

# ANÁLISE DAS DURAÇÕES DOS SINAIS DE SEMÁFORO VISANDO MELHORAR O FLUXO DE VEÍCULOS EM UM CRUZAMENTO DE VIA DA CIDADE DE PONTA GROSSA-PR

**Carla Harumi Yoshima (UTFPR )**  
carla.harumi@hotmail.com  
**Fanny Kovaleski (UTFPR )**  
fannyk92@hotmail.com  
**Luik de Faria (UTFPR )**  
luikfaria@gmail.com  
**Shih Yung Chin (UTFPR )**  
chin@utfpr.edu.br



*O objetivo deste estudo é melhorar o tráfego de um cruzamento de vias da cidade de Ponta Grossa-PR visando reduzir o tamanho de fila. Para isso, fez-se uso da análise do cenário atual como base para propor uma melhoria na programação temporal e, a partir de conceitos de Teoria das Filas, simular a eficiência da alteração. As sugestões indicam que aumentar (ou diminuir) o tempo do semáforo permite reduzir os tempos de espera bem como o tamanho da fila em aproximadamente 30%.*

*Palavras-chaves: Teoria das Filas, tráfego, semáforo*

## 1. Introdução

Em uma sociedade em que a prestação de serviço encontra-se de maneira cada vez mais saturada, é largamente comum deparar-se com necessidade de espera pelo atendimento requerido. Esse cenário pode ser constatado nos mais variados tipos de serviços que usufrui-se, e em diferentes proporções, com distinção devido a variáveis bem específicas (localização, horários, entre outros). Adentra-se então a um tema que, embora aplicável em muitas áreas, apresenta “sintomas” e até mesmo “tratamentos” semelhantes, as filas.

Segundo a lei nº 9.503 do Código de Trânsito Brasileiro, considera-se trânsito a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga e descarga. A partir de então, pode-se desmistificar a ideologia de que trânsito consiste em uma disfunção do atendimento prestado, ou popularmente, no congestionamento do tráfego de veículos.

Esse congestionamento de veículos, por sua vez, define-se pela acumulação de trânsito dificultando a circulação de determinada área, que em dadas situações pode vir a ser controlado por um semáforo. Todavia, Akishino (2014, p.139) ressalta que “os semáforos são dispositivos utilizados com objetivo de ordenar o tráfego e, quando instalado indevidamente ocasiona:

- a) Espera desnecessária, impaciência e custo social;
- b) Estimulo ao desrespeito, descrédito do semáforo;
- c) Pedestres expostos a avanços imprevistos dos veículos”.

A partir dessas informações, pode-se expandir o conceito apontado pelo autor para a existência de um semáforo em local oportuno, porém com sua programação temporal equivocada. Esse, por sua vez, quando não está em sincronia com a necessidade do local ou da demanda, vem a acarretar a formação de filas.

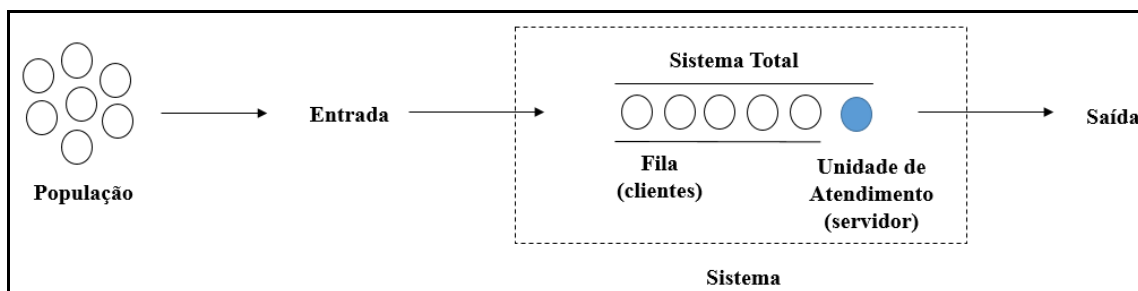
Cientes de tal problemática, este estudo tem por objetivo a análise da programação temporal de dois semáforos existentes em uma avenida da cidade de Ponta Grossa e suas respectivas filas, uma vez que é notório o crescimento quantitativo de veículos circulando não só em Ponta Grossa como em todas as principais cidades brasileiras.

