

APLICAÇÃO DE TEORIA DAS FILAS EM TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: CASO DE TERMINAL DE ÔNIBUS DA CIDADE DE PONTA GROSSA

Luiz Octávio Filgueiras Reis

octaviofilgueiras@gmail.com

Regis Oscar Land

regisoscarland@hotmail.com

Tiago Osatchuk

tosatchuk@gmail.com

Shih Yun Chin

chin@utfpr.edu.br



O objetivo deste estudo é apresentar alternativas operacionais de modo a melhorar o rendimento do transporte coletivo em um ponto de ônibus da cidade de Ponta Grossa - Paraná. A linha estudada apresenta longas filas de usuários, reclamações e esperas consideradas desconfortáveis. Baseado nos dados obtidos pode-se realizar um estudo de como o serviço prestado porta-se havendo diferentes demandas e diferentes headways. Com os resultados alcançados no estudo foi possível mostrar que a fila média e espera média em fila podem ser reduzidas. O serviço prestado comporta-se normalmente até o momento em que a demanda aumenta para 60% da atual, conclui-se que para uma melhor distribuição de atendimento, assim como para diminuir tempos de espera e a quantidade de passageiros em fila, recomenda-se uma redução do headway de 10 para 9 minutos ou inferior. Para os períodos de baixa demanda propõe-se que o ônibus aguarde no ponto por 5 minutos, fazendo com que os usuários esperem em média 4,09 minutos a menos e existem em média seis pessoas a menos aguardando em fila se comparadas ao atual funcionamento.

Palavras-chave: Teoria das Filas, Headway, análise de cenários, Transporte público

1. Introdução

A mobilidade urbana é fundamental para que não se perca a qualidade de vida, o direito de ir e vir com dignidade, sem prejuízos para a população e para o meio ambiente. A escolha do transporte depende das características de cada usuário, isto é, sua localização e seu poder aquisitivo. Via de regra, o que todos buscam e desejam é um transporte eficiente, para que possam deslocar-se com qualidade e de forma eficiente.

O transporte público vem perdendo espaço a cada ano, aproximadamente 100 milhões de carros são usados diariamente. Os usuários, frequentemente, se deparam com operações inadequadas de transporte público, com sistemas muitas vezes superlotados, resultando em uma qualidade de serviço precária. Entretanto, o transporte público continua a ser uma alternativa de mobilidade importante para milhões de cidadãos (PAZOS, 2016).

A relação desse tema com a teoria de filas ocorre quando há ineficiência nos serviços prestados pelas companhias, onde dentre outros motivos, há alta demanda e baixo número de veículos circulando, sendo necessário um estudo sobre essa interação, já que auxilia o aplicador a entender como analisar e quais variáveis alterar, a fim de auxiliar na resolução do problema (RESENDE, 2017).

O objetivo do presente artigo é analisar alternativas operacionais com auxílio da teoria das filas e suas eventuais melhorias do transporte coletivo em um ponto de ônibus da cidade de Ponta Grossa, através da variação do *headway* e da capacidade dos ônibus de modo que, ao obter os medidores de desempenho, fornecer resultados robustos aos gestores tomarem melhor as decisões.

2. Referencial Teórico

De acordo com Marins (2011) “a Teoria das Filas tem como objetivo principal o desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam prever o comportamento de sistemas de prestação de serviços”. Em relação ao transporte público, a demanda do serviço geralmente não é de acordo com a capacidade oferecida, ocasionando filas ou esperas consideradas indesejadas pelos usuários.

Para ter um melhor entendimento do que é fila Fogliatti *et al.* (2007) definem um sistema com fila como qualquer processo onde usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, se for necessário, retirando-se do sistema assim que o serviço é concluído. Essa espera ocorre em virtude de a demanda ser maior que a capacidade de atendimento oferecida. Em relação ao atendimento, existem várias maneiras pela qual os usuários que estão na fila são selecionados para serem atendidos. No transporte público o mais usual é o SIRO, onde os usuários são atendidos em grupo em uma ordem aleatória (MENDONÇA,2014).

Um objetivo de analisar e estudar a teoria das filas é efetuar melhorias nas características do sistema, através de simulações com uso de fórmulas matemáticas. Todo sistema de filas possui um padrão de chegada de entidades por tempo, também conhecido como taxa de chegada, representada por λ . De forma similar, existe a taxa de atendimento destas entidades que é representada por μ . Pode-se afirmar que a partir do momento que a taxa

de chegada é superior a taxa de atendimento, existe um acúmulo de entidades no sistema aguardando atendimento, a que é referido como fila (ARENALES, 2007).

