

TEMPO DE PERCEPÇÃO E REAÇÃO DOS MOTORISTAS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

Luiz Afonso Penha de Sousa
Paulo Cezar Martins Ribeiro

Programa de Engenharia de Transportes- COPPE/UFRJ

RESUMO

Este artigo tem por objetivo determinar o Tempo de Percepção e Reação (TPR) dos motoristas para acionar o freio diante do aspecto amarelo em interseções semaforizadas. Essas informações são utilizadas, entre outras aplicações, no cálculo do tempo de amarelo dos semáforos. Esse estudo se faz necessário devido à falta de pesquisas no âmbito nacional, fazendo com que sejam empregados os valores encontrados em pesquisas estrangeiras, que podem não refletir a realidade do país devido à diferença cultural dos condutores, tipos de veículo e condições da pista. Sendo assim, foram coletados dados de quatro interseções na cidade do Rio de Janeiro e através de *softwares*, os dados foram tratados e comparados com aqueles encontrados na revisão bibliográfica. Os resultados sugerem que seja adotado o valor de 1,3 segundos para o TPR.

ABSTRACT

This work aims to find Perception-Reaction Times (PRT) of driver's at the yellow aspect in signalized intersections. This information is used, among other applications, to calculate the of yellow time interval. The importance of this study is to fill the lack of research at national Brazilian level, which forces the use of values gathered in research in other countries, which may not reflect the reality of Brasil, due to several differences of drivers, vehicle types and street conditions. Thus, data were collected from four intersections in the city of Rio de Janeiro and by the use of specific software, these data were processed and compared with those found in the literature review. The results suggest that it is adopted the value of 1.3 seconds for PRT.

1. INTRODUÇÃO

Estudar o comportamento do motorista em interseções semaforizadas é fundamental para reduzir a probabilidade de acidentes. Entre as variáveis envolvidas nesse processo, está o Tempo de Percepção e Reação (TPR), que pode ser definido como o tempo que o condutor necessita para, a partir do momento em que visualiza uma situação, aplicar uma reação. Homburger (2003) descreveu o processo no qual o condutor avalia e reage a uma ação em quatro etapas:

- 1ª Percepção: instante em que o motorista visualiza um objeto na rodovia ou um sinal de alerta;
- 2ª Identificação: etapa onde é identificado o objeto percebido na etapa anterior;
- 3ª Emoção: o condutor decide que reação irá ser tomada; por exemplo, pisar nos freios, mudar de faixa, desviar do objeto ou ainda cruzar a interseção;
- 4ª Reação: é a etapa na qual o motorista executa a ação decidida durante a etapa de emoção.

Nesse estudo, a percepção é a mudança da luz verde do semáforo para a amarela. A identificação é o momento em que o condutor constatou essa troca. No 3º passo, o motorista analisa e decide qual atitude irá ser tomada e a última etapa é a execução da escolha feita na fase anterior. O período de tempo necessário para ocorrer todo esse processo é o Tempo de Percepção e Reação.

Na engenharia de tráfego, o TPR tem aplicabilidade direta no cálculo das distâncias de parada, no dimensionamento do tempo de amarelo e no cálculo da extensão da zona de dilema. A variação do TPR em apenas 0,5 segundos aumenta consideravelmente a distância de parada necessária para um processo de frenagem seguro (Caird *et al.*, 2007) enquanto a

utilização de valores insuficientes ocasiona em tempos de amarelo curtos e, portanto, aumenta a possibilidade de acidentes nas interseções.

Após a revisão na literatura sobre o tema, não foram encontrados estudos realizados no Brasil para determinar o TPR. Dessa forma, a única alternativa dos profissionais da área de engenharia de tráfego tem sido utilizar informações obtidas através das pesquisas em outros países, o que pode não refletir uma situação real, tendo em vista que o comportamento dos condutores sofre influência de fatores como cultura, educação, características dos veículos utilizados e ainda as condições das vias.

Diante desse cenário, o objetivo dessa pesquisa é determinar o tempo necessário para o condutor iniciar o processo de frenagem diante do início do tempo de amarelo em uma interseção semaforizada. O artigo também busca verificar a influência da posição do veículo em relação à linha de retenção nos valores encontrados para o TPR.

