

# COMPARAÇÃO ENTRE ESTUDOS SOBRE FLUXO DE SATURAÇÃO E *HEADWAY* DE SATURAÇÃO EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

**Paulo Victor Hermetério Pinto**

Universidade de Brasília – UnB

Programa de Pós-Graduação em Transportes – PPGT

## RESUMO

Este artigo aborda métodos para cálculo de fluxo de saturação e *headways* de saturação utilizados em engenharia de tráfego, principalmente para programação de semáforos. O principal objetivo no desenvolvimento será abordar estudos sobre o cálculo de tais parâmetros, destacando quais são suas principais diferenças, vantagens e desvantagens. Por fim, será elaborada uma análise comparativa dos métodos, para facilitar a escolha do melhor modelo de acordo com as necessidades do pesquisador.

## ABSTRACT

This article approaches methods for calculating saturation flow rates and saturation headways, which are widely used in traffic engineering, mainly for signal timing design. The main objective is to compare studies of calculating those parameters, point out their main differences, advantages and disadvantages. Finally, a comparative analysis for those methods is elaborated in order to guide the choice of the best model, according to the researchers needs.

## 1. INTRODUÇÃO

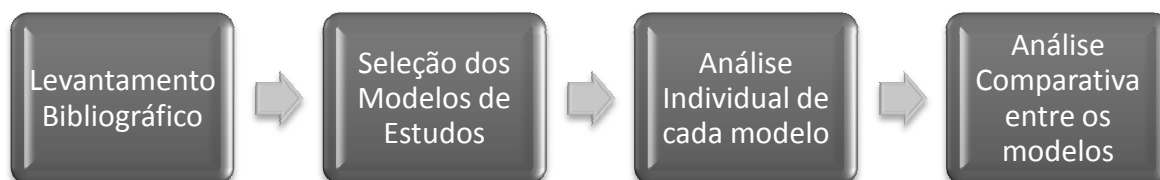
O crescimento da atual frota de veículos e da população mundial vem originando um dos maiores problemas de mobilidade dentro dos centros urbanos: os congestionamentos. Neste cenário, é cada vez mais importante estudar modelos e desenvolver técnicas para minimizar essa situação.

Os estudos sobre fluxos de saturação e *headways* de Saturação em interseções semaforizadas têm uma grande aplicabilidade, principalmente em *softwares* de programações em tempos reais. Esses estudos também são utilizados para determinar os tempos de ciclos dos semáforos de acordo com os tamanhos das filas, o que torna a programação semafórica mais eficiente e, conseqüentemente, diminui-se os congestionamentos nas cidades (Kerner, 2009).

Este artigo tem como objetivo levantar alguns modelos de *headways* de saturação e fluxos de saturação e realizar uma análise comparativa entre eles. Ele também buscará explicar as situações mais adequadas de utilização de cada modelo, não tendo como objetivo explicar estas aplicabilidades.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste artigo científico foi adotada a metodologia esquematizada pelo fluxograma abaixo:



**Figura 1:** Fluxograma da metodologia adotada para desenvolvimento do artigo

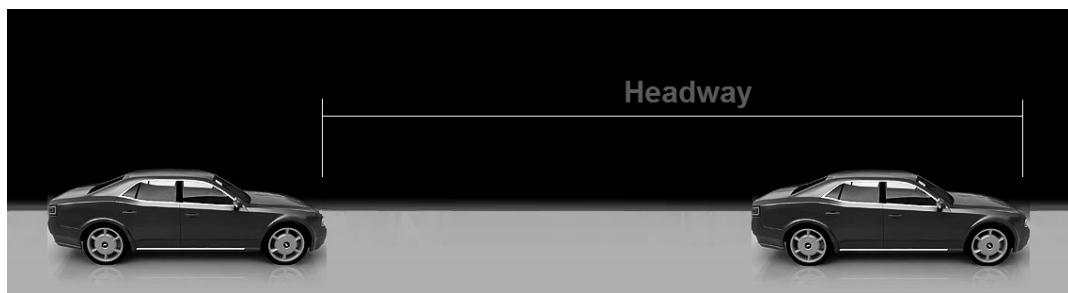
A metodologia apresentada na Figura 1 é composta por quatro etapas. A primeira etapa constitui no levantamento bibliográfico de obras científicas que abordam estudos sobre

*headways* de saturação e fluxo de saturação em interseções semaforizadas. Na segunda etapa foram selecionados alguns destes métodos para serem abordados dentro do estudo, uma vez que existe uma ampla bibliografia sobre o assunto. Na terceira etapa foram elaborados comentários sobre as particularidades de cada método, tentando mostrar os seus pontos positivos e negativos. Uma quarta etapa é apresentada com uma análise comparativa entre os métodos de cálculo. Por fim, é apresentada uma conclusão sobre o desenvolvimento e as considerações elaboradas ao longo do estudo.