De acordo com Pinto (2011) é importante quantificar o desempenho de um sistema de filas através de medidores de desempenho como quantidade média de pessoas em fila e espera média de uma entidade em fila. A tabela 1 tem como função sintetizar as principais fórmulas e definições utilizadas ao decorrer do estudo:

Tabela 1 - Fórmulas e definições usadas para os cálculos dos itens relacionados à teoria de filas

Descrição	Fórmulas
Taxa média de chegadas de clientes (λ)	$\frac{a_1 \cdot \text{Freq1} + \dots + a_n \cdot \text{Freqn}}{\sum_{i=1}^n a_i}$
Chegada acumulada	$\lambda \cdot \Delta t + \text{chegada acumulada anterior}$
Atendimento em grupo	Atendimento de vários clientes simultaneamente.
Atendimento acumulado	$\mu \cdot \Delta t + \text{atendimento acumulado anterior (em que } \mu \text{ é a taxa de atendimento)}$
Fila (L_q)	Chegada acumulada - atendimento acumulado
Fila média	$\frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}{n}$
Espera média do cliente na fila	$\frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n}{n}$
Espera (W_q)	Momento de chegada - momento de atendimento
Headway	Intervalo de tempo entre a chegada de dois ônibus

Fonte: Autores (2018)

Diversas são as aplicações de teoria das filas em problemas do cotidiano. Entre eles, pode-se citar Silva et al. (2015). Os autores desenvolveram um estudo de caso realizado em uma panificadora de médio porte em Belém - Pará. Foi feita uma análise relacionada com o comportamento das filas e a distribuição física do estabelecimento. A partir dos resultados obtidos foi possível apontar que o estabelecimento opera com apenas 58% da sua capacidade total, sendo que o tamanho médio da fila foi de 0,839 e o tempo médio de espera na fila foi de 0,986 minutos, que são considerados satisfatórios, já que não há congestionamento dos clientes e os mesmos são atendidos de forma rápida. Através desse estudo e posterior análise foi possível averiguar possíveis novas estratégias para aperfeiçoar o atendimento e conseqüentemente diminuir a ociosidade.

Em um estudo, Camelo et al. (2010) analisaram o embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de Ponta da Madeira e constaram que os berços destinados ao carregamento de navios apresentam uma taxa de utilização acima de 80%. Como proposta, os

autores sugeriram que fosse feito um investimento na ampliação da capacidade do terminal marítimo para assegurar a demanda crescente.

Já em um ambiente de mercado diferente, mas que pode-se analisar fila existente, Barbosa et al. (2009), fizeram um estudo em uma farmácia da cidade de Belém do Pará, onde era possível ver grande concorrência nesse nicho de mercado. Através do estudo foi possível identificar muitos problemas no serviço de pagamento, como espera em fila, layout mal disposto e a qualidade do serviço oferecido. Como melhorias propuseram fila única de acesso aos caixas e mudança de layout.

Um artigo que assemelha-se com esse presente artigo, Ladeira (2014) propôs em sua dissertação apresentar a regulação operacional de linhas de transporte público urbano por meio do controle do *headway*, empregando ações corretivas como estratégia de controle a partir da identificação das anormalidades que perturbam a operação e atenuando seus impactos sobre o funcionamento da linha. A regulação operacional pelo controle do *headway* propiciou uma homogeneidade dos mesmos, redução de comboios, assim como melhoria na distribuição de passageiros por viagem. A principal diferença entre a dissertação de Ladeira (2014) e o presente artigo é que a autora tem como objetivo apresentar a regulação operacional de linhas de transporte público urbano através do controle do *headway* utilizando ações corretivas como estratégias de controle, enquanto o objetivo desse artigo é analisar alternativas operacionais com auxílio da teoria das filas variando não somente o *headway*, mas também estudando como os mesmos se comportam para diferentes demandas.

O baixo número de artigos encontrados relacionados ao sistema de transporte público e a teoria das filas dificultou o descobrimento de fontes teóricas referentes ao assunto e também motivou os autores a realizarem este estudo.

3. Metodologia

O primeiro estágio no plano de melhoria foi de definir o problema, compreendendo os principais impasses encontrados pelos usuários da linha. No caso da linha Santa Paula, de forma geral, foram relatadas reclamações dos usuários que se resumem principalmente em dois problemas: em certos períodos do mês o número de passageiros da linha no terminal central aumenta de forma considerável e em alguns períodos a espera por ônibus se torna desconfortável.

