

## Teoria de Filas aplicada ao Transporte Público: um estudo de caso

Moisés Barbosa Junior (UTFPR) moisesjrbarbosa@gmail.com

Shih Yun Chin (UTFPR) chin@utfpr.edu.br

### Resumo:

As pessoas buscam por conforto e satisfação quando dispõem de algum produto ou serviço prestado por uma empresa. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo identificar e compreender o comportamento da teoria de filas aplicada em uma empresa de transporte urbano coletivo público para propor soluções que minimizem a superlotação. A empresa estudada está localizada na cidade de Ponta Grossa – PR e seus clientes tratam-se de estudantes, trabalhadores e pessoas que tem necessidade de locomoção. Com isso, a revisão bibliográfica auxiliou na coleta de dados necessários para o estudo. As sugestões de melhorias, depois de ter sido realizada a análise, foram consideradas viáveis, assim, cabe à empresa de transporte adotá-las.

**Palavras chave:** Teoria de Filas, Transporte Público, Headway, Capacidade.

## Queue Theory applied to a Public Transport: a case study

### Abstract

People seek comfort and satisfaction when they have a product or service provided by a company. Thus, the present study aims to identify and understand the behavior of queuing theory applied in a public urban transport company to propose solutions that minimize overcrowding. The company studied is located in the city of Ponta Grossa - PR and their clients are students, workers and people who have need of locomotion. With this, the literature review assisted in the collection of data needed for the study. The suggestions for improvements, once the analysis was carried out, were considered feasible, so it is up to the transport company to adopt them.

**Key-words:** Queue Theory, Public Transportation, Headway, Capacity.

### 1. Introdução

A rotina exaustiva e a escassez do tempo fazem com que as pessoas busquem por uma maior comodidade, rapidez e agilidade no serviço que à elas é prestado. Rapidez essa que é demandada desde o começo do processo de urbanização, onde cada vez mais pessoas necessitam do transporte público no cotidiano. Como explica Contermo (2013), “a necessidade de debate sobre a mobilidade nas cidades brasileiras surgiu com o crescimento, em passo acelerado, ocorrido a partir da década de 50, onde a sociedade e seus padrões até então adotados foram sendo alterados”.

Satisfazer o cliente é um dos maiores diferenciais que as empresas devem buscar para que haja a retenção e se conquiste mais clientes, uma vez que a divulgação da maneira de como é realizado o atendimento é divulgada, sendo ela boa ou ruim.

No transporte público, o perfil dos clientes é diversificado: estudantes, trabalhadores ou até aqueles que utilizam o serviço para passeio. Diariamente, grandes percursos são realizados para ir ao trabalho ou estudar, o que acarreta o deslocamento de grandes massas (ROLINIK, 1995).

Por conseguinte, surge uma dificuldade em avaliar a eficácia do serviço prestado para a mobilidade urbana, onde a maioria dos problemas encontrados são apenas minimizados, mas nunca solucionados.

Embora a necessidade de eliminar os problemas seja gritante, a solução encontrada, muitas vezes, não é tão viável. Como, por exemplo, para diminuir o espaço percorrido, diminuindo o tempo de viagem, espaços verdes devem ser destruídos. Outra maneira é aumentando o número de ônibus, o que aumentaria o conforto e a agilidade no serviço, mas a poluição causados por esse meio de transporte também prejudicaria o meio-ambiente.

Como uma proposta para solucionar alguns dos problemas relacionados ao transporte público, a teoria de filas é capaz de auxiliar no estudo para a redução do tempo em que os indivíduos esperam em fila. “A teoria das filas de espera é um método estatístico que permite estimar as demoras que ocorrem quando um serviço tem de ser proporcionado a clientes cuja chegada se dê ao acaso” (TORRES, 1966).

Buscando otimizar o tempo no atendimento dos clientes, considerando as deficiências e limitações no objeto de estudo, o objetivo deste artigo foi determinar as ações necessárias para obter uma melhoria contínua no atendimento aos clientes, alterando o *headway* e a capacidade de cada ônibus.

Sendo assim, divide-se da seguinte forma: o referencial teórico, embasado na teoria de filas, a definição da metodologia adotada para esse estudo, os resultados obtidos na aplicação das ferramentas, sugestões de melhorias e as conclusões.

## 2. Teoria de filas

As filas estão presentes no cotidiano das pessoas. Para uma simples compra, podemos nos deparar com uma enorme fila. No supermercado, no pedágio, na padaria, seja em qualquer lugar que haja fluxo de pessoas e necessidade de atendimento, haverá fila. Para Fogliatti e Mattos (2007), “um sistema com fila é qualquer processo onde usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam”.