### 3. DEFINIÇÕES DE CONCEITOS

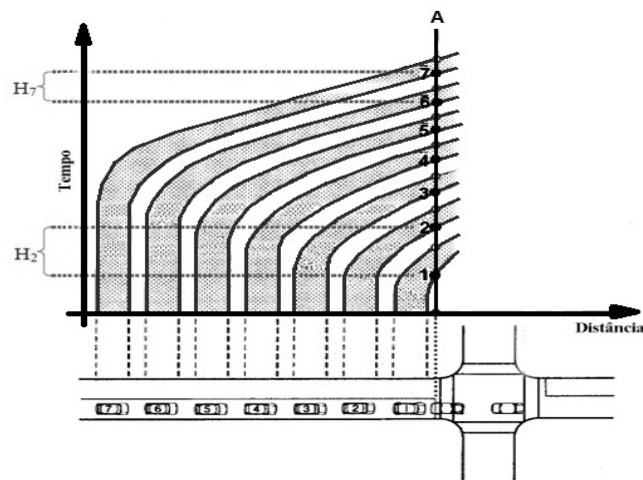
Nesta seção do artigo serão abordados alguns conceitos necessários para o entendimento dos demais tópicos a serem desenvolvidos. Serão abordados os seguintes conceitos: *headway* de descarga, *headway* de saturação, volume de tráfego e fluxo de saturação.

O *headway* de descarga é definido como o intervalo de tempo decorrido entre a passagem de dois veículos consecutivos por uma seção de referência (faixa de retenção, alinhamento do meio-fio da via perpendicular etc.), tomados com relação a um ponto em comum dos veículos (rodas traseiras, pára-choque dianteiro etc.), obtidos durante a dissipação de uma fila de veículos em uma interseção controlada por semáforo, como ilustrado na Figura 2 (Silva, 2002).



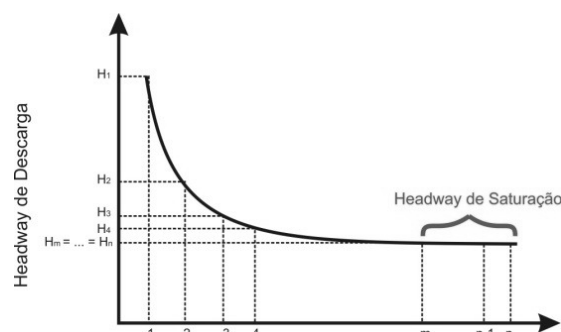
**Figura 2:** Representação do *headway* de descarga

A medida que tem início o fluxo de descarga dos veículos é perceptível a diminuição do tempo dos *headways* dos veículos, já que o primeiro veículo da fila tem um maior *headway* devido ao tempo de percepção e reação do motorista, e uma aceleração mínima até o ponto de referência. Entretanto, de acordo com o aumento da posição do veículo na fila este tempo de reação do motorista diminui ao ver o início de dissipação da fila, e a sua aceleração até o ponto de referência vai aumentando, como apresentado no gráfico da Figura 3.



**Figura 3:** Representação da diminuição do *headway* dentro de uma fila.

Dentro desta observação é definido o segundo conceito a ser abordado: *headway* de Saturação, também conhecido como *headway* Mínimo. O *headway* de saturação é definido como menor *headway* obtido durante a descarga dos veículos da fila, que tem início de acordo com a posição do veículo na fila, situação mostrada na Figura 4. Esta posição do início do *headway* de saturação varia de acordo com o estudo a ser considerado, como apresenta a Tabela 1 (Silva, 2002).



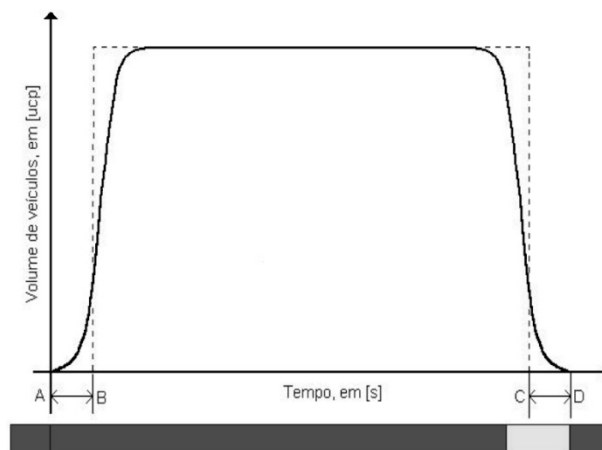
**Figura 4:** Representação gráfica do início do *headway* de saturação de acordo com a posição do veículo.