A etapa subsequente de coleta de dados foi feita no ponto da linha Santa Paula no terminal central de ônibus da cidade de Ponta Grossa, Paraná. Ela foi realizada em um período 7 dias úteis consecutivos por uma hora e cinquenta e dois minutos, entre 11h28 e 13h20, considerado um período de pico no ponto. Como a demanda pelos serviços dos ônibus desta linha seguem padrões repetitivos, apenas os dados obtidos no dia 02 de maio de 2018, no período entre 11h30 e 13h32 foram considerados como parâmetro para os cálculos a serem realizados. A linha do bairro Santa Paula conta com ônibus convencionais de capacidade de 56 pessoas e também ônibus articulados com capacidade de 129 passageiros, este que passa unicamente às 12h21 no ponto, pois é o horário com maior demanda principalmente devido a estudantes de colégios que se encontram no caminho da linha.

O próximo passo após a coleta de dados é a de realizar a simulação de cenários para diferentes situações de demanda. Para calcular estas novas demandas, o valor de chegada original é

aumentado ou reduzido em uma porcentagem específica de cada cenário. O tempo base utilizado na coleta de dados diretamente no ponto foi de 5 minutos, como em alguns cenários é necessário calcular a taxa de chegada para tempos base diferentes de 5 minutos, utilizamos a fórmula da taxa média de chegada de clientes da tabela 1 para um período de 5 minutos. Para cada instante dos cenários novos foram calculadas as estatísticas de desempenho, para podermos analisar e comparar cada um dos casos na etapa de discussão dos resultados.

O último estágio para se atingir o objetivo do artigo é de analisar cada cenário e apresentar uma maneira mais efetiva de como esta linha pode operar. Este estudo possui o intuito de analisar como o serviço no ponto está atualmente sendo feito, e como o serviço se comporta ao receber diferentes demandas. Baseado nos resultados, a empresa responsável pelo transporte público poderá tomar as devidas medidas a fim de atender seus clientes de uma maneira mais eficaz.

4. Coleta de dados

Para a realização do estudo um dos principais pontos é a coleta de dados. Esta é a base para a aplicação das metodologias estudadas em teoria das filas, desta forma, há a construção de cenários e posteriormente análises dos mesmos para que então se chegue em uma conclusão considerável, no qual as melhorias encontradas possam ser aplicadas em pontos de estudos futuros.

Os dados coletados no intervalo de 11h28 e 13h20 se encontram na tabela 2, em que é apresentado o número de pessoas que chegam ao ponto por intervalo de tempo, a chegada acumulada de pessoas no ponto no período de análise, o número de pessoas atendidas por intervalo de tempo, o atendimento acumulado no período de análise, a fila por intervalo de tempo e taxa de ocupação do ônibus (referente a capacidade máxima do ônibus) no instante em questão. Os horários com (*) representam os horários em que um ônibus convencional da linha chega ao ponto e o horário com (**) representa o horário em que o ônibus articulado presta atendimento. O atendimento é considerado realizado quando o passageiro sai da fila de espera e entra no ônibus.

Tabela 2 – Desempenho do serviço atualmente prestado

λ (Pessoas/Minuto)	Horário	Chegada (Pessoas)	Chegada acumulada	Atendimento (Pessoas)	Atendimento Acumulado	Fila (Pessoas)	Taxa de Ocupação	Espera (Minutos)
1	11:30	2	2	0	0	2	0%	6
1,8	11:35	9	11	0	0	11	0%	1
4	11:36*	4	15	15	15	0	23%	0
4	11:40	16	31	0	15	16	0%	7
2	11:45	13	44	0	15	29	0%	2
0,5	11:47*	1	45	30	45	0	46%	0
3,33	11:50	10	55	0	45	10	0%	9
1,8	11:55	9	64	0	45	19	0%	4
0,75	11:59*	3	67	22	67	0	34%	0
2	12:00	2	69	0	67	2	0%	9
1,4	12:05	7	76	0	67	9	0%	4
1,25	12:09*	5	81	14	81	0	22%	0
6	12:10	6	87	0	81	6	0%	11
4,4	12:15	22	109	0	81	28	0%	6
4,8	12:20	24	133	0	81	52	0%	1
33	12:21**	33	166	85	166	0	66%	0
1,75	12:25	7	173	0	166	7	0%	7
1,6	12:30	8	181	0	166	15	0%	2
1,5	12:32*	3	184	18	184	0	28%	0