2. ESTADO DA ARTE

Green (2000) *apud* Rakha *et al.* (2007) classificou as metodologias usadas para determinar os valores do TPR em 3 tipos: simulação, vias monitoradas e observação. De acordo com Rakha *et al.* (2007), na primeira, costuma-se encontrar médias baixas, pois o motorista possui um menor campo de visão, imagens simplificadas e cenário limitado. Segundo o mesmo autor, em vias monitoradas também são produzidos valores menores, pois o condutor costuma estar mais alerta comparado com as vias em condições normais. Na última, observação em campo, os resultados encontrados possuem maior validade devido à diminuição das influências externas, porém nesse método ocorrem limitações, uma vez que nem sempre é possível avaliar a influência de variáveis específicas como o gênero e a idade dos condutores. Entretanto, em pesquisas anteriores (Colella, 2008), não foram observadas diferenças significativas entre TPR entre os grupos mencionados.

A Tabela 1 apresenta o resumo das pesquisas encontradas na bibliografia e a metodologia utilizada para obtenção dos valores de TPR.

Tabela 1: Resumo da revisão bibliográfica sobre TPR

Estudo	Tipo de Estudo	TPR Médio (s)	Intervalo de Variação (s)	Mediana (s)	85 ^o Percentil
Gazis <i>et al.</i> (1960)	Observação em campo	1,14	0,6 – 2,4	1,10	1,50
Crawford (1962)	Experimental, pista de testes	-	0,8 – 1,85	-	-
Wortman e Matthias (1985)	Observação em Campo	1,30	1,09 – 1,55	-	1,80
Chang <i>et al.</i> (1985)	Observação em Campo	1,3 (V<64 km/h) 0,9 (V>64 km/h)	0,70 – 1,55	1,10 (V<64 km/h) 0,90 (V>64 km/h)	1,90
Mussa <i>et al.</i> (1996)	Experimental (simulador)	1,16	-	-	-
Caird <i>et al.</i> (2005)	Experimental (simulador)	0,96	0,50 – 2,20	0,92	1,22
Colella (2008)	Experimental, pista de testes	0,64 (55m) 0,86 (111m)	-	-	0,8 (55m) 1,1 (111m)

Fonte: Sousa (2011).

De uma forma geral, o valor médio encontrado na literatura para o TPR ficou próximo de 1,0 segundo, o mesmo sugerido pelo ITE (1994) para o dimensionamento do tempo de amarelo. Entretanto, é necessário registrar algumas divergências verificadas na bibliografia sobre esse tema, principalmente sobre a influência da idade e gênero do condutor do veículo no TPR.

É importante registrar que em todos os exemplos encontrados na revisão bibliográfica, independente da metodologia aplicada (simulação ou observação), a pesquisa não foi realizada no Brasil. Nesse aspecto, esse trabalho permite verificar se há ou não diferenças entre o comportamento do motorista brasileiro e o de outros países.

3. OBTENÇÃO DOS DADOS

3.1. Metodologia

Os Tempos de Percepção e Reação foram registrados a partir do momento em que inicia o tempo de amarelo no semáforo até o acionamento do freio pelo motorista do primeiro veículo a parar na linha de retenção. Essa verificação foi realizada através do programa *Microsoft Expression Encoder 3.0*, pois no mesmo é possível executar o vídeo em pequenos intervalos de tempo, permitindo detectar o momento exato em que surge tanto a luz amarela do semáforo como a luz de freio na lanterna traseira do veículo que se aproxima da linha de retenção.

A metodologia adotada para obtenção dos dados foi semelhante à utilizada por Liu *et al.* (2006), Gates *et al.* (2007) e Li (2009), com exceção do programa para executar o vídeo. Nesse tipo de procedimento adotado não é possível conhecer a idade e o gênero dos condutores, pois os mesmos não podem ser visualizados e não foram identificados preliminarmente. Os seguintes dados foram obtidos a partir das gravações:

- Tempo no vídeo no instante em que surge o sinal amarelo;
- Tempo no vídeo no instante em que surge a luz de freio;
- Distância da linha de retenção no instante em que surge o sinal amarelo.

Para a coleta de dados, não foram considerados os tempos de percepção e reação dos veículos que distavam, no instante do surgimento do amarelo, mais de 120 metros da linha de retenção, pois uma grande parcela dos condutores desses veículos opta para iniciar o processo de frenagem através da retirada do pedal do acelerador (Caird *et al.*, 2007), utilizando muitas vezes o chamado freio - motor do veículo para executar a ação de frenagem, acionando o freio somente em um momento posterior. Em todo o processo, somente foram coletados os dados do primeiro veículo a parar na linha de retenção.