**Tabela 1:** Início da saturação nos estudos sobre *headway* de descarga

Estudo	Posição de início da saturação
Porto Jr. e Londero	8 <sup>a</sup>
Greenshields, Schapiro e Ericksen	6 <sup>a</sup>
Carstens	4 <sup>a</sup>
Briggs	-
Lu	5 <sup>a</sup>
Lee e Chen	-
Bonneson	8 <sup>a</sup>
Akçelik e Besley	-
NIITTYMÄKI	5 <sup>a</sup>
Adonis, Bartel, Gibson e Coyemans	5 <sup>a</sup>

O terceiro conceito a ser abordado será o volume de tráfego, que é definido como o número de veículos que cruzam uma determinada seção de uma via considerada dentro de um dado intervalo de tempo (Santos, 2007).

O quarto e último conceito a ser definido é o de fluxo de saturação, que é definido como a taxa máxima de fluxo para um dado grupo de faixas, que pode ocorrer sob condições predominantes do tráfego da via, com 100% de tempo verde (Santos, 2007). Vale salientar que este fluxo máximo de veículos é estudado em uma fila no momento de sua dissipação, de acordo com representação gráfica na Figura 5.



**Figura 5:** Representação gráfica do fluxo de saturação ao longo da dissipação de uma fila

É importante destacar que o fluxo de saturação é o inverso do *headway* de saturação, o que é demonstrado pela relação matemática abaixo:

$$FS = 3600 / h_{sat} \quad (1)$$

Onde: FS representa o fluxo de saturação na unidade de veículo por hora;

$h_{sat}$  representa o *headway* de saturação na unidade de segundos, por isso a razão de inversão ser multiplicada pelo valor de 3600.

#### 4. ESTUDOS SOBRE FLUXO DE SATURAÇÃO E HEADWAY DE SATURAÇÃO EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

Nesta etapa serão abordados e analisados alguns estudos considerados mais relevantes para a determinação do fluxo de saturação e *headway* de saturação. Deve-se destacar que existe uma vasta bibliografia sobre estes assuntos, sendo que foram escolhidos para este trabalho apenas oito modelos, que serão apresentados a seguir.

##### 4.1. Estudos sobre fluxo de Saturação em interseções semaforizadas

Os primeiros modelos a serem apresentados estão relacionados aos estudos sobre fluxo de saturação.

O primeiro modelo a ser abordado é o modelo Jacques (1995 *apud* Santos, 2007). Ele divide a fila formada durante o tempo de vermelho em grupos compostos por três veículos, e são medidos os intervalos de tempo entre o início da luz verde no semáforo e a passagem do

último veículo de cada grupo de veículos. Com estas considerações, Jacques (1995) apresenta a seguinte equação:

$$\bar{S}_j = \{3600\} \times \{[n_g \times (n_{vj} - 1)] / [t_{nvj} - t_{lj}]\} \quad (2)$$

Onde:  $\bar{S}_j$  representa o fluxo de saturação médio para o ciclo j, em veículos por hora de tempo verde;

$n_g$  é o número de veículos em cada grupo, neste modelo sendo igual a três;

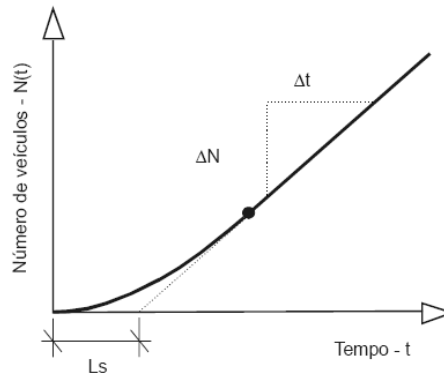
$n_{vj}$  é o número de grupos considerados na pesquisa;

$t_{nvj}$  é o tempo de passagem do último veículo, do último grupo, em segundos;

$t_{lj}$  é o tempo de passagem do último veículo do primeiro grupo, em segundos.