Fonte: Autores (2018)

Para calcular a fila média, foi utilizada a fórmula de fila média referente a tabela 1 com tempo base de 5 minutos da seguinte maneira:

$$\bar{L}_q = \frac{2+11+16+29+10+19+2+9+6+28+52+7+15}{13} = 15,85 \text{ pessoas}$$

De maneira similar, a espera média foi calculada:

$$\bar{W}_q = \frac{6+1+7+2+9+4+9+4+11+6+1+7+2}{13} = 5,31 \text{ minutos}$$

Para o cálculo da ocupação média, foram consideradas as taxas de ocupação dos ônibus nos instantes em que o ônibus deixa o ponto com os passageiros, como vemos a seguir:

$$\text{Taxa de ocupação} = \frac{23+46+34+22+66+28}{6} = 36,5\% \text{ de ocupação média}$$

Com o mesmo procedimento de cálculo foram obtidas as filas, esperas e taxas de ocupação média durante o desenvolvimento do estudo.

5. Simulação de cenários e Resultados

O objetivo deste tópico é aplicar alterações em diferentes parâmetros chave que torneiam a teoria das filas, bem como a análise do estudo realizado, desse modo obter pontos pertinentes para a conclusão do artigo.

Baseado nos dados obtidos na tabela 2, podemos realizar um estudo de como o serviço se comporta com diferentes demandas e diferentes *headways* através da simulação de cenários com o objetivo de propor melhorias para o serviço prestado no ponto.

5.1 Simulação caso 1

O intuito deste item, em junção com os demais subsequentes, é iniciar o estudo de cenários, verificando as mudanças ocorridas na demanda, taxa de chegada, dentre outros, após a aplicação da teoria das filas. Neste primeiro caso, faz sentido fazer uma análise de redução de *headway* devido ao fato de estar sendo simulado casos em que a taxa de passageiros é grande.

Este caso consiste em considerar cenários em que a demanda no período possui aumentos de 20%, 40%, 60% e 80%, e para cada um destes cenários foram feitas simulações de como esta demanda superior ao comum se comporta com diferentes *headways*. O *headway* atual da linha é de 10 minutos, nas simulações analisamos *headways* de 9, 8, 7 e 6 minutos.

Foi observado que a partir de um aumento de 60% da demanda o serviço prestado com o *headway* atual não é capaz de atender todos os clientes que se encontram no ponto em certos momentos, como vemos no instante 12h21 da tabela 3.

Tabela 3 – Desempenho para aumento de 60% da demanda

λ (Pessoas/Minuto)	Horário	Chegada (Pessoas)	Chegada acumulada	Atendimento (Pessoas)	Atendimento Acumulado	Fila (Pessoas)	Taxa de Ocupação	Espera (Minutos)
1,6	11:30	3,2	3,2	0	0	3,2	0%	6
2,88	11:35	14,4	17,6	0	0	17,6	0%	1
6,4	11:36*	6,4	24	24	24	0	43%	0
6,4	11:40	25,6	49,6	0	24	25,6	0%	7
4,16	11:45	20,8	70,4	0	24	46,4	0%	2
0,8	11:47*	1,6	72	48	72	0	86%	0
5,33	11:50	16	88	0	72	16	0%	9
2,88	11:55	14,4	102,4	0	72	30,4	0%	5
1,2	11:59*	4,8	107,2	35,2	107,2	0	63%	0
3,2	12:00	3,2	110,4	0	107,5	2,9	0%	9
2,3	12:05	11,2	121,6	0	107,2	14,4	0%	4
2	12:09*	8	129,6	22,4	129,6	0	40%	0
9,6	12:10	9,6	139,2	0	129,6	9,6	0%	11
7,04	12:15	35,2	174,4	0	129,6	44,8	0%	6
7,68	12:20	38,4	212,8	0	129,6	83,2	0%	1
52,8	12:21**	52,8	265,6	129	258,6	7	100%	11
2,8	12:25	11,2	276,8	0	258,6	18,2	0%	7
2,56	12:30	12,8	289,6	0	258,6	31	0%	2
2,4	12:32*	4,8	294,4	28,8	294,4	0	51%	0

Fonte: Autores (2018)

Ao realizar simulações com *headways* menores de 9, 8, 7 e 6 minutos vemos que este problema é eliminado. Nas tabelas 4, 5 e 6 estão representadas as estatísticas de desempenho de fila, espera e ocupação média de todos os cenários simulados.