Como explica Prado (2009), as filas nem sempre são compostas apenas por pessoas: a ordem de produção de uma empresa, que devem esperar até que sejam liberadas para produção, também são filas ou as filas em computadores, onde aguardam até que espaço na memória seja liberado.

Assim, esses sistemas que compõe filas podem ser modelados por meio da teoria de filas, onde um método analítico é utilizado, tratando os dados com fórmulas matemáticas. (PRADO, 2009)

A Teoria de Filas surgiu no início do século XX, por meio do trabalho de A. K. Erlang, tido como o pai da Teoria de Filas, quando estudou o redimensionamento de redes de telefonia (PRADO, 2009).

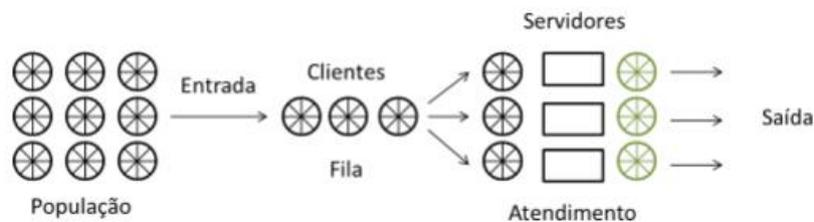
Desde então, a Teoria de Filas vem sendo aplicada a diversos outros problemas de filas.

Prado (2009) define as características de uma fila, que são:

- a) Clientes e tamanho da população: os clientes são os indivíduos que esperam em fila e a população são todos os indivíduos que deverão ser atendidos;

- b) Processo de chegada: é a análise, em um determinado período de tempo, de quando indivíduos chegam até a fila;
- c) Processo de atendimento: quando indivíduos que estavam em fila são atendidos em um determinado período de tempo;
- d) Número de servidores: quem atende os indivíduos em fila;
- e) Disciplina da fila: é o comportamento da fila, onde, por exemplo, o primeiro que chega é o primeiro a ser atendido (FIFO, First In, First Out), o último a chegar é o primeiro a ser atendido (LIFO, Last In, First Out), atender por prioridade (como gestantes, idosos) ou atendimento randômico, sem escolher o indivíduo que será atendido;
- f) Tamanho médio da fila: a extensão, em quantidade, da média de indivíduos esperando em fila;
- g) Tamanho máximo da fila: o número máximo de indivíduos que uma fila apresenta;
- h) Tempo médio de espera na fila: a média de tempo que o indivíduo espera na fila até ser atendido.

São dispostos na figura a seguir, os elementos que compõe a fila:



Fonte: Sampaio e Oliveira (2013)

Figura 1 – Representação de um sistema de filas

Os estudos acerca da Teoria de Filas em território nacional abordam, principalmente, o mercado varejista para estudo, onde é escasso os estudos no transporte público. Por exemplo, Cassemiro, Sanchez e Bertoluci (2016) estudaram a aplicação da Teoria de Filas, com o auxílio de um software, no setor varejista, concluindo a possibilidade de melhoria sem custos adicionais. Longhini et al (2017) usaram simulação, também no varejo, para estudar o comportamento das filas, onde o estudo resultou em uma melhoria significativa para os clientes. Silva et al (2006) concluíram que aplicar a Teoria de Filas é eficiente para diminuir custos e aumentar a competitividade em um porto de atracação de navios.

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, aparentemente não tem sido tendência em analisar o tempo de headway e a capacidade dos itinerários, bem como a Teoria de Filas, carecendo portanto de estudos nessa área tão importante e escasso em contribuições.

## 2.1. Variáveis que compõe o estudo da teoria de filas

Como notação no estudo da Teoria de Filas, algumas variáveis são adotadas. As variáveis pertinentes a este trabalho são apresentadas a seguir. A saber: (FOGLIATTI e MATTOS, 2007; PRADO, 2009)

- 1)  $\lambda$ : taxa de chegada;
- 2) TF ou  $Lq_{média}$  : tempo médio de permanência na fila;
- 3) TA ou  $Wq$ : espera média de clientes na fila;
- 4) c: capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes;

- 5) NA: número médio de clientes que estão sendo atendidos;
- 6)  $Lq_{máx}$ : fila máxima;
- 7)  $Wq_{máx}$ : espera máxima.