## 2. Referencial teórico

Teoria das Filas é um tema estudado na área da Pesquisa Operacional que utiliza fundamentos básicos de processos estocásticos aliados à conceitos de matemática aplicada para analisar aspectos acerca da formação de filas e suas características. (BRUNS et al, 2001). Em contrapartida, sob outra ótica, Sucena (2007) afirma que Teoria de Filas é uma técnica que tem por finalidade identificar e tratar problemas de congestionamento em um devido sistema, os quais, na maioria das vezes, acabam ocasionando filas.

Desta forma, pode-se caracterizar Sistema de Filas como o processo de chegada de indivíduos de dada população para receber um serviço, pelo qual será necessário certo tempo de espera, saindo do sistema somente quando é concluído o atendimento. (SINAY, 2004). Para fins de entendimento acerca do conceito e das possíveis aplicações da teoria, segue a representação de um sistema geral de filas.

Figura 1 – Representação geral de filas



Fonte: Adaptado de Sucena (2007)

Segundo Bruns et al (2001) fila é definida por um fluxo de chegadas (veículos, navios, entre outros) a um sistema de atendimento, que pode ser composto por uma ou mais unidades de atendimento. As unidades, por sua vez, podem prestar atendimento de duas maneiras: individualmente (caixa de banco, lotérica) ou em grupos (veículos em um semáforo e pessoas em um elevador). É formada em virtude dos servidores estiverem ocupados, assim que algum servidor é liberado a fila então passa a ser reduzida.

A literatura apresenta as seguintes disciplinas, que diz respeito como os clientes que estão na fila serão selecionados para o atendimento: FIFO (*First-In-First-Out*), onde o primeiro indivíduo a chegar é atendido primeiro; LIFO (*Last-In-First-Out*), o último indivíduo que chega é atendido primeiro; SIRO (*Service-In-Random-Order*), o atendimento dos indivíduos é

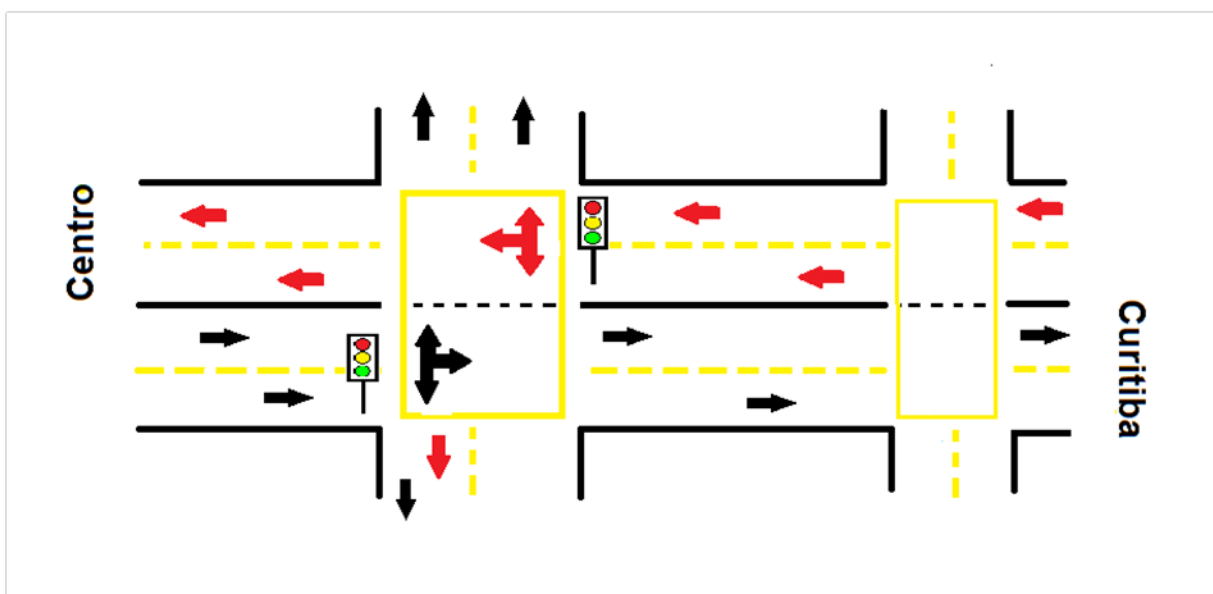
feita de maneira aleatória; SPT (*Shortest-Processing-Time first*), o atendimento ao indivíduo começa pelo o qual tiver o atendimento menor; atendimento por determinado critério de prioridade, caixas em supermercados prioritários para idosos, entre outros. Para o caso do fluxo de veículos em um cruzamento, a disciplina que melhor caracteriza é o FIFO sendo, portanto, o escolhido para este estudo.

