

APLICAÇÃO DE TEORIA DAS FILAS PARA MELHORAR O DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO NA CIDADE DE PONTA GROSSA-PR

Isabella Carvalho Machado (UTFPR – Ponta Grossa) bellacmachado@hotmail.com

Antônio William Ottaciano Rosário (UTFPR – Ponta Grossa) antonio1william@gmail.com

Shih Yung Chin (UTFPR - Ponta Grossa) chin@utfpr.edu.br

Resumo:

Este estudo foi baseado na observação do serviço de transporte público na cidade de Ponta Grossa – Paraná, com intuito de analisar, discutir e propor melhorias para o sistema de filas existente. A linha de ônibus escolhida para o estudo foi a UTFPR da empresa de ônibus Viação Campos Gerais, a qual apresenta intenso fluxo de pessoas e possui grandes filas em horário de pico, a disponibilidade dos ônibus também foi um fator determinante para essa escolha. Para tal, foi realizado a coleta de dados referente ao sistema de filas e analisados de acordo com a Teoria de Filas, onde foram simulados três cenários: alteração na capacidade máxima transportável, alterações no headway e a ligação direta entre os extremos da linha. Para as melhorias do cenário 1, a fila média, a espera média e a espera máxima, diminuem respectivamente em 44%, 50% e 43% em relação ao cenário atual; para o cenário 2, a fila média, a espera média e a espera máxima, reduziram respectivamente em 45,93%, 50,82% e 43,1%; para o cenário 3 a fila máxima continua a mesma, porém a fila média de passageiros reduz em 60% e a espera média reduz em 75%. Desse modo a melhoria do cenário 3 mostra-se mais eficiente para reduzir o tempo de permanência do usuário em fila. Posto isto, todas as simulações apresentaram melhorias expressivas, sendo que a possibilidade da mudança é viável e próxima à realidade.

Palavras chave: Teoria das filas, Simulação, Transporte público.

APPLICATION OF THE ROWS THEORY TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE PUBLIC TRANSPORT SYSTEM IN THE CITY OF PONTA GROSSA-PR

Abstract

This study was based on the observation of the public transport service in the city of Ponta Grossa - Paraná, in order to analyze, discuss and propose improvements to the existing queuing system. The bus line chosen for the study was the UTFPR of the bus company Viação Campos Gerais, which has an intense flow of people and has large queues at peak times, bus availability was also a determining factor for this choice. In order to do this, data were collected on the queuing system and analyzed according to the Queue Theory, in which three scenarios were simulated: change in maximum transportable capacity, changes in the headway and direct connection between the ends of the line. For scenario 1 improvements, the average queue, the average wait, and the maximum wait, respectively fall by 44%, 50%, and 43% relative to the current scenario; for scenario 2, the average queue, the average wait and the maximum wait, respectively fell by 45.93%, 50.82% and 43.1%; for scenario 3 the maximum queue remains the same, but the average passenger queue reduces by 60% and the average queue decreases by 75%. In this way the improvement of scenario 3 is shown to be more efficient to reduce the time of the queued user. Thus, all simulations showed significant improvements, and the possibility of change is feasible and close to reality.

Key-words: Theory of queues, Simulation, Public transport.

1. Introdução

Por definição mobilidade urbana é o resultado da interação dos fluxos de deslocamento de pessoas e veículos no espaço das cidades, contemplando tanto os fluxos e trocas motorizadas, quanto os não motorizados (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017).

De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transporte Público (2017), no ano de 2017 a rede de transporte público urbano, tem aproximadamente noventa e seis mil veículos operantes circulando nas cidades diariamente, e cerca de mais de 32 milhões de passageiros transportados, sendo que na cidade de Ponta Grossa, no estado do Paraná, há aproximadamente, 90 mil pessoas utilizam o transporte público como meio de locomoção (VIAÇÃO CAMPOS GERAIS, 2017).

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 modificar, a fim de auxiliar na tomada de decisão para a resolução do problema. (RESENDE, 2017).

Verifica-se que os fatores que geram desagrado nas pessoas que utilizam esse serviço, são a existência de filas para o atendimento, atrasos dos ônibus no horário definido e superlotação, que resultam em desconforto e a insatisfação por parte dos usuários para com o cenário atual do transporte público. Portanto, é necessário buscar um melhor entendimento sobre o comportamento das filas no serviço de transporte coletivo e através da Teoria de Filas é possível analisar características do atendimento aos passageiros.

O artigo possui como objetivo geral propor modificações na capacidade máxima do transporte, alterações no headway e implementação de uma linha direta entre os pontos críticos, e diante da construção de cenários, pretende realizar uma redução no tempo de espera do usuário e analisar o comportamento do sistema de filas.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Teoria das filas

Segundo Marins (2011,p.151) “a Teoria das Filas tem como objetivo principal o desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam prever o comportamento de sistemas de prestação de serviços”. Quando se trata de uma operação rodoviária, a procura pelo serviço muitas vezes é maior que a capacidade oferecida, ocasionando longas filas e elevado tempo de espera dos usuários. Conforme (TAHA,2008) a ordem na qual os usuários são atendidos em uma fila, ou seja, a disciplina da fila, podem ser: FCFS - *First come, first served*, primeiro a chegar é o primeiro a ser servido; LCFS - *Last come, first served*, último a chegar é o primeiro a ser servido; SIRO - *Service in rondon order*, serviço em ordem aleatória, ou seja, os atendimentos são realizados na medida em que os clientes entram no sistema de fila, independe da ordem de chegada; PRIORIDADE - clientes são atendidos com base em alguma ordem estabelecida.