Tabela 4 – Desempenho para aumento de 20% da demanda atual

<i>Headway</i>	Fila média	Espera média	Ocupação média
Atual	19,00	5,31	49%
9 minutos	11,04	3,69	42%
8 minutos	11,25	3,69	42%
7 minutos	10,30	2,92	36%
6 minutos	10,53	2,62	32%

Fonte: Autores (2018)

Tabela 5 – Desempenho para aumento de 40% da demanda atual

<i>Headway</i>	Fila média	Espera média	Ocupação média
Atual	22,18	5,31	57%
9 minutos	13,20	3,69	50%
8 minutos	14,17	3,69	52%
7 minutos	10,33	2,92	44%
6 minutos	13,44	2,67	42%

Fonte: Autores (2018)

Tabela 6 – Desempenho para aumento de 60% da demanda atual

<i>Headway</i>	Fila média	Espera média	Ocupação média
Atual	24,52	5,38	64%
9 minutos	15,09	3,69	58%
8 minutos	16,20	3,69	59%
7 minutos	11,95	2,67	59%
6 minutos	15,36	2,46	47%

Fonte: Autores (2018)

Tabela 7 – Desempenho para aumento de 80% da demanda atual

<i>Headway</i>	Fila média	Espera média	Ocupação média
Atual	28,52	5,69	77%
9 minutos	16,98	3,69	65%
8 minutos	18,22	3,69	66%
7 minutos	13,18	2,92	56%
6 minutos	17,28	2,67	52%

Fonte: Autores (2018)

De modo geral pode ser observado pelas tabelas 4, 5, 6 e 7 que ao diminuir o *headway*, todos os passageiros são atendidos, os tempos de espera são reduzidos e, baseado na taxa de ocupação média de cada cenário, a distribuição da demanda de passageiros é feita de uma maneira mais eficiente.

5.2 Simulação caso 2

O estudo dessa simulação possui o intuito de obter novos dados após mudanças em itens que impactam diretamente no resultado final, dessa forma, pode-se ponderar de maneira mais clara e objetiva os cenários e simulações realizadas.

Prosseguindo a análise de acordo com a tabela 2, todavia tendo como base neste momento a baixa demanda de pessoas, com variações de -10%, -20%, -30% e -40% do número de pessoas que chegam ao ponto no terminal central de Ponta Grossa - PR. Neste cenário o ônibus apenas para no ponto, os passageiros embarcam, e ele retira-se sem seguida.

Para fins de demonstração, apresenta-se o resultado encontrado para o cenário de -10% na chegada de passageiros. Este se encontra na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Variação de 10% da demanda de passageiros no ponto analisado

λ (Pessoas/Minuto)	Horário	Chegada (Pessoas)	Chegada acumulada	Atendimento (Pessoas)	Atendimento Acumulado	Fila (Pessoas)	Taxa de Ocupação	Espera (Minutos)
0,9	11:30	1,8	1,8	0	0	1,8	0%	6
1,62	11:35	8,1	9,9	0	0	9,9	0%	1
3,6	11:36*	3,6	13,5	13,5	13,5	0	21%	0
2,88	11:40	14,4	27,9	0	13,5	14,4	0%	7
2,34	11:45	11,7	39,6	0	13,5	26,1	0%	2
0,45	11:47*	0,9	40,5	27	40,5	0	42%	0
3	11:50	9	49,5	0	40,5	9	0%	9
1,62	11:55	8,1	57,6	0	40,5	17,1	0%	5
0,675	11:59*	2,7	60,3	19,8	60,3	0	30%	0
1,8	12:00	1,8	62,1	0	60,3	1,8	0%	9
1,26	12:05	6,3	68,4	0	60,3	8,1	0%	4
1,13	12:09*	4,5	72,9	12,6	72,9	0	19%	0
5,4	12:10	5,4	78,3	0	72,9	5,4	0%	11
3,96	12:15	19,8	98,1	0	72,9	25,2	0%	6
4,32	12:20	21,6	119,7	0	72,9	46,8	0%	1
29,7	12:21**	29,7	149,4	76,5	149,4	0	59%	0
1,58	12:25	6,3	155,7	0	149,4	6,3	0%	7
1,44	12:30	7,2	162,9	0	149,4	13,5	0%	2
1,35	12:32*	2,7	165,6	16,2	165,6	0	25%	0

Fonte: Autores (2018)

O cálculo da chegada para cada horário analisado se deu, para este cenário, reduzindo-se 10% do quantitativo encontrado da pesquisa em campo, conforme a tabela 2. Dessa forma para o horário de 11h30, a chegada anterior era de 2 pessoas, com a redução de 10%, obtém-se 1,8 pessoas.

