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
491	0	0	0	0	0	0	1706	0	0	0	0	
Lane Group Capacity, (vph)												
733						2041						
Lane Group v/c Ratio												
0.67						0.84						
Critical Lane Group												
#						#						
Lane Group Delay, (sec/veh)												
18.8						19.5						
Lane Group Level of Service												
B						B						
Final Unmet Demand, (v)												
0.0						0.0						
Approach Delay, (sec/veh)												
18.8						19.5						
Approach Level of Service												
B						B						
Cycle Length	52.0	sec	Intersection Delay			19.3	sec/veh	Intersection LOS			B	

Figura 6.4: Desempenho simplificado esperado para a interseção R mediante mudança de ciclo semafórico

6.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS: DESEMPENHO DA INTERSEÇÃO C+R DA 406 NORTE

Como se pode perceber comparando os relatórios deste novo ciclo, com os relatórios do ciclo atual, houve uma melhora significativa no funcionamento do conjunto, com grande melhoria no nível de serviço das aproximações mais prejudicadas, e apenas um pequeno acréscimo no atraso das aproximações da via L2, que já funcionavam de forma muito satisfatória. A aproximação EB da interseção C obteve uma grande redução em seu atraso, de 60.8 segundos para apenas 19.7, ao passo que o atraso da aproximação SB subiu apenas 3.4 segundos, de 6.7 para 10.1. A interseção R apresentou uma formidável melhoria em sua aproximação EB, com uma queda de 97 segundos no seu atraso por veículo, e apenas um acréscimo de 8.7 segundos na aproximação NB. Ao final desta proposta, todas as aproximações estão funcionando em nível de serviço B, que é excelente para horários de pico.

Por fim, deve-se lembrar que, apesar de previstos os 5 segundos adicionais para o escoamento de veículos na fila da aproximação EB da interseção R, não é possível constatar que o sistema real iria funcionar de acordo com o simulado. Novamente, a análise por este *software* é, em vários aspectos, limitada por sua rigidez na manipulação geométrica das interseções. Todavia, é muito provável que apenas esse ajuste no ciclo semafórico causaria uma melhoria significativa na fluidez da região afetada pelas interseções.

A Figura 6.5 apresenta os novos estágios, junto com suas durações. T_p é o tempo perdido total, e t_i é o tempo de início do respectivo estágio:

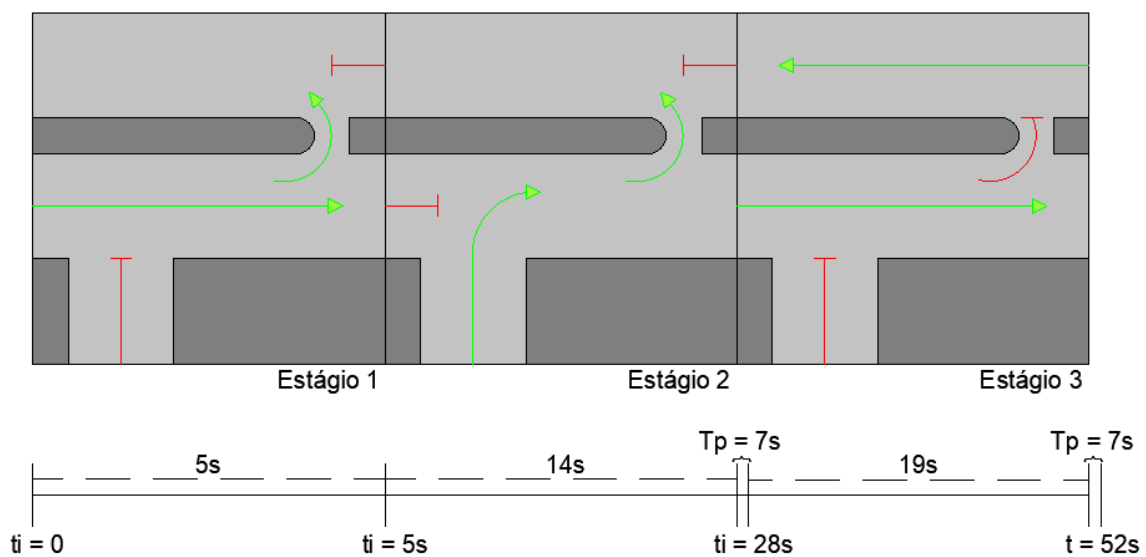


Figura 6.5: Diagrama de estágios esperado para a interseção da 406 Norte após mudança de ciclo

7 PROPOSTA DE MELHORIA DE DESEMPENHO POR MUDANÇA DE CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA NA QUADRA 406 NORTE

Essa proposta é composta pela substituição da configuração geométrica vigente pela configuração geométrica da 402 Norte e pela proposição de um novo ciclo semafórico compatível. Essa sugestão alia o bom funcionamento obtido pelo recálculo dos ciclos semafóricos pelo método de *Webster* com a solução para o problema da retenção de veículos oriundos da aproximação EB da interseção C.