### 3. A problemática dos semáforos

Em uma avenida de sentido duplo e com um cruzamento no meio, de acordo com a figura 2, na cidade de Ponta Grossa, encontra-se um alto congestionamento no horário de pico, entre 17:45 as 19:00 horas. Percebe-se que a avenida sentido centro, possui uma alta demanda de veículos. Essa demanda influenciaria diretamente no cruzamento antecessor, como ilustrado na figura 2. Ao mesmo tempo, essa mesma avenida no sentido oposto, não apresenta formação de filas.

Tendo em vista este cenário, foi concedida a tentativa de solucionar esse problema, através da mudança dos tempos de cada semáforo. Atualmente ambos possuem os mesmos tempos de duração, tanto na cor verde quanto na cor vermelha. Conforme a situação atual verificada, percebe-se claramente que não há estudos envolvendo as durações dos semáforos bem como os diferentes tipos de demanda.

Figura 2 – Ilustração de cenário analisado



#### 4. Metodologia

Os dados foram coletados manualmente e transcritos para o Microsoft Excel para uma futura análise. Foi registrado o número de veículos que passaram e que chegaram no sinal verde e no vermelho. O número de veículos do sinal amarela foi somando junto ao do sinal verde. Determinou-se a coleta de 40 dados como base no número de amostras necessárias para a validação dos resultados, dentro do período de pico, 20 para sinal verde e amarelo e 20 para o sinal vermelha de forma sequencial. A partir desses dados coletados, foi realizado uma série de análise envolvendo como base a Teoria das Filas, através do método tabelado e representações gráficas para tornarem esses dados mais claros e compreensíveis.

Embasado nos atributos descritos anteriormente, tem-se a modelagem matemática que visa a análise dos indicadores do problema proposto.

O estudo é dimensionado com a base temporal do semáforo. É esse o divisor entre os períodos ( $i$ ) a serem considerados nos cálculos, sendo limitado pela quantidade,  $n = 40$ , para satisfazer critérios estatísticos. As mudanças no sinal emitido pelo semáforo caracteriza um novo período, lembrando que o sinal amarelo está sendo considerado juntamente ao verde uma vez que nesse ainda pode-se transitar com o veículo.

Prossegue-se então estimando a chegada ( $Ch(i)$ ) de automóveis por semáforo. Tabula-se esse resultado bem como o valor de chegada acumulada ( $Ch\ Acumulada$ ) até o período ( $i$ ) considerado. Chegada acumulada consiste no valor de todas as chegadas até o período analisado somadas, sendo descrito por:

$$Ch\ Acumulada(i) = Ch(i) + Ch\ Acumulada(i - 1)$$

Neste caso particular de aplicação da teoria de filas, proposto pelo estudo, o atendimento é fornecido a partir do momento em que o sinal emitido pelo semáforo passa a ser o verde. É então analisado a quantidade de veículos atendidos ( $At(i)$ ), ou seja, a quantidade de veículos que continuaram seu trajeto a partir do semáforo estudado. Faz-se igualmente necessário o conhecimento do atendimento acumulado ( $At\ Acumulado$ ), que consiste na soma de todos os atendimentos prestados até o período ( $i$ ) considerado, e é descrito por:

$$At\ Acumulado(i) = At(i) + At\ Acumulado(i - 1)$$

Com o intuito de conhecer a fila formada perante o semáforo, utiliza-se os dados calculados até então para a atribuição do valor de fila de cada período ( $i$ ):

$$Fila(i) = Ch\ Acumulada(i) - At\ Acumulado(i)$$

- Fila máxima ( $L_{q_{máx}}$ ) do sistema. Após o cálculo das filas geradas no dado período de tempo analisado no estudo, seleciona-se a de maior valor para representar a fila máxima.
- Fila média do sistema ( $\bar{L}_q$ ). O cálculo é descrito por:

$$\bar{L}_q = \frac{\sum_{i=1}^n Fila}{n}$$

## 5. Análise dos dados

Para uma melhor análise os dados foram convertidos em tabelas e em gráficos.