Este modelo apresenta como principais vantagens a pequena probabilidade de erro por medição dos parâmetros medidos em loco, já que são poucos parâmetros a serem considerados, e a sua fácil aplicabilidade nas interseções. Entretanto, este modelo não leva em consideração diversos fatores que influenciam no fluxo de saturação, tais como os tipos de veículos na fila, o turno ou horário da medição e as características da via.

O segundo modelo a ser apresentado sobre fluxo de saturação é o modelo de Shanteau (1998 *apud* Santos, 2007). Este modelo utiliza uma curva de acumulação da descarga de uma fila de veículos ao longo do tempo. Os eixos dos gráficos são representados respectivamente pelo tempo, em segundos no eixo das abscissas, e as quantidades acumuladas de veículos para cada instante, em unidade de carros de passeio, no eixo das ordenadas, como apresentado na Figura 6. Neste método são considerados que a fila se dissipa em regime de saturação e que o trecho retilíneo da curva representa o intervalo de tempo do provável regime de fluxo de saturação. O fluxo de saturação é representado pelo coeficiente angular da reta, ou seja, a razão entre  $\Delta N$  e  $\Delta t$  representado no gráfico abaixo.



**Figura 6:** Curva de acumulação da descarga de uma fila de veículos.

No gráfico da Figura 6,  $N(t)$  representa o número de veículos acumulados no intervalo de tempo  $t$ ;  $t$  é o intervalo de tempo necessário ao escoamento de  $N$  veículos;  $L_s$  é o tempo perdido inicial com a inércia, que tem como base o prolongamento da reta até o eixo das abscissas;  $\Delta N$  representa a taxa de veículos no intervalo  $\Delta t$ ; e o  $\Delta t$  representa o intervalo de tempo para uma dada taxa de veículos fluindo em regime de saturação (Shanteau, 1998 *apud* Santos, 2007).

O método apresenta uma analogia interessante quanto à obtenção do fluxo saturação, já que é

por meio da análise direta do gráfico que é definido o fluxo de saturação. Como no modelo de Jacques (1995 *apud* Santos, 2007), o método de Shanteau (1998, *apud* Santos, 2007) tem como vantagem a sua fácil aplicação em campo. Porém este método não considera fatores como: características da via, modelos de veículos, horário de coleta de dados. Sendo assim, um modelo que não leva em consideração as peculiaridades da via nem da fila.

O terceiro modelo a ser apresentado é o modelo de Teply *et al* (1995 *apud* Santos, 2007). O modelo consiste em medir a quantidade de veículos que passam pela faixa de retenção em intervalos de tempo iguais a 5 segundos, tendo o eixo de referência do veículo como o eixo dianteiro. A contagem de veículos tem início a partir do início do tempo de verde, e tem fim com os últimos dois intervalos de tempos consecutivos de cinco segundos com dois ou mais veículos a passar pela faixa de retenção. A formulação desenvolvida por Teply *et al* para o cálculo do fluxo de saturação é dada por:

$$\bar{S} = \{1/n\} \times \{\sum_{i=1}^n [(360 \times V_s)] / [(t_g - n_s)]\} \quad (3)$$

Onde:  $\bar{S}$  representa o fluxo de saturação em unidades de carros de passeio por hora;

$V_s$  é o fluxo de veículos total em intervalos saturados do tempo de verde, em unidades de carros de passeio;

$t_g$  é definido como o tempo de duração de cada intervalo, tendo-se adotado para o método o valor de cinco segundos, e;

$n$  é a quantidade de intervalos de tempo da fase verde, saturados.

O modelo apresentado por Teply *et al* é de fácil aplicação em campo, não tendo muitas variáveis que ocasionem dificuldades e possíveis erros de amostragem *in loco*. Mas como todos os demais métodos já apresentados, ele não considera as particularidades das características nem das vias e nem dos veículos que compõem as filas.

O quarto modelo abordado é o modelo de Setti (1996 *apud* Santos, 2007). Nele são utilizados o tempo de médio de descarga das filas de tráfego em regime de fluxo de saturação, e o número médio de veículos durante a esta descarga. A fórmula deste método é dada por:

$$S = [3600] \times [(n_m) / (t_d)] \quad (4)$$

Onde:  $S$  representa o fluxo de saturação, em veículo por hora de tempo verde;

$n_m$  representa a quantidade média de veículos em fila durante a descarga, e;

$t_d$  representa o tempo médio de descarga da fila, em segundos.