Para possibilitar este estudo, foi necessário realizar a conversão dos volumes de cada grupo de movimento atual para atender aos novos grupos propostos. Para isso, foram medidos quantos veículos da interseção C buscavam cruzar a via L2. Esse valor representa, na nova configuração, dois fatores: o volume de veículos que realizará o giro à esquerda, buscando cruzar a via L2 a partir da quadra comercial, e, ainda, o volume de veículos que terá que realizar a conversão no próximo retorno.

Foi feita a proposta de um ciclo semafórico para esta nova interseção, também calculado pelo método de *Webster*. A única peculiaridade desta etapa foi ao eleger o valor de taxa de ocupação do estágio 2. Como o HCS demonstra os valores de fluxo de saturação por grupo de faixas, e não por grupo de movimentos, houve duas opções para o dimensionamento: usar o somatório dos volumes e o somatório dos fluxos de saturação dos grupos de faixa, ou selecionar o grupo de faixa com taxa de ocupação mais crítica e usá-lo. Foi determinado que seria usada a segunda opção, pois, desta forma, o pior atraso que poderia ocorrer na interseção estaria sendo mais relevante para o dimensionamento do ciclo semafórico. Os valores de volume e fluxo de saturação para cada interseção estão dispostos ao final do trabalho, nos apêndice A6.

A seguir, estão os grupos de movimento propostos por estágio e o volume de veículos por movimento na nova interseção. Os grupos de movimento em verde são aqueles que têm fluxo liberado no respectivo estágio:



Figura 7.1: Grupos de movimento da interseção da 406 Norte após conformação geométrica






Movimentos	Volumes (ucp/h)
	192
	203
	360
	1465
	879

Figura 7.2: Volume de veículos por movimento da interseção da 406 Norte após conformação geométrica

Os últimos dois movimentos representam integralmente GM2 e GM1, respectivamente. Os três primeiros movimentos fazem parte de GM3, e cada um representa uma faixa da aproximação EB. Não disposto no quadro, ainda há o número de veículos que não conseguirá realizar a mudança de sentido na via L2: 146 ucp/h. A expectativa é de que esta taxa de fluxo adicional ao próximo retorno não cause congestionamentos, pois esse não é muito demandado atualmente, e possui um funcionamento satisfatório. O croqui da Figura 7.3 representa esta transferência de fluxo mencionada. O quadrado em azul representa a região da interseção C + R, a seta em cor amarela representa o direcionamento do fluxo de veículos para o próximo retorno, e a seta branca no canto superior esquerdo indica a posição do Norte.

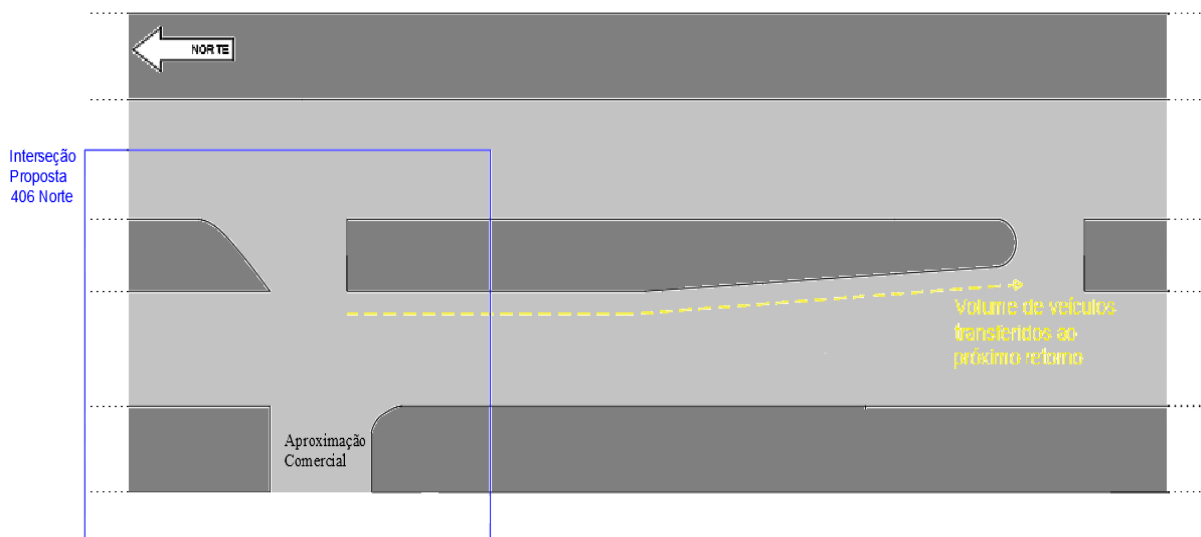


Figura 7.3: Transferência de fluxo de veículos para o retorno seguinte

7.1 RESULTADOS: ANÁLISE PELO HCS

Foi analisada a interseção da 406 Norte com a nova configuração geométrica através do HCS com o tempo de ciclo calculado pelo método de *Webster* igual a 54 segundos. O resultado obtido está disposto na Figura 7.4.