Tabela 1 – Semáforo sentido Curitiba

Tempo (segundos)	Ch	Ch Ac	At	At Ac	Fila
22,08	2	2	2	2	0
67,20	10	12	0	2	10
89,28	3	15	13	15	0
134,4	12	27	0	15	12
156,48	4	31	16	31	0
201,6	13	44	0	31	13
223,68	2	46	15	46	0
268,8	9	55	0	46	9
290,88	2	57	11	57	0
336	9	66	0	57	9
358,08	2	68	11	68	0
403,2	15	83	0	68	15
425,28	3	86	18	86	0
470,4	14	100	0	86	14
492,48	0	100	14	100	0
537,6	12	112	0	100	12
559,68	4	116	16	116	0
604,8	15	131	0	116	15
626,88	1	132	16	132	0
672	16	148	0	132	16
694,08	2	150	18	150	0
739,2	13	163	0	150	13
761,28	5	168	18	168	0
806,4	12	180	0	168	12
828,48	3	183	15	183	0
873,6	15	198	0	183	15
895,68	1	199	16	199	0
940,8	13	212	0	199	13
962,88	0	212	13	212	0
1008	14	226	0	212	14
1030,08	2	228	16	228	0
1075,2	11	239	0	228	11
1097,28	5	244	16	244	0
1142,4	12	256	0	244	12
1164,48	5	261	17	261	0
1209,6	11	272	0	261	11
1231,68	4	276	15	276	0
1276,8	16	292	0	276	16
1298,88	1	293	17	293	0
1344	9	302	0	293	9
1366,08	6	308	15	308	0

Gráfico 1 – Semáforo sentido Curitiba

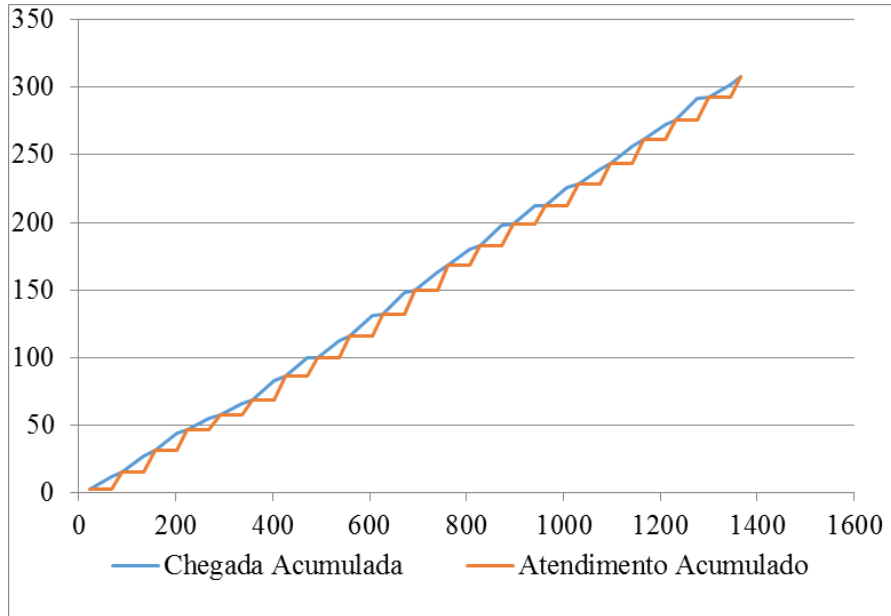
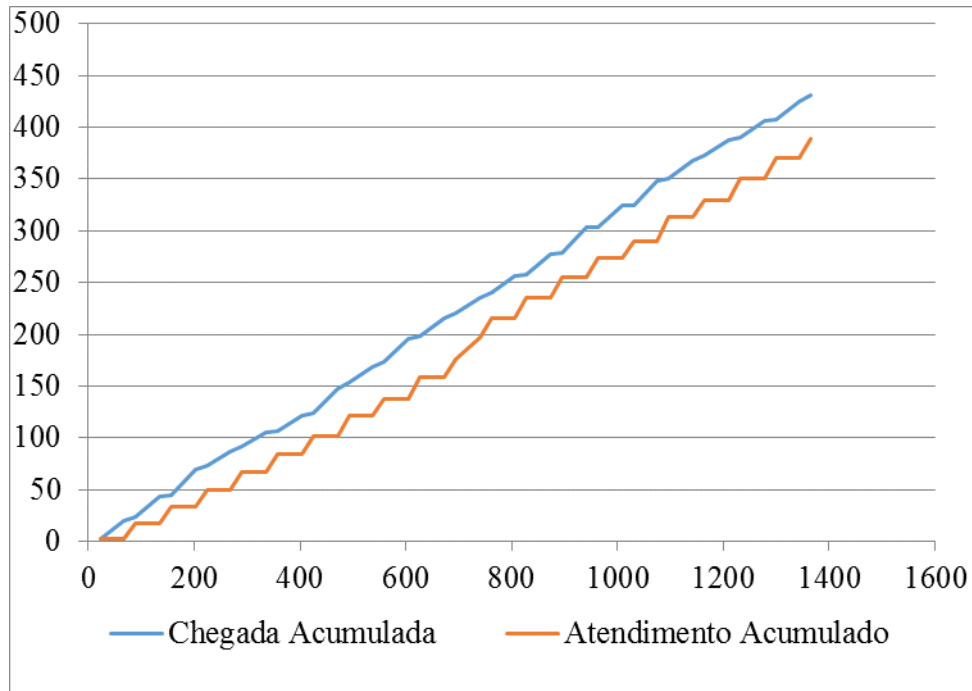