Após a finalização da redução de 10% na chegada, calculou-se a nova média para a fila, taxa de ocupação e espera, a fim de comparar como esta redução impacta na análise final dos cenários, sendo que para a fila e espera, a média se deu em intervalos de 5 em 5 minutos, e para a taxa a média calculada para o período total de análise. O valor encontrado respectivamente foi: 14,3 pessoas, 33% e 5,69 minutos.

Os cenários examinados, conforme mencionado anteriormente são para a redução de 10% a 40% da chegada, com isso os cálculos foram aplicados da mesma forma para estas novas taxas, assim sendo os resultados encontrados para as médias são demonstrados na tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Resultados encontrados após redução de 10% a 40% da chegada de passageiros

% de Redução	Fila Média (Pessoas)	Ocupação Média	Espera Média (Minutos)
-10%	14,3	33%	5,69
-20%	12,68	29%	5,69
-30%	11,09	25%	5,69
-40%	9,51	22%	5,69

Fonte: Autores (2018)

Para estas reduções no quantitativo da chegada de pessoas no ponto, constata-se que a fila média de pessoas para entrar no ônibus, bem como a ocupação média reduziram, com uma espera de 5,69 minutos no ponto. A espera média, apresenta-se igual para ambos cenários devido ao fato de não ocorrer alteração no tempo de espera do ônibus no ponto após sua chegada, circunstância esta, averiguada a seguir.

5.3 Simulação caso 3

Equitativamente à simulação do caso 2, este tópico possui a finalidade de efetuar a inclusão de novos parâmetros, como a taxa de atendimento estudada em teoria das filas, que teve seu valor acrescido para que a nova análise fosse averiguada.

O caso analisado anteriormente abrange a redução percentual do número de pessoas que chegam ao ponto de ônibus, sem mudança no tempo de espera do ônibus no ponto. Nesta simulação, além da redução percentual de -10% à -40%, incluirá a espera do ônibus no ponto, após sua chegada em 5 situações: 1 minuto, 2 minutos, 3 minutos, 4 minutos e 5 minutos de espera, a fim de ponderar o quanto sua espera no ponto resulta em alterações no fim da análise.

Deste modo, por exemplo, a redução de 10% da chegada de pessoas, será associada à espera do ônibus no ponto, sendo de 1 minuto até 5 minutos. Esta análise, com a espera de 1 minuto encontra-se na tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Redução de 10% na chegada de pessoas associado à espera de 1 minuto do ônibus no ponto

λ (Pessoas/Minuto)	Horário	Chegada (Pessoas)	Chegada acumulada	Atendimento (Pessoas)	Atendimento Acumulado	Fila (Pessoas)	Taxa de Ocupação	Espera (Minutos)
0,9	11:30	1,8	1,8	0	0	1,8	0%	6
1,62	11:35	8,1	9,9	0	0	9,9	0%	1
3,6	11:36*	3,6	13,5	13,5	13,5	0	25%	0
2,9	11:37*	2,9	16,4	2,9	16,4	0,0		0
2,88	11:40	8,64	25,0	0,0	16,4	8,6	0%	7
2,34	11:45	11,7	36,7	0,0	16,4	20,3	0%	2
0,5	11:47*	0,9	37,6	21,2	37,6	0,0	37%	0
3	11:48*	3	40,6	3,0	40,6	0,0		0
3	11:50	6	46,6	0,0	40,6	6,0	0%	9
1,62	11:55	8,1	54,7	0,0	40,6	14,1	0%	5
1,43	11:59*	2,7	57,4	16,8	57,4	0,0	29%	0
1,8	12:00*	1,8	59,2	1,8	59,2	0,0		0
1,26	12:05	6,3	65,5	0,0	59,2	6,3	0%	4
1,13	12:09*	4,5	70,0	10,8	70,0	0,0	29%	0
5,4	12:10*	5,4	75,4	5,4	75,4	0,0		0
3,96	12:15	19,8	95,2	0,0	75,4	19,8	0%	6
4,32	12:20	21,6	116,8	0,0	75,4	41,4	0%	1
7,2	12:21**	7,2	124,0	48,6	124,0	0,0	43%	0
7,2	12:22**	7,2	131,2	7,2	131,2	0,0		0
7,2	12:25	21,6	152,8	0,0	131,2	21,6	0%	7
1,44	12:30	7,2	160,0	0,0	131,2	28,8	0%	2
1,35	12:32*	2,7	162,7	31,5	162,7	0,0	63%	0
4	12:33*	4	166,7	4,0	166,7	0,0		0