RESULTS												
Eastbound			Westbound			Northbound			Southbound			
L	LR	R				T			T			
Lane Group Adjusted Volume, (vph)												
203	192	360	0	0	0	0	1465	0	0	879	0	
Lane Group Capacity, (vph)												
528	607	500					1917			1917		
Lane Group v/c Ratio												
0.38	0.32	0.72					0.76			0.46		
Critical Lane Group												
		#					#					
Lane Group Delay, (sec/veh)												
15.2	14.1	23.9					17.3			13.1		
Lane Group Level of Service												
B	B	C					B			B		
Final Unmet Demand, (v)												
0.0	0.0	0.0					0.0			0.0		
Approach Delay, (sec/veh)												
		19.1					17.3			13.1		
Approach Level of Service												
		B					B			B		
Cycle Length			Intersection Delay			Intersection LOS			B			
54.0 sec			16.5 sec/veh			B						

Figura 7.4: Desempenho simplificado esperado para a interseção da 406 Norte após mudança de configuração geométrica

Como pode ser percebido analisando o resultado mostrado na Figura 7.4, o desempenho esperado para a interseção da comercial da 406 com a via L2 Norte após conformação geométrica é bastante satisfatório, pois o nível de serviço esperado para a interseção é superior ao que ocorre atualmente. É prudente, portanto, concluir que a solução proposta por este trabalho foi bem-sucedida à luz dos conhecimentos aplicados no âmbito da Engenharia de Tráfego.

O nível de serviço geral “B” encontrado é muito bom, mas uma observação deve ser feita em relação ao giro realizado à direita pelos veículos que saem da quadra comercial pela

faixa da direita. O nível de serviço esperado deste único movimento é “C”, resultado também satisfatório, porém inferior ao encontrado para os outros movimentos. Este desempenho é resultado de medidas consideradas necessárias para solucionar o problema do retorno, que apresentava fluidez muito mais grave.

7.2 MELHORIA NO NÍVEL DE SERVIÇO DA FAIXA DA DIREITA DA SAÍDA DA QUADRA COMERCIAL DA 406 NORTE.

Existe uma maneira de melhorar o desempenho da faixa da direita sem qualquer prejuízo para os demais veículos: deixar o giro livre à direita na saída da comercial.

Os veículos das faixas da esquerda e do meio em nada serão prejudicados com essa medida, já os da direita serão beneficiados. Caso o semáforo esteja aberto, o giro à direita e demais movimentos continuarão da forma que foi planejada, mas em caso de semáforo vermelho, os veículos da faixa da direita poderão ser beneficiados caso as condições da via L2 permitam que eles acessem a via, liberando espaço na saída da comercial.

Esta hipótese surgiu devido à observação de que ao longo da via L2, exceto pela interseção da via L2 com a CLN 402/403 (que serviu como modelo para este trabalho) e pela interseção da via com a CLN 406/407 (objeto de estudo deste trabalho, por apresentar o pior desempenho), todas as outras interseções são não semaforizadas no retorno, permitindo que veículos que saem da quadra comercial e não desejam acessar o retorno não tenham seu deslocamento retido enquanto aguardam o semáforo. Como a solução apresentada para a interseção da quadra 406 não envolve a retirada de semáforo, a forma de conciliar este benefício com a configuração proposta foi deixar o giro livre à direita para os veículos da faixa da direita.

Em muitos países o giro à direita é considerado permitido a menos que haja sinalização contrária, o que não ocorre no Brasil. Aqui seria necessária uma sinalização que conceda esse movimento para que este seja permitido. Em Brasília existem alguns pontos em que isto é permitido, e percebe-se um desempenho muito bom nestes locais.

8 CONCLUSÕES

As considerações feitas ao longo deste trabalho levam a crer que a substituição da configuração atual do retorno existente próximo à 406 Norte na via L2 irá desafogá-lo e proporcionar melhor desempenho aos usuários.

A Tabela 8-1 apresenta, de forma resumida, os níveis de serviço de cada aproximação das interseções para cada determinada situação:

Tabela 8-1: Níveis de serviço das aproximações da quadra 406 Norte

	Níveis de Serviço		
	Aproximação EB	Aproximação NB	Aproximação SB
Interseção C (Atual)	E		A
Interseção R (Atual)	F	B	
Interseção C (Mudança de ciclo)	B		B
Interseção R (Mudança de ciclo)	B	B	
Interseção (Nova geometria)	B	B	B

Uma vez realizada a referida alteração e havendo sucesso, esta solução poderá ser implementada em outros pontos de conflito semelhantes do bairro Asa Norte da cidade de Brasília, utilizando modelos matemáticos que permitam a aplicação do método em larga escala.

A interseção modelo da quadra 402 Norte também encontra seu tempo de ciclo defasado, apesar de seu desempenho satisfatório, levando a concluir que pode apresentar um nível de serviço ainda melhor. Vale ressaltar que a principal preocupação deste trabalho foi solucionar o conflito observado na quadra 406 Norte para, após verificada sua eficácia, possibilitar sua aplicação às demais quadras com problemas semelhantes.