Essas notações podem variar na literatura, pois fica a critério do autor qual nome dar a cada variável.

Para o cálculo da taxa de chegada, a seguinte equação será utilizada:

$$\lambda_n = \frac{Cheg.Ac.(t) - Cheg.Ac.(t - 1)}{\Delta t} \quad (1)$$

Para o cálculo da fila média, utiliza-se a seguinte equação, onde é a média das pessoas em filas em cada instante que há formação de fila:

$$Lq_{média} = \frac{Lq_1 + Lq_2 + \dots + Lq_n}{n} \quad (2)$$

A média de clientes atendidos é dada pela equação:

$$NA = \frac{Ct + Ct + 1 + \dots + Ct + n}{n} \quad (3)$$

Onde  $Ct$  é o número de clientes sendo atendidos no instante  $t$ .

### 3. Metodologia

#### 3.1. A empresa estudada

A empresa atua em Ponta Grossa, município do Estado do Paraná. É a única que presta serviços interurbanos para a população do município.

O local de estudo foi com o ônibus partindo do Terminal Central ao Terminal Nova Rússia, onde há uma grande demanda, pois é um dos únicos pontos que atendem com o ônibus que possui uma maior capacidade de passageiros e, mesmo com essa conveniência aos passageiros, ainda há superlotação.

A capacidade ( $c$ ) de cada ônibus é de 42 passageiros sentados e 85 em pé. O preço da passagem é de R\$3,70 e o intervalo entre a saída e chegada de cada ônibus (*headway*) é de 10 minutos.

Para embarcarem nos ônibus, os passageiros formam uma fila para entrarem. Assim, a disciplina de filas, neste caso, é a FIFO, onde quem chega primeiro é atendido primeiro.

#### 3.2. Coleta e tratamento de dados

A coleta de dados ocorreu em horário de pico, onde estudantes deixavam o local onde estudam e trabalhadores deixavam seu trabalho para o horário de almoço, entre 12h e 13h10min. As chegadas dos passageiros foram analisadas a cada 5 minutos. O primeiro ônibus, no começo da coleta de dados, já havia partido. Com isso, houve formação de fila às 12h.

Para analisar os dados coletados, o *software* Excel foi utilizado.

### 4. Estudo de caso

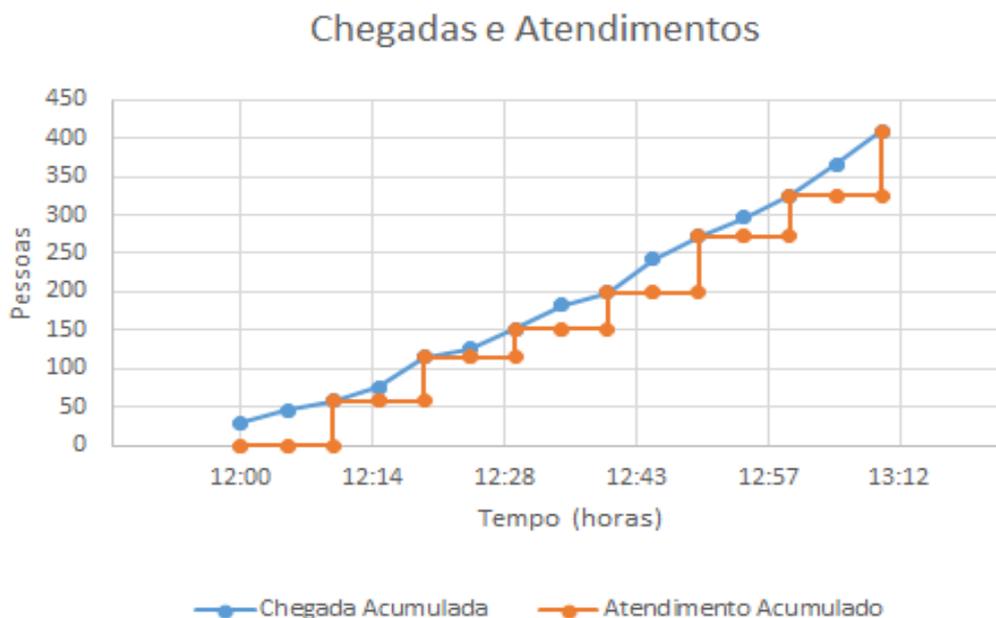
A tabela a seguir mostra os resultados encontrados, após a medição no horário de pico, do comportamento das chegadas dos clientes.