Fonte: Autores (2018)

Decorrendo deste primeiro cenário, o ônibus espera no ponto 1 minuto além do tempo normal, dessa forma há o atendimento das pessoas que chegam dentro desse período, sendo positivo para ambos os lados, tanto para a empresa em estudo que atende um quantitativo maior e para o passageiro que possui o tempo a mais. Na tabela 10, os tempos negritados indicam o horário em que o ônibus ficou, 1 minuto, no ponto no terminal central. Por exemplo, anteriormente o ônibus partiria às 11h36, com a espera o novo horário passa a ser 11h37. Por fim, para este contexto, também calculou-se as médias para a fila, ocupação e espera, indicando respectivamente 13,7 pessoas, 38% e 3,85 minutos. Nota-se o aumento na ocupação e redução no tempo de espera, quando comparado à análise do caso 2. A idéia aplicada anteriormente, também foi adotada nos outros cenários. Para fins didáticos apresentou-se o primeiro cenário acima, e os demais e seus resultados são demonstrados resumidamente nas tabelas a seguir:

Tabela 11 - Redução de 10% da demanda atual e espera de 1 a 5 minutos

% de Redução	Espera (Minutos)	Fila Média (Pessoas)	Ocupação Média	Espera Média (Minutos)
10%	1	13,74	38%	3,85
	2	11,19	36%	3,85
	3	7,81	42%	2,86
	4	5,39	41%	1,93
	5	4,92	43%	2,08

Fonte: Autores (2018)

Tabela 12 - Redução de 20% da demanda atual e espera de 1 a 5 minutos

% de Redução	Espera (Minutos)	Fila Média (Pessoas)	Ocupação Média	Espera Média (Minutos)
20%	1	12,18	39%	3,85
	2	9,82	37%	3,85
	3	6,95	40%	2,93
	4	4,91	36%	1,93
	5	4,00	42%	1,93

Fonte: Autores (2018)

Tabela 13 - Redução de 30% da demanda atual e espera de 1 à 5 minutos

% de Redução	Espera (Minutos)	Fila Média (Pessoas)	Ocupação Média	Espera Média (Minutos)
30%	1	10,45	32%	3,85
	2	8,68	33%	3,85
	3	6,04	32%	2,93
	4	4,37	34%	1,93
	5	3,52	35%	1,93

Fonte: Autores (2018)

Tabela 14 - Redução de 40% da demanda atual e Espera de 1 à 5 minutos

% de Redução	Espera (Minutos)	Fila Média (Pessoas)	Ocupação Média	Espera Média (Minutos)
40%	1	9,18	31%	3,85
	2	8,18	32%	3,85
	3	5,25	32%	2,93
	4	3,40	41%	1,90
	5	3,20	30%	1,60

Fonte: Autores (2018)

Após a construção e com os cálculos dos cenários mostrados anteriormente, nota-se que há uma diferença a respeito do quantitativo encontrado, tendo em vista as diferentes reduções na porcentagem de chegada e aumento gradual de 1 minuto para cada análise. Condensando os resultados obtidos, de forma abrangente, o aumento no tempo em que o ônibus espera no seu ponto no terminal central, implica na redução tanto da fila, quanto da espera média, e variação para mais e para menos da taxa de ocupação de acordo com cada cenário.

6. Considerações Finais

Considera-se que a utilização da teoria das filas para analisar o serviço prestado no ponto de ônibus em questão foi positiva, pois esta abordagem permitiu não apenas entender melhor o funcionamento atual como também estudar comportamentos diferentes de demanda e atendimento no ponto, podendo propor para a empresa responsável possíveis melhorias.

Em relação ao tempo de atendimento obrigatório aos usuários de ônibus, o Estado do Paraná não possui uma norma que abrange tal conjuntura analisada no artigo. Para atendimentos realizados em instituições bancárias, financeiras e de crédito, igualmente aos realizados nos supermercados, seguindo a Lei 13400 - 21 de Dezembro de 2001, o usuário deverá ser atendido em até 20 minutos em dias normais. Para o estudo, foi tomado como parâmetro o atendimento realizado em até 20 minutos, porém os resultados encontrados não ultrapassaram este limite. Contudo, um dos objetivos do estudo mantém-se na redução do atendimento a fim de melhorar o serviço prestado aos passageiros.