Surgiu a possibilidade de adotar um tempo de ciclo semaforico que servisse para ambas as interseções, devido à proximidade de valores entre elas, e usar este valor ao longo das diversas outras interseções ao longo da via L2 Norte, possibilitando assim a adoção de uma “onda verde”. Para que este fenômeno seja possível, todos os ciclos semaforicos devem ser

exatamente iguais, o que não significa que devam funcionar com tempos de verde, amarelo e vermelho ocorrendo simultaneamente. Deve-se levar em conta o tempo que um veículo leva para trafegar de um ponto ao outro e utilizá-lo como referência para a defasagem entre o início do verde de um semáforo e outro. Essa ideia não foi aprofundada neste trabalho por não se tratar do objetivo principal do mesmo, porém fica aqui registrada a possibilidade da aplicação desta ideia para que sirva de sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENATRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volume V – Sinalização Semafórica.** Departamento Nacional de Trânsito. Brasil, 2014

LUNA, M. S. (2003). Sobre o Fluxo de Saturação: **Conceituação, Aplicação, Determinação e Variação.** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 132 fl.

MONDEGO, Paulo. **Imagem que explica endereços de Brasília gera mais de 6 mil compartilhamentos.** Disponível em: <<http://noticias.r7.com/distrito-federal/noticias/imagem-que-explica-enderecos-de-brasilia-gera-repercussao-no-facebook-20120523.html>> Acesso em 26 de novembro de 2017.

QUEIROZ, I. N. F. ; JACQUES, M. A. P.. **Modelo para estimativa do fluxo de saturação desenvolvido a partir das condições do tráfego de Brasília.** Transportes (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p. 29-48, 2002.

R7. **Nova imagem com endereços de Brasília circula pelo Facebook.** Disponível em: <<http://noticias.r7.com/distrito-federal/noticias/nova-imagem-com-enderecos-de-brasilia-circula-pelo-facebook-20120523.html>> Acesso em : 26 de novembro de 2017.

SILVA, P. C. M. **Análise de capacidade de interseções em nível** – Apostila, Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 1994.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual.** TRB, 2000.

A1 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – COMERCIAL

FULL REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst Agency or Co. Date Performed 30/10/2017 Time Period						Intersection Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year						
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume (vph)			695									955
% Heavy Veh			0									5
PHF			1.00									1.00
Actuated (P/A)			P									P
Startup Lost Time			2.0									2.0
Extension of Effective Green			2.0									2.0
Arrival Type			3									3
Unit Extension			3.0									3.0
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0	0	0	0		0	0		0	0	0
Lane Width			11.2									11.2
Parking (Y or N)	Y		N	N		N	N		N	N		N
Parking/Hour	15											
Bus Stops/Hour			0									0
Pedestrian Timing			3.2			3.2			3.2			3.2
Timing	EB Only	02	03	04	SB Only	06	07	08				
	G = 16.0	G =	G =	G =	G = 57.0	G =	G =	G =				
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =				
Duration of Analysis (hrs) = 1.00						Cycle Length C = 87.0						

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume			695								955	
PHF			1.00								1.00	
Adjusted Flow Rate			695								955	
Lane Group			R								T	
Adjusted Flow Rate			695								955	
Proportion of LT or RT		--	1.000		--			--			--	0.000
Saturation Flow Rate												
Base Satflow			1900								1900	
Number of Lanes			3								3	
f_w			0.973								0.973	
f_{HV}			1.000								0.952	
f_a			1.015								0.985	
f_b			0.942								1.000	
f_{bb}			1.000								1.000	
f_s			1.000								1.000	
f_{LU}			0.908								0.908	
f_{LT}			--			--			--		1.000	--
Secondary f_{LT}			--			--			--			--
f_{RT}	--		0.850	--			--			--	1.000	
f_{Lpb}			--			--			--		1.000	--
f_{Rpb}	--		1.000	--			--			--	1.000	
Adjusted Satflow			4093								4726	
Secondary Adjusted Satflow			--			--			--			--

CAPACITY AND LOS WORKSHEET									
General Information									
Project Description									
Capacity Analysis									
	EB		WB		NB		SB		
Lane Group		R							T
Adjusted Flow Rate		695							955
Satflow Rate		4093							4726
Lost Time		2.0							2.0
Green Ratio		0.18							0.66
Lane Group Capacity		753							3096
v/c Ratio		0.92							0.31
Flow Ratio		0.17							0.20
Critical Lane Group		Y							Y
Sum Flow Ratios	0.37								
Lost Time/Cycle	14.00								
Critical v/c Ratio	0.44								
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination									
	EB		WB		NB		SB		
Lane Group		R							T
Adjusted Flow Rate		695							955
Lane Group Capacity		753							3096
v/c Ratio		0.92							0.31
Green Ratio		0.18							0.66
Uniform Delay d_1		35.0							6.5
Delay Factor k		0.50							0.50
Incremental Delay d_2		24.4							0.3
PF Factor		1.000							1.000
Control Delay		60.8							6.7
Lane Group LOS		E							A
Approach Delay	60.8								6.7
Approach LOS	E								A
Intersection Delay	29.5		Intersection LOS						C