Tempo (horas)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
12:00	29	29	0	0	29
12:05	17	46	0	0	46
12:10	12	58	58	58	0
12:15	17	75	58	58	17
12:20	40	115	115	115	0
12:25	10	125	0	115	10
12:30	26	151	151	151	0
12:35	32	183	0	151	32
12:40	16	199	199	199	0
12:45	44	243	0	199	44
12:50	29	272	272	272	0
12:55	25	297	0	272	25
13:00	28	325	325	325	0
13:05	41	366	0	325	41
13:10	44	410	410	410	0

Fonte: Autores

Tabela 1 – Chegadas, Atendimentos e Filas no cenário atual

No seguinte gráfico, o comportamento do atendimento, que atende a demanda, é mostrado.



Fonte: Autores

Gráfico 1 – Chegada Acumulada e Atendimento Acumulado cenário atual.

Pode-se notar que não há passageiros que deixam de ser atendidos pelo ônibus disponível para viagem, porém há uma superlotação em determinados horários.

Pode-se notar, no gráfico 1, que as chegadas acumuladas têm um comportamento linear, com crescimento em determinados períodos. Assim, a taxa de chegadas ( $\lambda$ ) pode ser calculada a cada 15 minutos, tempo em que cada ônibus leva para atender os passageiros. Então, para o cálculo da taxa, usa-se a equação (1). Então,

$$\lambda_1 = \frac{75 - 0}{15 - 0} = 5 \text{ pessoas/minuto}$$

Por conseguinte, os valores de  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  e  $\lambda_5$  5,06 são pessoas/minuto, 6,1 pessoas/minuto, 5,5 pessoas/minuto e 7,8 pessoas/minuto respectivamente. A média de pessoas chegando é de 6,1 pessoas/minuto.

Conforme o gráfico 1, a fila máxima ( $Lq_{\text{máx}}$ ) é entre 13h e 13h10min, onde 44 passageiros esperavam para serem atendidos.

De acordo com a equação (2), a fila média é calculada como

$$Lq_{\text{média}} = \frac{29 + 46 + 17 + 10 + 32 + 44 + 25 + 41}{8} = 30,5 \text{ pessoas}$$

O tempo máximo de espera  $Wq_{\text{max}}$  é quando o passageiro que chegou logo que o ônibus anterior partiu precisa esperar até que o próximo chegue, equivalente ao tempo de *headway*. Ou seja,

$$Wq_{\text{max}} = 10 \text{ minutos}$$

Para calcular o tempo médio em fila não há necessidade de utilizar equações, devido ao atendimento regrado dos ônibus. Como as chegadas foram calculadas a cada 5 minutos, uma média entre 15 minutos é o tempo médio de espera:

$$Wq = \frac{5 + 10 + 15}{3} = 10 \text{ minutos}$$

Os passageiros, em média, esperam um tempo menor do que o tempo em que cada ônibus é capaz de atendê-los.

De acordo com a Equação (3), o número médio de passageiros é calculado como

$$NA = \frac{58 + 57 + 36 + 48 + 66 + 53 + 85}{7} = 57,57 \text{ passageiros}$$

Sendo assim, os ônibus atendem, aproximadamente, 58 passageiros a cada 10 minutos.

Analisando os resultados encontrados no cenário atual, podemos notar que o sistema tem capacidade de atender uma demanda muito maior do que a que está atendendo. O tempo em que os passageiros aguardam para serem atendidos não influencia se serão ou não atendidos, apenas se terão lugar para se sentar no ônibus ou não, pois há espaço para todos.

Embora atenda à legislação local, onde é permitida a espera de até 30 minutos em fila em horários de pico, o desconforto devido a superlotação é o principal problema enfrentado pelos usuários e grande motivo de reclamação.

Sendo assim, sugestões de melhorias para avaliar se há como melhorar o cenário atual, a fim de satisfazer a necessidade dos passageiros, serão apresentadas.

## 5. Sugestões de melhorias

Nesta seção, as sugestões de melhorias afim de otimizar o processo de atendimento dos ônibus para os passageiros será apresentado, utilizando a alteração do *headway* e o cálculo da melhoria na utilização do sistema. Como melhoria, o presente trabalho visa alterar o *headway* para 7 minutos e diminuir a capacidade para 100 pessoas; alterar o *headway* de 10 minutos para 5 minutos e diminuir a capacidade para 70 pessoas; e aumentar o *headway* para 15 minutos e diminuir a capacidade para 100 passageiros. Alterar a capacidade e o *headway*, na prática, é possível, pois existem ônibus com capacidades menores dos que estão operando no sistema atual e que podem acarretar diminuição dos custos para a empresa.