Tabela 2 – Semáforo sentido centro

Tempo (segundos)	Ch	Ch Ac	At	At Ac	Fila
22,08	4	2	15	2	0
67,20	18	20	0	2	18
89,28	3	23	15	17	6
134,4	20	43	0	17	26
156,48	2	45	16	33	12
201,6	25	70	0	33	37
223,68	3	73	17	50	23
268,8	14	87	0	50	37
290,88	5	92	17	67	25
336	13	105	0	67	38
358,08	2	107	17	84	23
403,2	14	121	0	84	37
425,28	3	124	18	102	22
470,4	24	148	0	102	46
492,48	6	154	19	121	33
537,6	15	169	0	121	48
559,68	4	173	17	138	35
604,8	23	196	0	138	58
626,88	2	198	20	158	40
672	18	216	0	158	58
694,08	4	220	18	176	44
739,2	15	235	21	197	38
761,28	5	240	18	215	25
806,4	16	256	0	215	41
828,48	2	258	20	235	23
873,6	20	278	0	235	43
895,68	1	279	20	255	24
940,8	24	303	0	255	48
962,88	1	304	19	274	30
1008	20	324	0	274	50
1030,08	1	325	16	290	35
1075,2	23	348	0	290	58
1097,28	3	351	23	313	38
1142,4	17	368	0	313	55
1164,48	5	373	17	330	43
1209,6	15	388	0	330	58
1231,68	2	390	20	350	40
1276,8	16	406	0	350	56
1298,88	1	407	21	371	36
1344	18	425	0	371	54
1366,08	6	431	18	389	42

Gráfico 2 – Semáforo sentido centro





No semáforo sentido Curitiba, analisando os dados coletados percebe-se que não há a formação de filas, no instante do sinal verde. Já em consideração ao outro semáforo, sentido centro, encontrou uma fila máxima de 44 veículos e uma fila média de 29,95, no instante do sinal verde. Toda esta diferença mostra que todas as outras análises serão prejudicadas, sendo assim, fica claro que o sistema está desequilibrado, precisando de algum tipo de melhoria.

## 6. Proposta de melhoria

Através de tempos cronometrados e de uma média aritmética simples, obteve o tempo de duração dos sinais luminosos verde e vermelho, 22,08 segundos e 45,12 segundos respectivamente. A partir disso, foi determinado um novo cenário, com um novo tempo de duração para cada semáforo com um aumento de 6% no sinal luminoso verde do sentido centro e uma redução de 6% no sinal luminoso vermelho sentido Curitiba, o que resultou alterações no número de veículos atendidos.

Foi necessária essa compensação, pois tratando de duas vias com um cruzamento no meio, não é possível a liberação de uma pista sendo que a outra esteja liberada. Ao alterar as durações dos semáforos em grandes porcentagens, não obteve-se resultados satisfatórios, justificando assim a porcentagem escolhida para mudança. E assim obtiveram-se os seguintes resultados, conforme a tabela 3 e 4 bem como o gráfico 3 e 4.