Este modelo tem uma grande vantagem, ele é o modelo mais direto e o mais simples para o cálculo do fluxo de saturação, portanto é o que apresenta menor possibilidade de erro na fase de coleta de dados *in loco*. Todavia ele apresenta problemas semelhantes aos demais métodos apresentados, pois ele não leva em considerações os aspectos das vias e nem as características dos veículos. Além disso, ele apresenta o fluxo de saturação constante ao longo da descarga, não diferenciando possíveis variações que possam ocorrer ao longo do tempo, fato este notado pelos métodos já apresentados quando dividem a amostra do fluxo de saturação em alguns grupos.

O quinto modelo apresentado sobre fluxos de saturação é o modelo de Webster e Cobbe (1966

*apud* Santos, 2007). Os autores analisam o raio de giro da via como parâmetro para cálculo do fluxo de saturação. São apresentadas duas formulações por este método: a primeira para casos de pistas com faixa única com conversão à esquerda para o cenário brasileiro; e a segunda formulação para pistas com faixa dupla, como apresentadas a seguir:

$$S = [(1800)] \times [(r) / (r + 5)] \quad (5)$$

Onde: S representa o fluxo de saturação corrigido, em pista de faixa única, em unidade de carro de passeio por hora, e;

r é o raio de giro da via em metros.

$$S = [(3000)] \times [(r) / (r + 5)] \quad (6)$$

Onde: S representa o fluxo de saturação corrigido, em pista de faixa dupla, em unidade de carro de passeio por hora, e;

r é o raio de giro da via em metros.

Este método é o primeiro que leva em consideração as características da via, em particular o seu raio de giro, para o cálculo do fluxo de saturação. Contudo o método, além de não considerar as características dos tipos de veículos existentes na via, não leva em considerações possíveis variações no fluxo de saturação da interseção, podendo gerar, em relação a possíveis programações semaforicas, tempos de verde deturpados, ocasionando ociosidade em interseções. Vale destacar que o método é interessante e deve ser levado em consideração em vias com raio de giro muito acentuado, já que este tem influência direta no fluxo de saturação.

O sexto modelo apresentado é o modelo de Kimber e Semmens (1982 *apud* Santos, 2007). Neste modelo os autores também levaram em consideração o raio de giro da via, e tem como base para o cálculo do fluxo de saturação a seguinte fórmula:

$$S = [(1795)] \times [(r) / (r + 1,49)] \quad (7)$$

Onde: S representa o fluxo de saturação corrigido, em pista de faixa dupla, em unidade de carro de passeio por hora, e;

r representa o raio de giro em metros da via em estudo.

Como os modelos anteriores, este apresenta as mesmas desvantagens em relação a não considerar os tipos de veículos existentes na pista e nem a possível variação do fluxo de saturação ao longo do tempo. Seu ponto positivo é a consideração do raio de giro da curva, principalmente em casos em que este raio é muito acentuado.

Os próprios autores do método verificaram que algumas formas de descontinuidade de alinhamento geométrico, em particular a descontinuidade do alinhamento horizontal à jusante de uma aproximação em análise, pode gerar uma redução considerável no fluxo de saturação, chegando a valores de 12 % quando comparados a aproximações sem descontinuidade geométrica. (Kimber e Semmens, 1982 *apud* Santos, 2007). Com esta consideração sempre é importante analisar o raio de giro da via em situações que o pesquisador acredite que esta característica pode influenciar de forma significativa o fluxo de saturação.

Mas, como apresentado no método de Webster e Cobbe (1966 *apud* Santos, 2007), este modelo não leva em consideração os tipos de veículos na fila então considera possíveis variações no fluxo de saturação ao longo do tempo.

#### 4.2. Estudos sobre *headway* de saturação em interseções semaforizadas

Neste item serão abordados e analisados alguns modelos sobre *headway* de saturação em interseções semaforizadas.

O primeiro modelo a ser abordado é o modelo de Niittymäki (1998 *apud* Silva, 2002). Ele divide a fila de veículos em dois grupos: o primeiro grupo composto pelos primeiros veículos que não atingem a velocidade desejada e o segundo grupo pelos veículos que estão com a velocidade desejada.

$$h_1 = \tau \times \{ [(2d_1)/(A)]^{1/2} \} \quad (8)$$

A primeira fórmula do método é utilizada para o cálculo do *headway* de descarga do primeiro veículo da fila.

$$h_n = T_R + (L_V/V_{n-1}) + [(2s/A)^{1/2}] \quad (9)$$

A segunda fórmula do método é utilizada para o cálculo do *headway* entre os demais veículos que não atingiram a velocidade desejada.

$$h_n = t(F) + (L_V/V_{Des}) \quad (10)$$

A terceira fórmula do método é utilizada para o cálculo do *headway* entre os demais veículos que estão com a velocidade desejada.