Como observado na análise dos resultados, a atual situação não demonstra problemas com atendimento aos passageiros, apenas resulta em uma superlotação em um determinado período.

Sendo assim, uma sugestão para que o processo de atendimento seja otimizado é alterar o *headway* para 7 minutos e diminuir a capacidade para 100 passageiros.

Tempo (horas)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
12:00	29	29	0	0	29
12:05	17	46	0	0	46
12:07	5	51	51	51	0
12:10	7	58	0	51	7
12:14	7	65	65	65	0
12:15	10	75	0	65	10
12:20	40	115	0	65	50
12:21	4	119	119	119	0
12:25	6	125	0	119	6
12:28	10	135	135	135	0
12:30	16	151	0	135	16
12:35	32	183	183	183	0
12:40	16	199	0	183	16
12:42	18	217	217	217	0
12:45	26	243	0	217	26
12:49	12	255	255	255	0
12:50	17	272	0	272	0
12:55	25	297	0	272	25
12:56	11	308	308	308	0
13:00	17	325	0	308	17
13:03	16	341	341	341	0
13:05	25	366	0	341	25
13:10	44	410	410	410	0

Fonte: Autores

Tabela 2 – Chegadas, Atendimentos e Fila quando *headway* é de 7 minutos e capacidade de 100 passageiros

A taxa de chegada e atendimento não sofrem alteração, pois o comportamento do sistema continua o mesmo.

Quanto diminuída a capacidade, as fila aumentam significativamente, além que a superlotação ainda ocorre, pois muitos passageiros precisariam utilizar o transporte em pé. Porém, todos

são atendidos da mesma maneira que são atendidos no sistema atual, o que mostra que a solução é viável.

Na próxima tabela é mostrado o *headway* com diminuição para 5 minutos e capacidade para 70 pessoas.

Tempo (horas)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
12:00	29	29	0	0	29
12:05	17	46	46	46	0
12:10	12	58	12	58	0
12:15	17	75	17	75	0
12:20	40	115	40	115	0
12:25	10	125	10	125	0
12:30	26	151	26	151	0
12:35	32	183	32	183	0
12:40	16	199	16	199	0
12:45	44	243	44	243	0
12:50	29	272	29	272	0
12:55	25	297	25	297	0
13:00	28	325	28	325	0
13:05	41	366	41	366	0
13:10	44	410	44	410	0

Fonte: Autores

Tabela 3 – Chegadas, Atendimentos e Fila quando *headway* é de 5 minutos e capacidade de 70 passageiros

Se for alterada a capacidade do ônibus, ainda assim não haverá passageiros sem serem atendidos. Entretanto, alterar a capacidade para 70 passageiros é o que pode acontecer na prática, pois há ônibus menores que comportam essa quantidade de passageiros.

Como mostrado na tabela 3, às 13h10min e às 12h45min é quando mais passageiros precisam ser atendidos e, como a capacidade é quase o dobro do número de passageiros, não haveria superlotação.

Outro ponto satisfatório nessa sugestão de melhoria é quanto à espera máxima. No sistema atual, a espera máxima de 10 minutos; neste, é reduzida em 50%, onde os passageiros esperam no máximo 5 minutos para serem atendidos.

A fila máxima quando *headway* é de 5 minutos não é mostrada na tabela, pois a coleta de dados foi realizada a cada cinco minutos. O número de pessoas que chegaram a cada 5 minutos não foi mensurado, apenas o total nesse período de tempo. Entretanto, como todas as pessoas que chegam são atendidas a cada cinco minutos, a fila máxima é o número de pessoas atendidas. Com isso, a fila máxima é de 44 pessoas.

Entretanto, o trabalho considera apenas a partida saindo de um terminal a outro, sem levar em consideração os demais pontos de ônibus percorridos, o que pode causar problemas posteriores.

Aumentar o *headway* para 15 minutos e diminuir a capacidade para 100 pessoas traz os seguintes resultados, mostrados na tabela a seguir.