A2 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – RETORNO

FULL REPORT													
General Information							Site Information						
Analyst Agency or Co. Date Performed 30/10/2017 Time Period							Intersection Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year						
Intersection Geometry													
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;">Grade = 0</div> <div style="text-align: center;">Grade = 0</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin: 20px 0;"> <div style="text-align: left;">1 ↗</div> <div style="text-align: center;">↑</div> <div style="text-align: right;">3</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;">Grade = 0</div> <div style="text-align: center;">Grade = 0</div> </div>													
Volume and Timing Input													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Volume (vph)	491							1706					
% Heavy Veh	2							5					
PHF	1.00							1.00					
Actuated (P/A)	P							P					
Startup Lost Time	2.0							2.0					
Extension of Effective Green	2.0							2.0					
Arrival Type	3							3					
Unit Extension	3.0							3.0					
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0		0	0		0	0		0	0		
Lane Width	16.0							16.0					
Parking (Y or N)	N		N	N		N	N		N	N		N	
Parking/Hour													
Bus Stops/Hour	0							0					
Pedestrian Timing	3.2			3.2			3.2			3.2			
	EB Only	02	03	04	NB Only	06	07	08					
Timing	G = 21.0	G =	G =	G =	G = 51.0	G =	G =	G =					
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =					
Duration of Analysis (hrs) = 1.00							Cycle Length C = 86.0						

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume	491							1706				
PHF	1.00							1.00				
Adjusted Flow Rate	491							1706				
Lane Group	L							T				
Adjusted Flow Rate	491							1706				
Proportion of LT or RT		--			--			--	0.000		--	
Saturation Flow Rate												
Base Satflow	1900							1900				
Number of Lanes	1							3				
f_w	1.133							1.133				
f_{HV}	0.980							0.952				
f_a	1.000							1.000				
f_b	1.000							1.000				
f_{bb}	1.000							1.000				
f_s	1.000							1.000				
f_{LU}	1.000							0.908				
f_{LT}	0.950		--			--		1.000	--			--
Secondary f_{LT}			--			--			--			--
f_{RT}	--			--			--	1.000		--		
f_{Lpb}	1.000		--			--		1.000	--			--
f_{Rpb}	--			--			--	1.000		--		
Adjusted Satflow	2006							5586				
Secondary Adjusted Satflow			--			--			--			--

CAPACITY AND LOS WORKSHEET										
General Information										
Project Description										
Capacity Analysis										
	EB			WB			NB			SB
Lane Group	L						T			
Adjusted Flow Rate	491						1706			
Satflow Rate	2006						5586			
Lost Time	2.0						2.0			
Green Ratio	0.24						0.59			
Lane Group Capacity	490						3313			
v/c Ratio	1.00						0.51			
Flow Ratio	0.24						0.31			
Critical Lane Group	Y						Y			
Sum Flow Ratios	0.55									
Lost Time/Cycle	14.00									
Critical v/c Ratio	0.66									
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination										
	EB			WB			NB			SB
Lane Group	L						T			
Adjusted Flow Rate	491						1706			
Lane Group Capacity	490						3313			
v/c Ratio	1.00						0.51			
Green Ratio	0.24						0.59			
Uniform Delay d_1	32.5						10.3			
Delay Factor k	0.50						0.50			
Incremental Delay d_2	83.3						0.6			
PF Factor	1.000						1.000			
Control Delay	115.8						10.8			
Lane Group LOS	F						B			
Approach Delay	115.8						10.8			
Approach LOS	F						B			
Intersection Delay	34.3			Intersection LOS						C

A3 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 402 NORTE

Full Report

Page 1 of 3

FULL REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst Agency or Co. <i>UnB</i> Date Performed <i>30/10/2017</i> Time Period						Intersection Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year						
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume (vph)	204		454					1950				1298
% Heavy Veh	2		2					5				5
PHF	1.00		1.00					1.00				1.00
Actuated (P/A)	<i>P</i>		<i>P</i>					<i>P</i>				<i>P</i>
Startup Lost Time	2.0	2.0	2.0					2.0				2.0
Extension of Effective Green	2.0	2.0	2.0					2.0				2.0
Arrival Type	3	3	3					3				3
Unit Extension	3.0	3.0	3.0					3.0				3.0
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0	0	0	0			0	0			0
Lane Width	11.2	11.2	11.2					11.2				11.2
Parking (Y or N)	Y		Y	N		N	N		N	N		N
Parking/Hour	2		5									
Bus Stops/Hour	0	0	0					0				0
Pedestrian Timing	3.2			3.2			3.2			3.2		
Timing	EB Only	02	03	04	Thru Only	06	07	08				
	G = 31.0	G =	G =	G =	G = 50.0	G =	G =	G =				
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =				
Duration of Analysis (hrs) = 1.00							Cycle Length C = 95.0					