3.2. Escolha das Interseções

Foi selecionado um total de quatro interseções semaforizadas localizadas em pontos diferentes da cidade do Rio de Janeiro. Todas as vias podiam ser visualizadas a partir do sistema de câmeras da Companhia de Engenharia de Tráfego. A escolha desses locais para a coleta de dados seguiu a recomendação de Bonneson *apud* Gates *et al.* (2007), que são:

- Vias com diferentes tipos de velocidade de aproximação;
- Ciclos semaforicos variados;
- Tempos de amarelo distintos;
- Locais onde não haja congestionamentos;
- Locais com diferentes volumes de tráfego.

Além desses fatores, para evitar que o comportamento do motorista sofresse influência de alguma característica específica do local, foram evitadas as interseções que apresentavam paradas de ônibus ou vans, pavimentação deficiente, presença de medidas moderadoras de tráfego, entrada e saída de veículos, uma única faixa de tráfego e dispositivos de fiscalização de avanço de sinal vermelho. A Tabela 2 apresenta as principais características das vias principais das interseções escolhidas.

Tabela 2: Característica das Interseções

Características	Via*			
	1	2	3	4
Número de faixas	3	3	4	3
Largura da Pista [m]	9,90	9,60	12,60	9,60
Tempo de amarelo [seg]	4	3	4	4
Tempo de ciclo [seg]	150	120	140	110
Velocidade regulamentada [km/h]	70	60	60	60

*Dados da via principal.

3.3. Gravação dos Vídeos

A Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro possui implantado o sistema de controle de tráfego por área (CTA) que tem por função monitorar e controlar em tempo real parte dos semáforos da cidade a partir de computadores localizados no centro de controle. Após selecionar as interseções, as câmeras foram focadas de forma a tornar possível observar a linha de retenção, o sinal semafórico e ainda um trecho considerável da via. Geralmente, para que todos esses requisitos sejam atendidos, a câmera deve estar em uma posição elevada, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1: Visão a partir de uma câmera da Prefeitura do Rio de Janeiro

Entretanto, devido ao ângulo existente entre a linha de visão da câmera e a superfície do pavimento, a distância do veículo à linha de retenção no vídeo pode não representar a

distância real em campo. Portanto, foram marcados pontos de referência na via para possibilitar a medição real das distâncias no vídeo. Desde que a distância à linha de retenção seja conhecida, podem ser utilizados cones, linhas demarcadoras de tráfego ou ainda qualquer pintura realizada na via. Esses pontos de referência são necessários para que sejam traçadas linhas perpendiculares à via que servirão como base para determinar a distância do veículo à linha de retenção no início do processo de frenagem.

As linhas foram traçadas utilizando o recurso *print screen* no vídeo gravado no instante em que não há nenhum veículo se aproximando da interseção. A partir do arquivo imagem gerado, foi utilizado o programa *AutoCad 2010* para traçar as linhas transversais à via. Posteriormente, através do programa *Microsoft Expression Encoder 3.0*, o arquivo imagem é adicionado como “máscara”, sendo possível executar o vídeo gravado e visualizar as linhas simultaneamente, conforme mostra a Figura 2, que apresenta o layout do programa.