Tempo (horas)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
12:00	29	29	0	0	29
12:05	17	46	0	0	46
12:10	12	58	0	0	58
12:15	17	75	75	75	0
12:20	40	115	0	75	40
12:25	10	125	0	75	50
12:30	26	151	76	151	0
12:35	32	183	0	151	32
12:40	16	199	0	151	48
12:45	44	243	92	243	0
12:50	29	272	0	243	29
12:55	25	297	0	243	54
13:00	28	325	82	325	0
13:05	41	366	0	325	41
13:10	44	410	0	325	85

Fonte: Autores

Tabela 4 – Chegadas, Atendimentos e Fila quando Headway é de 15 minutos e capacidade de 100 pessoas

Da mesma maneira que as demais sugestões, todos os passageiros continuam sendo atendidos, mas o problema da superlotação é recorrente. Às 13h10min, por exemplo, 85 pessoas necessitam ser atendidas, o que pode vir à superar a capacidade do ônibus dependendo do número de passageiros que chegarem até o próximo horário de partida.

Outro indicador é a fila. No cenário atual, a fila máxima é de 44 pessoas. Aqui, até as 13h10min aguardam em fila 102 pessoas, o que já extrapola a capacidade do ônibus. Então, neste caso, é indicado que a capacidade atual do ônibus seja mantida.

Para uma melhor visualização dos resultados, a seguinte tabela traz uma síntese do que foi obtido no estudo.

Cenário	Headway (minutos)	Capacidade (passageiros)	Fila máxima (pessoas)	Espera máxima (minutos)
Atual	10	127	46	10
	7	100	50	7
Sugestão	5	70	44	4
	15	100	58	15

Fonte: Autores

Tabela 5 – Síntese dos resultados

Com isso, a sugestão de que o *headway* seja de 5 minutos e a capacidade seja de 70 passageiros é a mais viável, mostrando que o estudo da Teoria de Filas é aplicável ao trabalho realizado no transporte público. Um ônibus com menor capacidade, que acarreta menos gastos, pode ser utilizado para sanar o problema de superlotação.

## 6. Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho e as sugestões de melhorias obtidas são aplicáveis e, por vezes, viáveis, mostrando que a teoria de filas é eficiente para analisar o comportamento do sistema. O problema da superlotação pode ser resolvido e os passageiros podem ser satisfeitos com o novo serviço oferecido.

A busca do estudo em otimizar o processo de atendimento aos passageiros foi sanada com a análise feita. Assim, cabe a empresa decidir se irá aplicar ou não de acordo com os resultados obtidos.

A recomendação para trabalhos futuros é estudar todos os pontos de ônibus da mesma linha e considerar linhas de ônibus diferentes para o estudo e estudar outros o *headways* e/ou a capacidade no mesmo itinerário.

## 7. Referências

- ALVES, P.; AZEVEDO, A. R. J. *Mobilidade e Acessibilidade Urbanas Sustentáveis: a Gestão da Mobilidade no Brasil*. In: VI Congresso do Meio Ambiente da AUGM. 2009. São Carlos. Anais eletrônicos. Disponível em <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A3-039.pdf>>. Acesso em 01 de agosto de 2017.
- CASSEMIRO, J. A.; SANCHEZ, C. C.; BERTOLUCI, E. A. Estudo das filas em um supermercado varejista com aplicação do arena. VI Encontro científico do GEPro. Jaú, São Paulo, 2016.
- CONTERNO, R. C. *O transporte público coletivo a partir do conceito de mobilidade urbana sustentável: um estudo de caso na cidade de Pato Branco/PR*. 2013. 124p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.
- FOGLIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. C. *Teoria de Filas*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.
- LONGHINI, T. M.; FREITAS, K. A.; SILVA, R. C.; CAVALCANTI, J. M. M. Uso de simulação de eventos discretos para a análise de atendimento de pequeno varejo. R. Technol. Soc., Curitiba, v. 13, n. 28, p. 171-190, 2017.
- PRADO, D. *Teoria das Filas e da Simulação*. 3ª ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2006.
- ROLNIK, R. *O que é Cidade*. São Paulo: Brasiliense, 1995.
- ROSAS, G. M. A.; HOGAN, D. J. *Ritmo e Mobilidade Cotidianos na Experiência da Metrópole*. 2011.
- SAMPAIO, P. G. V.; OLIVEIRA, S. D. *Estudo de modelagem e simulação de filas num supermercado associado à análise de cenários*. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2013.
- SILVA, V. M. D.; SOUZA, R. A.; BORTOLOTTI, S. L. V.; COELHO, A. S. *Teoria das filas aplicada ao caso: Porto de Itajaí-SC*. XIII Simpósio de engenharia de produção. Bauru, SP, Brasil, 2006.
- TORRES, O. F. *Elementos da teoria das filas*. 1966. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v6n20/v6n20a05.pdf>>. Acesso em 01 jul. 2017.