Analisando o caso 1, pode-se afirmar que o serviço atualmente prestado se comporta de uma maneira conforme até o momento em que a demanda aumenta para 60%. Qualquer demanda maior ou igual a esta resulta em passageiros não atendidos. Após a análise de cenários, pode-se afirmar que para prestar um serviço melhor para demandas superiores ao normal, seria ideal que a empresa responsável pela linha reduzisse seu *headway* de 10 para 9 minutos ou inferior. Diminuir o *headway* resulta em uma melhor distribuição de atendimento, assim como menores tempos de espera. Um resultado surpreendente foi o fato de que, em alguns casos, o aumento do *headway* resulta em aumento da fila média, e não na sua redução como era o esperado.

Já estudando os casos 2 e 3 pode-se afirmar que, para períodos de baixa demanda, o serviço seria prestado de uma maneira mais eficiente se o ônibus esperar no ponto de ônibus por um período de 5 minutos. Analisando a tabela 9 (estatísticas de desempenho para quando o ônibus não espera no ponto) e comparando com os valores encontrados nas tabelas 11, 12, 13 e 14 (estatísticas de desempenho para quando o ônibus espera por até 5 minutos) observamos que a espera média e fila média dos usuários é reduzida de forma considerável. Por exemplo, quando a demanda está 40% abaixo do normal, os usuários esperam em média 4,09 minutos a menos e existem em média 6 pessoas a menos aguardando em fila quando o ônibus aguarda no ponto por 5 minutos.

Somando à análise anterior, um ponto que possui um caráter notável para o estudo, são os valores obtidos para a espera média no caso 2. Após simular cenários com menores demandas, de acordo com a tabela 9, o valor de 5,69 minutos apresenta-se em todos os cenários de reduções analisados. O resultado para os cenários surpreende, pelo fato de que a redução da demanda não impacta no quantitativo da espera média. .

O objetivo do artigo foi alcançado, mostrando à companhia responsável pelo transporte público de como a alteração dos mesmos interferem com o serviço prestado. Como recomendação dos autores para futuros trabalhos, é válido recomendar que o estudo realizado neste artigo se expanda para outras linhas, e também para outros pontos da linha Santa Paula, pois neste estudo apenas o ponto do terminal central foi analisado.

REFERÊNCIAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Campus/elsevier, 2007

BARBOSA, R. A. *et al.* **Modelagem e análise do sistema de filas de caixas de pagamento em uma drogaria: uma aplicação da teoria das filas**. *XXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, Salvador, out. 2009.

CAMELO, G. R. *et al.* **Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira**. *XXX Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, São Carlos, out. 2010.

FOGLIATTI, M. C. e Mattos, N. M. C. **Teoria de filas**, Rio de Janeiro, 2007;

LADEIRA, Maria Cristina. **Regulação da operação de linhas de transporte público urbano: controle do headway**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em :<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116652/000966634.pdf?sequence=1>> Acesso em 12 mai. 2018.

MARINS, F. A. S. **Introdução a pesquisa operacional** – São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-reitora de Graduação, 2011.

MENDONÇA, B.E. **Teoria de Filas Markovianas e Aplicações**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciências e Tecnologia.

PARANÁ (Estado). **Lei nº 13400, de 21 de dezembro de 2001**. Dispõe que as instituições bancárias e outras especificadas, deverão providenciar medidas para efetivar, em tempo razoável, atendimento a seus usuários. Publicado no Diário Oficial Nº 6137 de 26 dez. 2002.

PINTO, A. S. **Aplicação da Teoria de Filas na Análise da Capacidade Operacional de um Sistema: Estudo Caso BCA Porto Novo**. Instituto Superior De Ciências Econômicas e Empresariais, Mindelo, 2011.

RESENDE, Ubiratan Pereira. **As contradições e os desafios da mobilidade urbana de Goiânia no contexto de sua Região Metropolitana**. 2017. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Programa de Pós- graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/7116/5/Tese - Ubiratan Pereira de Resende - 2017.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

SILVA, R.; OLIVEIRA, A.; FARIAS, T.; SILVA, I. **Aplicação da teoria das filas no sistema de filas de uma empresa do ramo de panificação de médio porte**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Fortaleza. 13-16 out. 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_252_26684.pdf> . Acesso em: 01 mai. 2018.