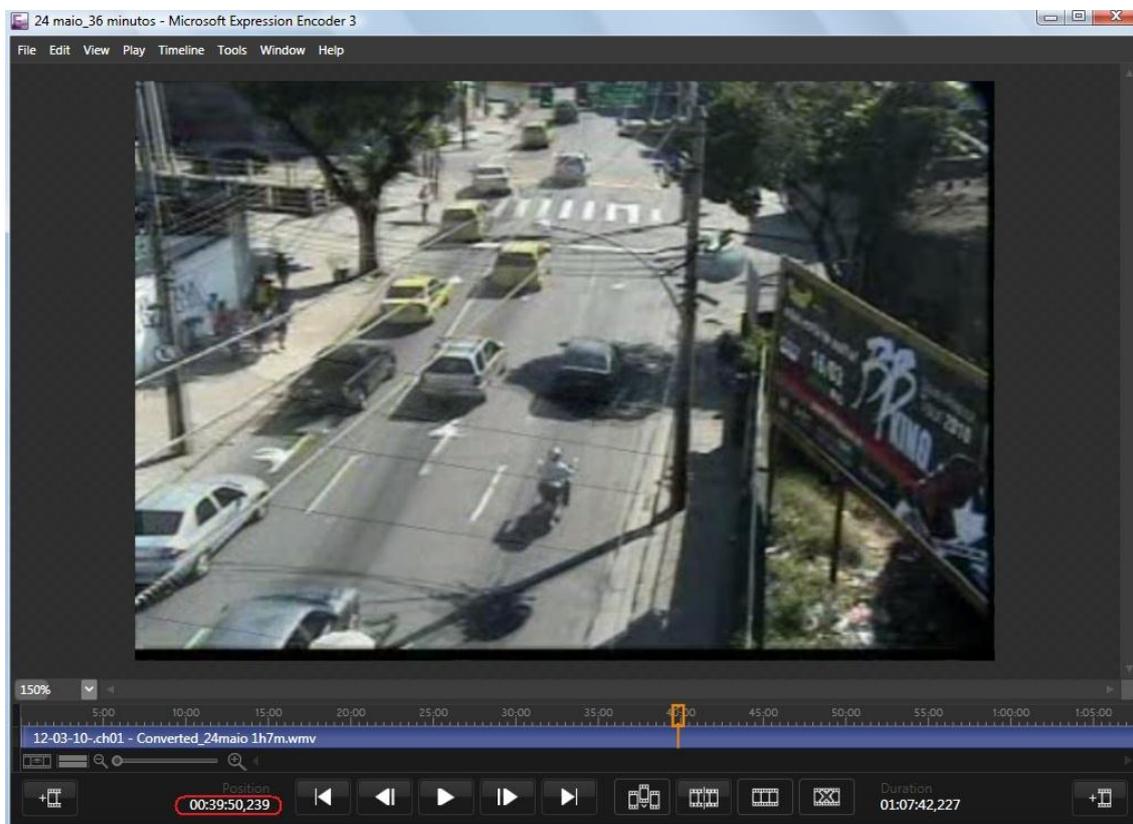


Figura 2: Layout do programa *Microsoft Expression Encoder* com um trecho da via

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados representam os valores somente para veículos do tipo automóveis, distribuídos em função da distância da linha de retenção no momento que surge a luz amarela (ver Figura 3). Foi observado um total de 146 automóveis nas quatro interseções abordadas, e as distribuições de frequência simples e acumuladas dos TPR observados são mostradas nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