Onde:  $h_n$  representa o *headway* de descarga do  $n$ ésimo veículo em segundos (s);  
 $\tau$  representa tempo de reação do primeiro motorista da fila em segundos (s);  
 $T_R$  representa tempo de reação dos demais motoristas em segundos (s);  
 $A$  representa a aceleração média constante ( $m/s^2$ );  
 $d_1$  representa a distância do primeiro veículo à faixa de retenção em metros (m);  
 $d$  representa a distância entre o pára-choque dianteiro dos veículos na fila estacionária em metros (m);  
 $V_{Des}$  representa a velocidade desejada em metro por segundo (m/s);  
 $t(F)$  representa folga ou *gap* obtido por meio da teoria do *car-following*;  
 $L_V$  representa o comprimento do veículo em metros (m);  
 $s$  representa o espaço entre os veículos no processo de descarga, ou seja  $s$  pode ser expressa pela equação:

$$s = v_{n-1} \times t(F) \quad (11)$$

Este modelo pode ser considerado uma das formas mais completas para a determinação do *headway* de saturação, uma vez que ele leva em consideração vários parâmetros para o seu cálculo, tais como comprimento do veículo, tempo de reação do motorista do veículo, aceleração do veículo, entre outros. Porém o modelo apresenta dois aspectos negativos: a alta probabilidade de um erro na coleta de dados em razão da quantidade de parâmetros a serem

levantados em campo, o que torna este método complexo e oneroso para aplicação; ele não considera as características da via.

O segundo modelo de estudo sobre *headway* de saturação a ser abordado é o modelo de Lu (1984 *apud* Silva, 2002). Neste estudo um dos objetivos do autor era estudar o impacto do tipo de veículo no processo de descarga da fila. Com este objetivo os veículos foram divididos em três categorias no modelo: carros pequenos (veículos de quatro cilindros), carros grandes (veículos de seis ou oito cilindros) e veículos pesados (caminhões ou ônibus). A seguinte formulação matemática é usada no modelo:

$$T = 4,83 + 1,73SC + 2,01LC + 3,84TB \quad (12)$$

Onde: T representa o tempo necessário para descarga de uma fila saturada de veículos em segundos (s);

SC representa a quantidade de carros pequenos;

LC representa a quantidade de carros grandes, e;

TB representa a quantidade de veículos pesados (ônibus ou caminhões).

A grande vantagem deste método é a sua proposta inicial: a avaliação do tipo de veículo no tempo de descarga da fila de veículos formada ao longo de uma interseção semaforica. Essa formulação apresenta outra vantagem: ela apresenta poucos parâmetros, que são fáceis de serem coletados em campo, que leva, conseqüentemente, a uma pequena probabilidade de erro de amostragem em campo.

Suas desvantagens é que ele não leva em consideração as peculiaridades da via, nem o tempo de reação do motorista, além de não fazer considerações sobre possíveis variações de velocidades dos motoristas.

## 5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS

Inicialmente, para delinear a comparação entre os modelos, foram estabelecidos os seguintes parâmetros: a consideração das características da via, a consideração dos tipos de veículo na fila, a probabilidade de erro na coleta de dados pela quantidade de parâmetros, a consideração da variação de volume de tráfego ao longo do tempo, o tempo de reação do motorista e o período do dia.

Definido estes parâmetros, obtêm-se a Tabela 2, que apresenta parâmetros x modelos analisados.

**Tabela 2:** Tabela comparativa dos modelos analisados

Tipo	Modelos	Ano	Caract. da via	Tipos de Veículos	Prob. de erro na coleta de dados	Var. do fluxo ao longo do tempo	Tempo de Reação do motor.	Período do dia
Fluxo de saturação	Jacques	1995	Não considera	Não considera	Baixa	Considera	Não considera	Não considera
	Shanteau	1988	Não considera	Não considera	Baixa	Considera	Não considera	Não considera
	Teply <i>et al.</i>	1995	Não considera	Não considera	Baixa	Considera	Não considera	Não considera
	Setti	1996	Não considera	Não considera	Baixa	Não Considera	Não considera	Não considera

Headway de saturação	Webster e Cobbe	1966	Considera	Não considera	Baixa	Não Considera	Não considera	Não considera
	Kimber e Semmens	1982	Considera	Não considera	Baixa	Não Considera	Não considera	Não considera
	Niittymäki	1998	Não Considera	Considera	Alta	Considera	Considera	Não considera
	Lu	1984	Não Considera	Considera	Baixa	Não considera	Não considera	Não considera

A tabela acima facilita a comparação de todos os métodos abordados de acordo com os parâmetros estabelecidos. Primeiramente, com relação à característica da via, apenas dois modelos o leva em consideração, que são os de Webster e Cobbe e Kimber e Semmens. Nenhum outro apresenta qualquer consideração sobre a influência do desenho geométrico da via sobre o fluxo de saturação, parâmetro este que deve ser avaliado em vias com raio de curvatura muito acentuado (ver Figura 7).