mhtml:file://C:\Users\labppgt\Desktop\Full Report_402atual.mht

29/11/2017

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume	204		454					1950			1298	
PHF	1.00		1.00					1.00			1.00	
Adjusted Flow Rate	204		454					1950			1298	
Lane Group	L	LR	R					T			T	
Adjusted Flow Rate	126	151	381					1950			1298	
Proportion of LT or RT		--	1.000		--			--	0.000		--	0.000
Saturation Flow Rate												
Base Satflow	1900	1900	1900					1900			1900	
Number of Lanes	1		1					3			3	
f_w	0.973	0.973	0.973					0.973			0.973	
f_{HV}	0.980	0.980	0.980					0.952			0.952	
f_a	0.960	0.960	0.960					0.985			0.985	
f_p	0.890	1.000	0.875					1.000			1.000	
f_{bb}	1.000	1.000	1.000					1.000			1.000	
f_a	1.000	1.000	1.000					1.000			1.000	
f_{LU}	1.000	1.000	1.000					0.908			0.908	
f_{LT}	0.950	0.975	--			--		1.000	--		1.000	--
Secondary f_{LT}			--			--			--			--
f_{RT}	--	0.928	0.850	--			--	1.000		--	1.000	
f_{Lbb}	1.000	1.000	--			--		1.000	--		1.000	--
f_{Rbb}	--	1.000	1.000	--			--	1.000		--	1.000	
Adjusted Satflow	1472	1575	1295					4726			4726	
Secondary Adjusted Satflow			--			--			--			--

CAPACITY AND LOS WORKSHEET										
General Information										
Project Description										
Capacity Analysis										
	EB			WB			NB		SB	
Lane Group	L	LR	R				T		T	
Adjusted Flow Rate	126	151	381				1950		1298	
Satflow Rate	1472	1575	1295				4726		4726	
Lost Time	2.0	2.0	2.0				2.0		2.0	
Green Ratio	0.33	0.33	0.33				0.53		0.53	
Lane Group Capacity	480	514	423				2487		2487	
w/c Ratio	0.26	0.29	0.90				0.78		0.52	
Flow Ratio	0.09	0.10	0.29				0.41		0.27	
Critical Lane Group	N	N	Y				Y		N	
Sum Flow Ratios	0.71									
Lost Time/Cycle	14.00									
Critical w/c Ratio	0.83									
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination										
	EB			WB			NB		SB	
Lane Group	L	LR	R				T		T	
Adjusted Flow Rate	126	151	381				1950		1298	
Lane Group Capacity	480	514	423				2487		2487	
w/c Ratio	0.26	0.29	0.90				0.78		0.52	
Green Ratio	0.33	0.33	0.33				0.53		0.53	
Uniform Delay d_1	23.6	23.8	30.5				18.1		14.7	
Delay Factor k	0.50	0.50	0.50				0.50		0.50	
Incremental Delay d_2	1.3	1.5	32.6				2.6		0.8	
PF Factor	1.000	1.000	1.000				1.000		1.000	
Control Delay	24.9	25.3	63.2				20.8		15.5	
Lane Group LOS	C	C	E				C		B	
Approach Delay	47.2						20.8		15.5	
Approach LOS	D						C		B	
Intersection Delay	23.5						Intersection LOS		C	

A4 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – COMERCIAL – MÉTODO DE WEBSTER

Full Report

Page 1 of 3

FULL REPORT													
General Information							Site Information						
Analyst Agency or Co. Date Performed 30/10/2017 Time Period							Intersection Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year						
Intersection Geometry													
<p>The diagram shows a four-way intersection. The top approach (WB) has a grade of 3 and a downward arrow. The bottom approach (SB) has a grade of 0. The left approach (EB) has a grade of -3 and a rightward arrow. The right approach (NB) has a grade of -3 and a leftward arrow.</p>													
Volume and Timing Input													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Volume (vph)			695									955	
% Heavy Veh			0									5	
PHF			1.00									1.00	
Actuated (P/A)			P									P	
Startup Lost Time			2.0									2.0	
Extension of Effective Green			2.0									2.0	
Arrival Type			3									3	
Unit Extension			3.0									3.0	
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Lane Width			11.2									11.2	
Parking (Y or N)	Y		N	N		N	N		N	N		N	
Parking/Hour	15												
Bus Stops/Hour			0									0	
Pedestrian Timing	3.2			3.2			3.2			3.2			
Timing	EB Only	02	03	04	SB Only	06	07	08					
	G = 14.0	G =	G =	G =	G = 24.0	G =	G =	G =					
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =					
Duration of Analysis (hrs) = 1.00							Cycle Length C = 52.0						