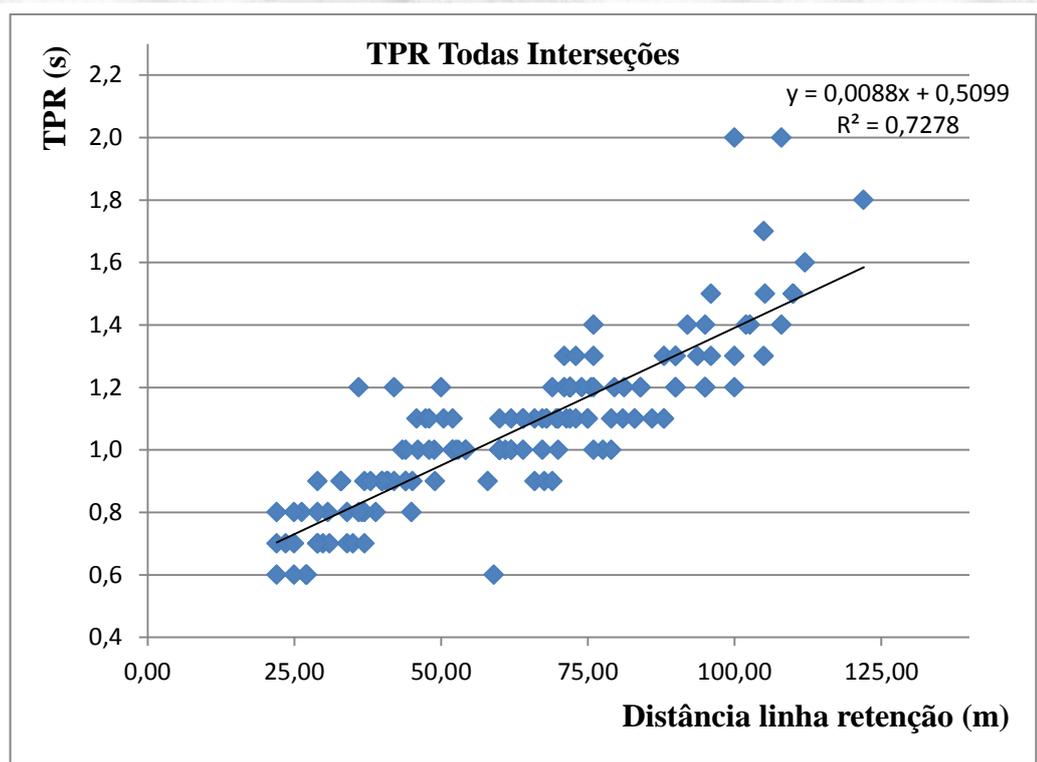


Figura 3: Distribuição do TPR em todas as interseções (n = 146)

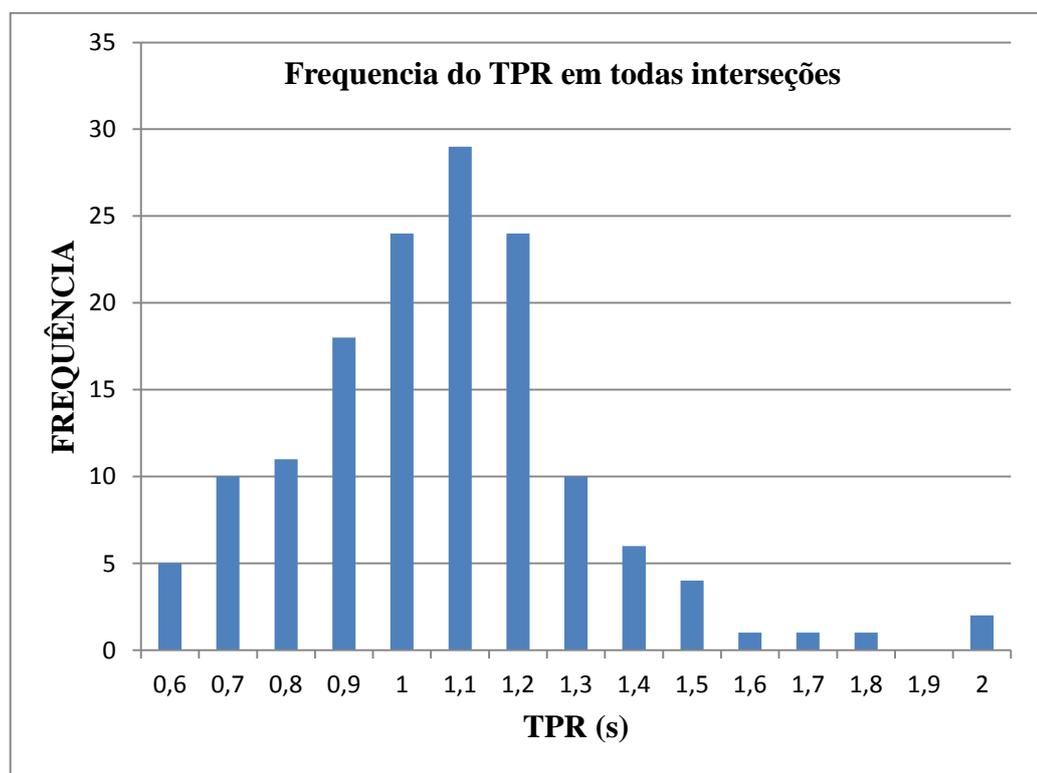


Figura 4: Frequência do Tempo de Percepção e Reação em todas as interseções (n = 146)