**Figura 7:** Interseção semaforizada com elevado raio de curvatura.

Com relação aos tipos de veículos, os dois modelos que apresentam considerações na sua metodologia de cálculo são os modelos de Niittymäki e Lu, ambos apresentados nos modelos de *headway* de saturação. Em vias com elevado fluxo de automóveis pesados, ônibus e caminhões, este parâmetro deve ser considerado, uma vez que ele tem grande influência na variação do fluxo de saturação. No estudo de Lu foi verificado que se tinha *headways* maiores nos casos em que o veículo líder era do tipo pesado.

Quando é analisada a probabilidade de erro na coleta de dados, é possível analisar que a maioria dos modelos estudados utiliza poucos parâmetros, e isso tem como resultado uma coleta de dados em campo fácil de ser realizada, levando a esta baixa probabilidade. Entretanto o modelo de Niittymäki apresenta muitos parâmetros para análise e coleta em campo, ocasionado, para o pesquisador que for utilizá-lo, alta probabilidade de erro, uma vez que todas as variáveis devem ser analisadas muitas vezes simultaneamente.

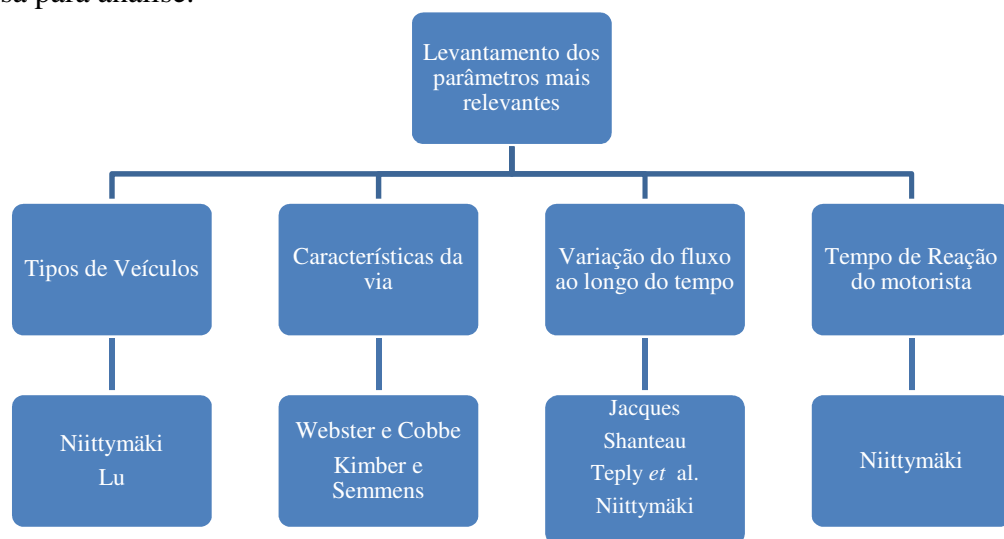
A variação do volume de tráfego durante o processo de descarga é um parâmetro que muitas

vezes deve ser considerado, principalmente quando os estudos são utilizados para a programação semafórica, uma vez que essas variações são importantes para o cálculo dos tempos que compõe o tempo de ciclo. Então, dentro deste parâmetro, a maioria dos modelos o leva em consideração, exceto os modelos de Webster e Cobbe e Kimber e Semmens que utilizam como parâmetro apenas o raio de curvatura. O modelo de Lu leva apenas em consideração os tipos de veículo para cálculo do tempo de descarga da fila saturada e o de Setti faz o cálculo direto do fluxo de saturação.

Já com relação ao tempo de reação do motorista, o único modelo que analisa diretamente este fator é o modelo de Niittymäki. Vale destacar neste aspecto que, por meio do modelo de Shanteau, pode ser calculado o tempo perdido inicialmente no volume de tráfego pela inércia dos veículos até atingirem o fluxo de saturação, e, portanto, pode ocorrer a interpretação que este tempo inicial perdido tem relação direta com o tempo de reação do motorista.