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume			695									955
PHF			1.00									1.00
Adjusted Flow Rate			695									955
Lane Group			R									T
Adjusted Flow Rate			695									955
Proportion of LT or RT		--	1.000		--			--			--	0.000
Saturation Flow Rate												
Base Satflow			1900									1900
Number of Lanes			3									3
f_w			0.973									0.973
f_{HV}			1.000									0.952
f_d			1.015									0.985
f_p			0.942									1.000
f_{pb}			1.000									1.000
f_a			1.000									1.000
f_{LU}			0.908									0.908
f_{LT}			--			--			--			1.000
Secondary f_{LT}			--			--			--			--
f_{RT}	--		0.850	--		--			--			1.000
f_{Lpb}			--			--			--			1.000
f_{Rpb}	--		1.000	--		--			--			1.000
Adjusted Satflow			4093									4726
Secondary Adjusted Satflow			--			--			--			--

CAPACITY AND LOS WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Capacity Analysis												
	EB			WB			NB			SB		
Lane Group			R								T	
Adjusted Flow Rate			695								955	
Satflow Rate			4093								4726	
Lost Time			2.0								2.0	
Green Ratio			0.27								0.46	
Lane Group Capacity			1102								2181	
v/c Ratio			0.63								0.44	
Flow Ratio			0.17								0.20	
Critical Lane Group			Y								Y	
Sum Flow Ratios	0.37											
Lost Time/Cycle	14.00											
Critical v/c Ratio	0.51											
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
Lane Group			R								T	
Adjusted Flow Rate			695								955	
Lane Group Capacity			1102								2181	
v/c Ratio			0.63								0.44	
Green Ratio			0.27								0.46	
Uniform Delay d_1			16.8								9.4	
Delay Factor k			0.50								0.50	
Incremental Delay d_2			2.8								0.6	
PF Factor			1.000								1.000	
Control Delay			19.7								10.1	
Lane Group LOS			B								B	
Approach Delay	19.7									10.1		
Approach LOS	B									B		
Intersection Delay	14.1			Intersection LOS						B		

A5 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – RETORNO

- MÉTODO DE WEBSTER

Full Report

Page 1 of 3

FULL REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst Agency or Co. Date Performed 30/10/2017 Time Period						Intersection Area Type All other areas Jurisdiction Analysis Year						
Intersection Geometry												
<p>Grade = 0</p> <p style="margin-left: 300px;">Grade = 0</p> <p style="margin-left: 100px;">1 ↗</p> <p style="margin-left: 100px;">Grade = 0</p> <p style="margin-left: 300px;">↑</p> <p style="margin-left: 300px;">3</p> <p style="margin-left: 300px;">Grade = 0</p>												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume (vph)	491							1706				
% Heavy Veh	2							5				
PHF	1.00							1.00				
Actuated (P/A)	P							P				
Startup Lost Time	2.0							2.0				
Extension of Effective Green	2.0							2.0				
Arrival Type	3							3				
Unit Extension	3.0							3.0				
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0		0	0		0	0		0	0	
Lane Width	16.0							16.0				
Parking (Y or N)	N		N	N		N	N		N	N		N
Parking/Hour												
Bus Stops/Hour	0							0				
Pedestrian Timing	3.2			3.2			3.2			3.2		
	EB Only	02	03	04	NB Only	06	07	08				
Timing	G = 19.0	G =	G =	G =	G = 19.0	G =	G =	G =				
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =				
Duration of Analysis (hrs) = 1.00							Cycle Length C = 52.0					

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume	491							1706				
PHF	1.00							1.00				
Adjusted Flow Rate	491							1706				
Lane Group	L							T				
Adjusted Flow Rate	491							1706				
Proportion of LT or RT		-			-			-	0.000		-	
Saturation Flow Rate												
Base Satflow	1900							1900				
Number of Lanes	1							3				
f_w	1.133							1.133				
f_{hv}	0.980							0.952				
f_b	1.000							1.000				
f_p	1.000							1.000				
f_{pb}	1.000							1.000				
f_s	1.000							1.000				
f_{LU}	1.000							0.908				
f_{LT}	0.950		-			-		1.000	-			-
Secondary f_{LT}			-			-			-			-
f_{RT}	-			-			-	1.000		-		
f_{Lpb}	1.000		-			-		1.000	-			-
f_{Rpb}	-			-			-	1.000		-		
Adjusted Satflow	2006							5586				
Secondary Adjusted Satflow			-			-			-			-

CAPACITY AND LOS WORKSHEET										
General Information										
Project Description										
Capacity Analysis										
	EB		WB		NB		SB			
Lane Group	L					T				
Adjusted Flow Rate	491					1706				
Satflow Rate	2006					5586				
Lost Time	2.0					2.0				
Green Ratio	0.37					0.37				
Lane Group Capacity	733					2041				
v/c Ratio	0.67					0.84				
Flow Ratio	0.24					0.31				
Critical Lane Group	Y					Y				
Sum Flow Ratios	0.55									
Lost Time/Cycle	14.00									
Critical v/c Ratio	0.75									
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination										
	EB		WB		NB		SB			
Lane Group	L					T				
Adjusted Flow Rate	491					1706				
Lane Group Capacity	733					2041				
v/c Ratio	0.67					0.84				
Green Ratio	0.37					0.37				
Uniform Delay d_1	13.9					15.1				
Delay Factor k	0.50					0.50				
Incremental Delay d_2	4.9					4.4				
PF Factor	1.000					1.000				
Control Delay	18.8					19.5				
Lane Group LOS	B					B				
Approach Delay	18.8				19.5					
Approach LOS	B				B					
Intersection Delay	19.3		Intersection LOS						B	