Tabela 3 – Cenário proposto para semáforo sentido Curitiba

Tempo (segundos)	Ch	Ch Ac	At	At Ac	Fila
20,7552	1,88	2	1,88	2	0
68,58	10,6	12,6	0	2	10,6
89,3376	2,82	15,42	12,22	14,22	1,2
137,1648	12,72	28,14	0	14,22	13,92
157,92	3,76	31,9	15,04	29,26	2,64
205,7472	13,78	45,68	0	29,26	16,42
226,5024	1,88	47,56	14,1	43,36	4,2
274,3296	9,54	57,1	0	43,36	13,74
295,0848	1,88	58,98	10,34	53,7	5,28
342,912	9,54	68,52	0	53,7	14,82
363,6672	1,88	70,4	10,34	64,04	6,36
411,4944	15,9	86,3	0	64,04	22,26
432,2496	2,82	89,12	16,92	80,96	8,16
480,0768	14,84	103,96	0	80,96	23
500,832	0	103,96	13,16	94,12	9,84
548,6592	12,72	116,68	0	94,12	22,56
569,4144	3,76	120,44	15,04	109,16	11,28
617,2416	15,9	136,34	0	109,16	27,18
637,9968	0,94	137,28	15,04	124,2	13,08
685,824	16,96	154,24	0	124,2	30,04
706,5792	1,88	156,12	16,92	141,12	15
754,4064	13,78	169,9	0	141,12	28,78
775,1616	4,7	174,6	16,92	158,04	16,56
822,9888	12,72	187,32	0	158,04	29,28
843,744	2,82	190,14	14,1	172,14	18
891,5712	15,9	206,04	0	172,14	33,9
912,3264	0,94	206,98	15,04	187,18	19,8
960,1536	13,78	220,76	0	187,18	33,58
980,9088	0	220,76	12,22	199,4	21,36
1028,736	14,84	235,6	0	199,4	36,2
1049,4912	1,88	237,48	15,04	214,44	23,04
1097,3184	11,66	249,14	0	214,44	34,7
1118,0736	4,7	253,84	15,04	229,48	24,36
1165,9008	12,72	266,56	0	229,48	37,08
1186,656	4,7	271,26	15,98	245,46	25,8
1234,4832	11,66	282,92	0	245,46	37,46
1255,2384	3,76	286,68	14,1	259,56	27,12
1303,0656	16,96	303,64	0	259,56	44,08
1323,8208	0,94	304,58	15,98	275,54	29,04
1371,648	9,54	314,12	0	275,54	38,58
1392,4032	5,64	319,76	14,1	289,64	30,12

Gráfico 3 – Cenário proposto sentido Curitiba

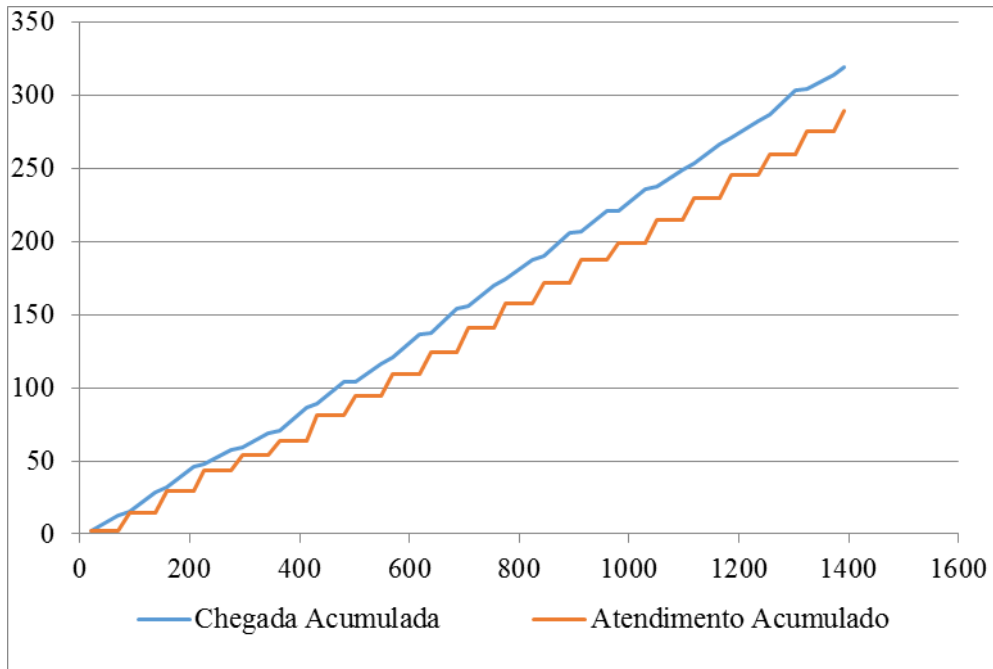
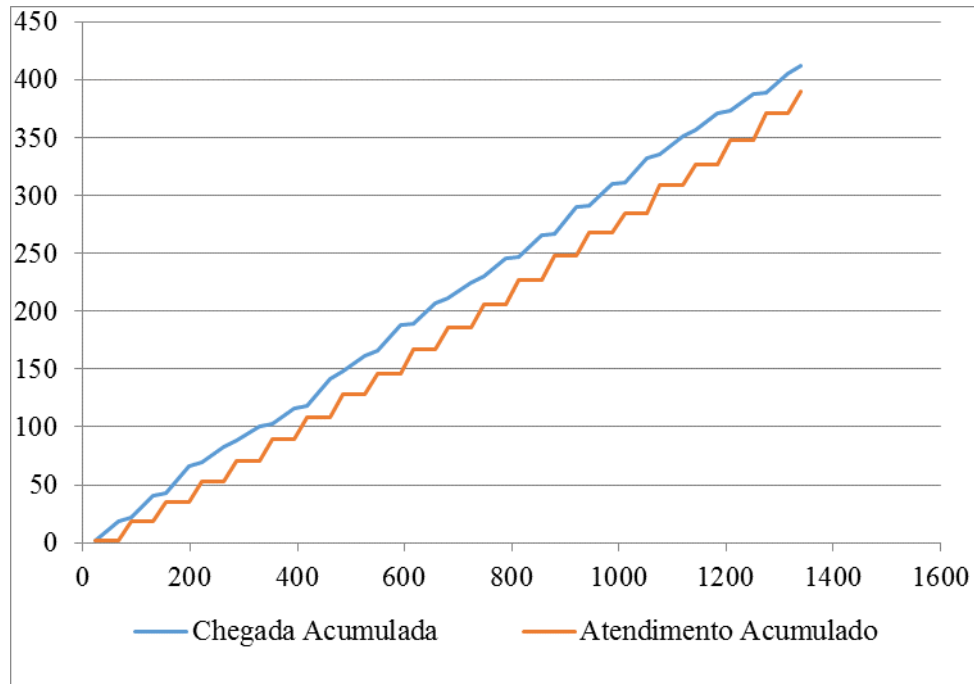