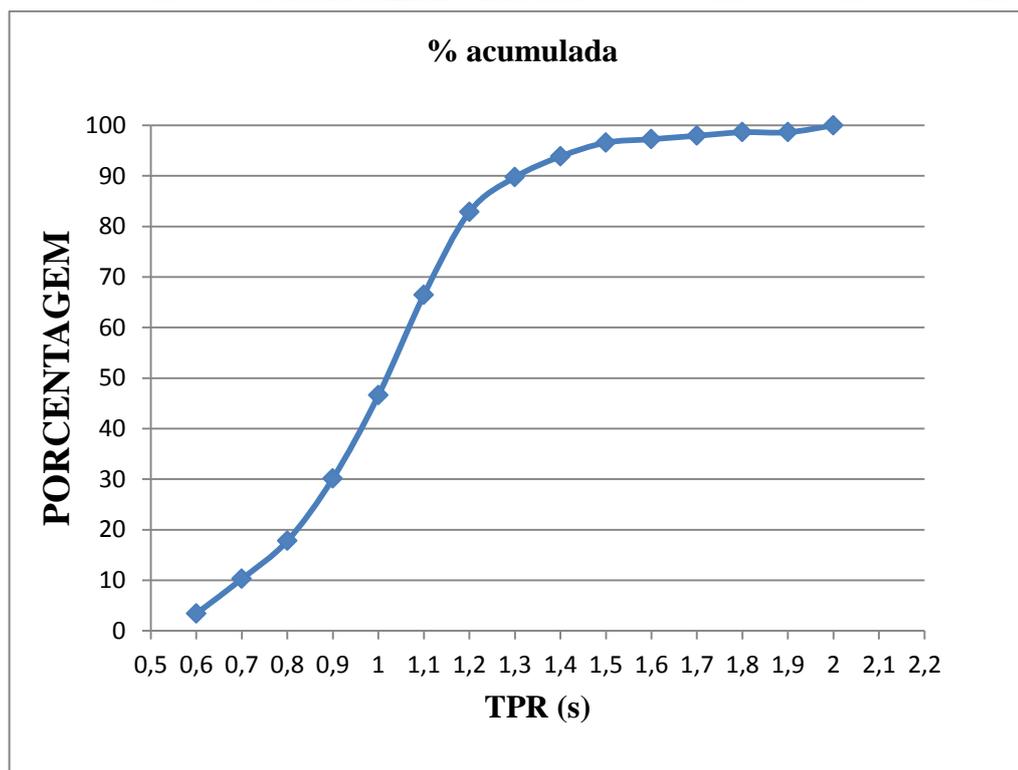


Figura 5: Frequência acumulada do TPR em todas as interseções (n = 146)

Os principais valores obtidos para o tempo de percepção e reação estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Principais resultados encontrados para o TPR dos automóveis

Aproximação	Amostra	Média	85º Percentil	Desvio Padrão
1 - Av. Atlântica	35	1,1	1,2	0,17
2 - Av. 24 de maio	36	1,0	1,2	0,20
3 - Av. Pres. Vargas	38	1,0	1,2	0,21
4 - Av. D. Hélder	37	1,2	1,3	0,33
Total	146	1,1	1,3	0,25

Os resultados apresentados na Figura 3 demonstram que conforme mais próximo o condutor estiver da linha de retenção menor é o tempo de percepção e reação para iniciar o processo de frenagem. A análise global de todos os veículos observados mostrou uma relação linear satisfatória entre o TPR e a distância do veículo à linha de retenção no momento em que surge a indicação do amarelo. O coeficiente de determinação (R^2) dessa regressão linear foi de 0,727 (ver Figura 3). Entre as interseções, sob o ponto de vista da engenharia de tráfego, não houve diferenças significativas dos resultados encontrados, apenas a média dos tempos de percepção e reação das interseções dois e três foram relativamente inferiores. Uma hipótese para esse fato pode ser o maior fluxo de veículos nessas vias.

O menor valor encontrado foi de 0,6 segundos, encontrado cinco vezes, e o maior de 2 segundos com apenas uma ocorrência. Não foram encontrados valores maiores para o TPR provavelmente devido à limitação imposta para selecionar a amostra (somente veículos a

menos de 120 m da linha de retenção). Foi observado que o valor de 1,3 segundos representa o 85º percentil da amostra.

É necessário registrar que os valores encontrados nesse trabalho, considerando o conjunto das interseções, foram superiores ao sugerido pelo ITE (1994), que é de 1,0 segundo para automóveis. No caso do valor médio, o resultado encontrado (1,1 s) foi 10% superior e o 85º Percentil (1,3 s) foi 30% superior.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo da pesquisa foi alcançado através da análise de 146 automóveis em quatro interseções semaforizadas na cidade do Rio de Janeiro, onde foram obtidas as médias do Tempo de Percepção e Reação a partir do instante em que surge a indicação amarela.

A necessidade dessa pesquisa ocorreu devido à falta de referência nacional sobre o tema, levando muitas vezes os técnicos em engenharia de tráfego a consultarem as pesquisas de autores estrangeiros ou ainda seguirem as recomendações dos órgãos de engenharia de transportes de outros países, sem saberem se o TPR refletia a realidade dos motoristas brasileiros.