A6 - RELATÓRIO DO HCS PARA INTERSEÇÃO DA 406 NORTE – PROPOSTA

FULL REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst <i>Matheus e Leonardo</i> Agency or Co. <i>UnB</i> Date Performed <i>12/11/2017</i> Time Period						Intersection <i>406 nova</i> Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year <i>2017</i>						
Intersection Geometry												
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume (vph)	301		394					1348			809	
% Heavy Veh	2		2					5			5	
PHF	0.92		0.92					0.92			0.92	
Actuated (P/A)	P		P					P			P	
Startup Lost Time	2.0	2.0	2.0					2.0			2.0	
Extension of Effective Green	2.0	2.0	2.0					2.0			2.0	
Arrival Type	3	3	3					3			3	
Unit Extension	3.0	3.0	3.0					3.0			3.0	
Ped/Bike/RTOR Volume	0	0	0	0	0			0	0		0	0
Lane Width	3.6	3.6	2.6					3.6			3.6	
Parking (Y or N)	Y		N	N		N	N		N	N		N
Parking/Hour	12											
Bus Stops/Hour	0	0	0					0			0	
Pedestrian Timing	3.2			3.2			3.2			3.2		
	EB Only	02	03	04	Thru Only	06	07	08				
Timing	G = 19.0	G =	G =	G =	G = 21.0	G =	G =	G =				
	Y = 70	Y =	Y =	Y =	Y = 70	Y =	Y =	Y =				
Duration of Analysis (hrs) = 0.25							Cycle Length C = 54.0					

VOLUME ADJUSTMENT AND SATURATION FLOW RATE WORKSHEET												
General Information												
Project Description												
Volume Adjustment												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volume	301		394					1348			809	
PHF	0.92		0.92					0.92			0.92	
Adjusted Flow Rate	327		428					1465			879	
Lane Group	L	LR	R					T			T	
Adjusted Flow Rate	203	192	360					1465			879	
Proportion of LT or RT		--	1.000		--			--	0.000		--	0.000
Saturation Flow Rate												
Base Satflow	1900	1900	1900					1900			1900	
Number of Lanes	1		1					3			3	
f_w	1.000	1.000	0.889					1.000			1.000	
f_{HV}	0.980	0.980	0.980					0.952			0.952	
f_g	1.010	1.010	1.010					1.000			1.000	
f_b	0.840	1.000	1.000					1.000			1.000	
f_{bb}	1.000	1.000	1.000					1.000			1.000	
f_s	1.000	1.000	1.000					1.000			1.000	
f_{LU}	1.000	1.000	1.000					0.908			0.908	
f_{LT}	0.950	0.969	--			--		1.000	--		1.000	--
Secondary f_{LT}			--			--			--			--
f_{RT}	--	0.947	0.850	--			--	1.000		--	1.000	
f_{Lpb}	1.000	1.000	--			--		1.000	--		1.000	--
f_{Rpb}	--	1.000	1.000	--			--	1.000		--	1.000	
Adjusted Satflow	1501	1725	1421					4929			4929	
Secondary Adjusted Satflow			--			--			--			--

CAPACITY AND LOS WORKSHEET										
General Information										
Project Description										
Capacity Analysis										
	EB			WB			NB			SB
Lane Group	L	LR	R				T		T	
Adjusted Flow Rate	203	192	360				1465			879
Satflow Rate	1501	1725	1421				4929			4929
Lost Time	2.0	2.0	2.0				2.0			2.0
Green Ratio	0.35	0.35	0.35				0.39			0.39
Lane Group Capacity	528	607	500				1917			1917
v/c Ratio	0.38	0.32	0.72				0.76			0.46
Flow Ratio	0.14	0.11	0.25				0.30			0.18
Critical Lane Group	N	N	Y				Y			N
Sum Flow Ratios	0.55									
Lost Time/Cycle	14.00									
Critical v/c Ratio	0.74									
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination										
	EB			WB			NB			SB
Lane Group	L	LR	R				T		T	
Adjusted Flow Rate	203	192	360				1465			879
Lane Group Capacity	528	607	500				1917			1917
v/c Ratio	0.38	0.32	0.72				0.76			0.46
Green Ratio	0.35	0.35	0.35				0.39			0.39
Uniform Delay d_1	13.1	12.8	15.2				14.3			12.3
Delay Factor k	0.50	0.50	0.50				0.50			0.50
Incremental Delay d_2	2.1	1.4	8.7				3.0			0.8
PF Factor	1.000	1.000	1.000				1.000			1.000
Control Delay	15.2	14.1	23.9				17.3			13.1
Lane Group LOS	B	B	C				B			B
Approach Delay	19.1						17.3			13.1
Approach LOS	B						B			B
Intersection Delay	16.5			Intersection LOS						B