Tabela 4 – Cenário proposto sentido centro

Tempo (segundos)	Ch	Ch Ac	At	At Ac	Fila
23,4048	4,24	2	2,12	2	0
65,82	16,92	18,92	0	2	16,92
89,2224	3,18	22,1	15,9	17,9	4,2
131,6352	18,8	40,9	0	17,9	23
155,04	2,12	43,02	16,96	34,86	8,16
197,4528	23,5	66,52	0	34,86	31,66
220,8576	3,18	69,7	18,02	52,88	16,82
263,2704	13,16	82,86	0	52,88	29,98
286,6752	5,3	88,16	18,02	70,9	17,26
329,088	12,22	100,38	0	70,9	29,48
352,4928	2,12	102,5	18,02	88,92	13,58
394,9056	13,16	115,66	0	88,92	26,74
418,3104	3,18	118,84	19,08	108	10,84
460,7232	22,56	141,4	0	108	33,4
484,128	6,36	147,76	20,14	128,14	19,62
526,5408	14,1	161,86	0	128,14	33,72
549,9456	4,24	166,1	18,02	146,16	19,94
592,3584	21,62	187,72	0	146,16	41,56
615,7632	2,12	189,84	21,2	167,36	22,48
658,176	16,92	206,76	0	167,36	39,4
681,5808	4,24	211	19,08	186,44	24,56
723,9936	14,1	225,1	0	186,44	38,66
747,3984	5,3	230,4	19,08	205,52	24,88
789,8112	15,04	245,44	0	205,52	39,92
813,216	2,12	247,56	21,2	226,72	20,84
855,6288	18,8	266,36	0	226,72	39,64
879,0336	1,06	267,42	21,2	247,92	19,5
921,4464	22,56	289,98	0	247,92	42,06
944,8512	1,06	291,04	20,14	268,06	22,98
987,264	18,8	309,84	0	268,06	41,78
1010,6688	1,06	310,9	16,96	285,02	25,88
1053,0816	21,62	332,52	0	285,02	47,5
1076,4864	3,18	335,7	24,38	309,4	26,3
1118,8992	15,98	351,68	0	309,4	42,28
1142,304	5,3	356,98	18,02	327,42	29,56
1184,7168	14,1	371,08	0	327,42	43,66
1208,1216	2,12	373,2	21,2	348,62	24,58
1250,5344	15,04	388,24	0	348,62	39,62
1273,9392	1,06	389,3	22,26	370,88	18,42
1316,352	16,92	406,22	0	370,88	35,34
1339,7568	6,36	412,58	19,08	389,96	22,62

Gráfico 4 – Cenário proposto sentido centro



No semáforo sentido Curitiba o novo tempo estabelecido foi de aproximadamente 20,75 segundos de duração do semáforo verde e de 47,83 segundos de duração do semáforo vermelho, dessa maneira obteve-se uma fila máxima de aproximadamente 30 veículos e uma fila média de 15,61 veículos, onde ainda pode ser considerado um número ótimo considerando o horário de pico.