A média encontrada de 1,1 segundos para o Tempo de Percepção e Reação foi próxima aos valores encontrados na literatura estrangeira, apresentada na Tabela 1. Os resultados indicados na Figura 3 apresentam uma relação linear entre o TPR e a posição do veículo até a linha de retenção, onde conforme mais próximo da mesma, menor é o tempo de reação do motorista. Para a utilização na engenharia de tráfego, essa pesquisa sugere que seja adotado o valor de 1,3 segundos como o TPR dos condutores em interseções semaforizadas.

É necessário que sejam feitas novas pesquisas para verificar se há diferenças entre o tempo de percepção e reação em função da idade (jovem x adulto), sexo (homens x mulheres) e declividade da pista (aclive x declive), pois há estudos que relatam discretas diferenças (Colella, 2008), enquanto outros sugerem não haver (Caird *et al.*, 2007). Devido à metodologia aplicada nesse trabalho não foi possível registrar essas divergências.

Como recomendações, são necessários mais estudos para analisar o comportamento do motorista brasileiro em interseções semaforizadas, com uma normatização para a coleta de dados dos veículos e a utilização de equipamentos modernos para a medição das informações a serem coletados, tais como velocidade de aproximação, distância até linha de retenção e tempo transcorrido até a parada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caird, J. K., Chisholm, S. L., Edwards, C. J. e Creaser, J. I. (2005) "The Effect of Amber Light Onset Time on Older and Younger Drivers Perception Response Time (PRT) and Intersection Behavior". In: *Transportation Research Board, 84th Annual Meeting*, Washington DC, EUA.
- Caird, J. K., Chisholm, S. L., Edwards, C. J. e Creaser, J. I. (2007) "Do In-Vehicle Advanced Signs Enhance Older and Younger Drivers Intersection Performance? Driving Simulation and Eye Movement Results". In: *Transportation Research Part F 10 Traffic Psychology and Behaviour*, v.10. p. 383-396.
- Chang, M. S.; Messer, C. J.; Santiago, A. J., (1985) "Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior". In: *Transportation Research Record 1027, TRB*, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-30.

- Colella, D.A.T. (2008) *Comportamento dos Motoristas em Interseções SemafORIZADAS*. Dissertação Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Brasil.
- Crawford, A. (1962). "Driver judgment and error during the yellow period at traffic lights. *Ergonomics*" 513–532.
- Gates, T.J.; Noyce, D.A.; Laracuent, L. e Nordheim, E.V. (2007) "Analysis of Driver Behavior in Dilemma Zones at Signalized Intersections". In: *Transportation Research Record No. 2030*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 29- 39.
- Gazis, D., R. Herman, e A. Maradudin., (1960) "The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow". *Operations Research*, Vol. 8, pp. 112–132.
- Homburger, W. S., (2003). *Fundamentals of Traffic Engineering*. University of California. Berkeley, EUA.
- ITE (1994). *Determining Vehicle Signal Change and Clearance Intervals*. An Informational Report of the ITE. ITE, Washington, DC.
- LI, Z., (2009). "Modeling Dynamic Dilemma Zones using Observed Yellow-Onset Trajectories". In: *ITE Journal - Institute of Transportation Engineers*, vol.79 no.11, pp. 29-35. EUA.
- Liu, G.; Chang, L.; Tao, R.; Tabacek, R. and Hicks, T. (2006) "Measuring the Response of Drivers to a Yellow Phase With a Video Based Approach". In: *Proc. of the 9th International Conf. on Applications of Advanced Technologies in Transportation*, pp. 578-583, Chicago, EUA.
- Mussa, R. N., Newton, C. J., Matthias, J. S., Sadella, E. K., & Burns, E. K. (1996). "Simulator evaluation of green and flashing yellow signal phasing." In: *Transportation Research Record*, 1550, 23–29.
- Rakha, H; El-Shawarby, I; Setti, J. R., (2007). "Characterizing Driver Behavior on Signalized Intersection Approaches at the Onset of a Yellow-Phase Trigger". In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, No. 4, pp. 630-640.
- Sousa, L. A. P. (2011) *Taxas de Desaceleração e Tempos de Percepção e Reação dos Motoristas em Interseção SemafORIZADAS*. Dissertação Mestrado. Programa de Engenharia de Transportes. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Wortman, R. H., e Matthias, J. S. (1985). "Evaluation of Driver Behavior at Signalized Intersections". In: *Transportation Research Record 904, TRB*, National Research Council, Washington, D.C., pp. 10–20.