O período do dia não é levado em consideração por nenhum dos estudos apresentados no artigo. É importante ter o entendimento que este parâmetro tem uma grande relevância no fluxo de tráfego, pois esta característica tem influência em diversos outros parâmetros, como no comportamento do motorista de acordo com o seu o padrão de viagem.

Então a adoção do modelo de estudo deve ser considerada pelo pesquisador de acordo com as características que ele considera como mais importantes e de acordo com os seus recursos de pesquisa para análise.



**Figura 8:** Hierarquização para escolha dos modelos

Como esquematizado na Figura 8, após o pesquisador especificar quais são os parâmetros mais importantes a serem considerados no seu modelo de estudo, ele pode fazer a escolha do modelo mais adequado. É importante lembrar que alguns modelos apresentam probabilidade de erros alta durante a coleta de dados.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos abordados neste artigo científico não contemplam todos já elaborados dentro do assunto, mas como já citado anteriormente esta não é o intuito do trabalho. Os modelos aqui apresentados são resultados de uma vasta pesquisa bibliográfica e de seleção, tendo como base os parâmetros e as considerações apresentadas por cada estudo. Para fornecer uma visão

mais ampla das características de cada modelo, apresentou-se uma análise comparativa entre os modelos.

O modelo de Niittymäki pode ser considerado, após essa análise, o método de estudo mais completo em virtude amplitude parâmetros que ele considera, tais como o tempo de reação do motorista e o comprimento dos veículos que compõem a fila. Mas, como já citado anteriormente, por esta quantidade de parâmetros que o modelo adota o pesquisador que tiver interesse em utilizá-lo deve ter ciência que é necessária uma quantidade considerável de recursos considerável para a sua aplicação.

O método de Setti, como apresentado pela hierarquização, não apresenta parâmetros relevantes quando analisadas alguma característica particular da via, sendo aconselhável o seu uso apenas em casos em que os recursos de levantamento de dados são escassos.

A utilização de formas empíricas de fluxo de saturação utiliza dados alterados da coleta real e embutem erros de estimativas na sua própria formulação, muitas vezes por utilizarem regressões para obtenção dos parâmetros necessários, podendo chegar a diferenças da ordem de 10% quando comparados dois métodos diferentes. (Luna, 2003). Outro fator que merece destaque é que a maioria dos modelos existentes foram desenvolvidos fora do Brasil, sendo, com isso, necessário analisar a aplicabilidade de qualquer método. Isso porque muitos dos parâmetros brasileiros seguem normas baseadas tanto em estudos norte-americanos quanto em estudos europeus, levando, às vezes, a variação do seu próprio conceito teórico. Por fim é importante salientar que alguns modelos são consideravelmente antigos e as inovações tecnológicas, tais como novos motores, novos materiais, entre outros, podem resultar em diferenças consideráveis no fluxo de saturação e nos *headways* de saturação.

#### **Agradecimentos**

Agradeço à Professora Maria Alice Prudêncio Jacques por ter cedido material de apoio utilizado para desenvolvimento deste trabalho, à Fernanda Fernandes de Almeida Santos que auxiliou desenvolvendo das ilustrações, à Érica Cristina Silva Marques e aos Professores Ricardo Freire Gonçalves e Paulo César Marques da Silva pelas sugestões e comentários. Por fim, agradeço a Capes pelo apoio financeiro ao meu mestrado e a FAP-DF pelo apoio financeiro para a participação e apresentação do artigo na XXV ANPET.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Fornaciari, I.A. (2010). *Investigações no Campo da Programação Semafórica*. Dissertação de mestrado em planejamento e operação de sistemas de transporte. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Kerner, B. S. (2009). *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control - The Long Road to Three Phase Traffic Theory*. Springer, London.
- Luna, M.S. (2003). *Sobre o Fluxo de Saturação: Conceituação, aplicação, determinação e variação*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Universidade de Federal do Ceara. Fortaleza, CE.
- Santos, C. L. dos (2007). *Fluxo de Saturação de Interseções Complexas Controladas por Semáforos*. Dissertação de Mestrado em Transportes, COPPE, Rio de Janeiro, RJ
- Silva, T. L. P. Q. (2002). *Estudo do Headway de Descarga de Veículos em Interseções Controladas por Semáforos*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- Silva, P. C. M. (1994). *Engenharia de Tráfego - Apostila: Teoria do Fluxo de Tráfego*. Universidade de Brasília. Brasília, DF.