No semáforo sentido Centro, onde estava o principal problema, o novo tempo foi modificado para aproximadamente 23,4 segundos de duração do semáforo verde e de 42,41 segundos de duração do semáforo vermelho, e com isso a fila máxima que antes era de 44 veículos, no semáforo verde, passou para 30 veículos. A fila média que antes era de 29,95 veículos passou para 19,65 veículos. Sendo assim um ótimo resultado encontrado, pois além de diminuir o número de veículos, não prejudicou o outro sentido, deixando assim uma melhor conformidade entre as vias, eliminando a grande discordância que antes existia.

## 7. Conclusão

A questão das filas é um problema que assola diversos segmentos da nossa sociedade, principalmente onde está presente a prestação de serviços. No caso do trânsito, as filas, ou os comumente chamados engarrafamentos, são situações cada vez mais presentes, dado o grande e contínuo aumento no número de veículos em circulação. Esse tempo parado acabando gerando para o condutor um aumento desnecessário no consumo de combustível.

Considerando esse fato por outra ótica, é possível afirmar que quanto maior a disfunção no sistema de atendimento de automóveis nas cidades, maior o tempo que os veículos e seus condutores estarão passando de maneira desnecessária no percurso. Esse conjunto de efeitos colaterais acarretam consequências para a saúde do próprio condutor (estresse físico e mental) bem como para a saúde da comunidade como um todo, como poluição sonora e poluição ambiental.

Embora tenham sido criados com o objetivo de trazer ordem ao tráfego de veículos, os semáforos, quando instalados em locais, ou maneiras indevidas acabam tornando-se grandes focos de engarrafamentos. Ciente desta problemática o presente artigo partiu para a análise do funcionamento de dois semáforos localizados em uma grande avenida da cidade de Ponta Grossa.

Pôde-se analisar, a partir da aplicação de conceitos básicos da área de pesquisa de Teoria das Filas, que a programação temporal do controlador de trânsito local (semáforo) estava fora de sincronia com as demandas existentes, sendo que os tempos para os dois sentidos da via eram iguais, enquanto a demanda era diferente, causando filas no sentido de maior demanda. Porém teve-se que ressaltar que por tratar-se de um sistema onde existe a dependência de dois semáforos para o trânsito dos veículos, alterações em qualquer um dos dois semáforos surtiriam efeito em ambas as faixas da avenida.

Para melhor atendimento aos veículos que por esta avenida circulam, foi sugerida uma pequena alteração no tempo do semáforo, onde encontrasse a redução do congestionamento de uma das vias e, simultaneamente não interferisse negativamente na via oposta, a qual funcionava bem até então. Através de coletas de dados, cálculos e representações numéricas, foi possível alcançar o objetivo proposto, e conseguir propor uma solução para este problema.

Constatou-se dessa maneira que a aplicação da Teoria das Filas em questões cotidianas, ainda que se aplique em pequena escala sobre os fatores geradores de problemas, pode ser eficiente para a melhoria de indicadores.

## REFERÊNCIAS

AKISHINO, Pedro. **Algumas Técnicas de Engenharia de Tráfego na Redução de Prevenção de Acidentes de Trânsito**: Segurança de Trânsito. Capítulo 5. 2004. Disponível em:

<[http://tecnologia.ufpr.br/publicacoes/engcivil/dtt/seguranca\\_de\\_transito/](http://tecnologia.ufpr.br/publicacoes/engcivil/dtt/seguranca_de_transito/)>. Acesso em: 9 abr. 2014.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Institui O Código de Trânsito Brasileiro**.

BRUNS, R. *et al.* **Pesquisa Operacional: Uma aplicação da teoria de filas a um sistema de atendimento.** XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP), 2001, SALVADOR.

SINAY, M.C.F. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2004, São João Del-rei. **Modelagem de Filas a partir de Diagramas de Fluxos.** Anais. 2004. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0281.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2014

SUCENA, Marcelo. **Módulo 5 - Teoria das Filas (Queueing Theory).** 2007. Disponível em: <[http://www.sucena.eng.br/ST/ST5\\_Mod5TeoriadeFilas.pdf](http://www.sucena.eng.br/ST/ST5_Mod5TeoriadeFilas.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2014.