Para o presente estudo de caso, foi possível identificar características importantes para o estudo da fila em funcionamento, conforme Junior (2010) as principais características são:

- a) Clientes e tamanho da população: nesse caso a chegada de um novo usuário na fila afetará a taxa de chegada, ou seja, as chegadas são dependentes.
- b) Processo de chegada: a chegada dos clientes é aleatória, chegam ora em grupos, ora individualmente.

- c) Processo de atendimento: representa a capacidade de atendimento, neste caso, o atendimento é em grupo, por isso cada atendimento será analisado individualmente.
- d) Número de servidores: O serviço de transporte público possui um servidor que atende um usuário por vez. Durante o período de 1h30min são ofertados 5 ônibus da linha UTFPR, sendo que os horários de atendimento obedecem um intervalo de tempo irregular para cada ponto.
- e) Disciplina da fila: os usuários são atendidos conforme a ordem SIRO ou serviço em ordem aleatória, portanto não depende a ordem de chegada, será considerado que não há limite para o tamanho da fila.

O interesse em estudar a teoria de filas está na possibilidade de realizar modificações nas características do sistema, através de fórmulas matemáticas encontradas na Tabela 1, procura-se encontrar soluções a fim de melhorar de alguma forma o rendimento do transporte público.

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	$\text{ChAc} = \lambda \cdot \Delta t + \text{Chegada Acumulada Anterior}$
Atendimento em grupo	Atendimento de vários clientes simultaneamente.
Atendimento Acumulado	$\text{AtAc} = \mu \cdot \Delta t + \text{Atendimento Acumulado Anterior}$
Fila (L_q)	$L_q = \text{Chegada Acumulada} - \text{Atendimento Acumulado}$
Fila média ($\bar{L}_q$) $L_i = \text{chegada acumulada} - \text{atendimento acumulao}$	$\bar{L}_q = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}{n}$
Fila máxima ($L_{q\text{máx}}$)	$L_{q\text{máx}} = \text{número máximo de pessoas na fila}$
Espera média do cliente na fila ($\bar{W}_q$) $W_i = \text{Momento atendimento} - \text{Momento da chegada}$	$\bar{W}_q = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n}{n}$
Espera máxima do cliente na fila ($W_{q\text{máx}}$)	$W_{q\text{máx}} = \text{maior tempo de espera do usuário}$

Fonte: Autores (2017)

Tabela 1 - Fórmulas para os cálculos dos itens relacionadas à Teoria de Filas

Silva *et al.* (2015) apresentam um estudo de caso realizado em uma panificadora de médio porte dentro do bairro do Marco em Belém, realizou-se a análise do comportamento das filas e a distribuição física do estabelecimento. Os resultados das análises mostram que o estabelecimento opera com apenas 58% da sua capacidade total, sendo que tamanho médio da fila foi 0,839 e o tempo médio de espera na fila foi de 0,986 minutos, que são considerados dentro dos conformes, já que não há congestionamento dos clientes e os mesmos são atendidos rapidamente, através das análises foi possível buscar estratégias para diminuir a ociosidade e otimizar o atendimento.

Santos *et al.* (2015) aplicou a Teoria de Filas e Simulações em um setor de pagamento de um supermercado, foram simulados quatro cenários, sendo dois destes para o fluxo de alta demanda, para esse cenário foi simulado a situação de filas em paralelo (situação real) e fila única, obteve-se redução do tempo de permanência em fila de 26,2%. Já para os outros dois

cenários, com fluxo normal de atendimento, foi simulada as mesmas situações e obteve-se redução de tempo de permanência em fila de 66%. Portanto, o sistema de fila única se mostrou mais eficiente.

Há estudos que utilizam a teoria de filas como ferramenta de apoio para melhoria de desempenho, entretanto a maioria dos estudos de casos são sobre filas em restaurantes, bancos, correios, hospitais e buscam minimizar o tempo de espera na fila. Com base nos artigos pesquisados, nota-se que há uma grande escassez de trabalhos que abordam a relação itinerário e a capacidade do ônibus, sendo portanto a contribuição deste estudo, o qual traz como tema a análise do desempenho do transporte público utilizando a teoria de filas.

3. Metodologia

A coleta de dados foi realizada em um período de uma hora e meia (17h30min às 19h) e repetido durante 10 dias consecutivos, de forma que os períodos e os dias foram escolhidos por apresentarem intenso fluxo de passageiros nos pontos. Foram observados 18 pontos, sendo que a origem é a UTFPR - Campus Ponta Grossa e o destino é o Terminal Central. A figura 1 mostra os pontos estudados, nos quais P1 ao P18 representam a nomeação utilizada.

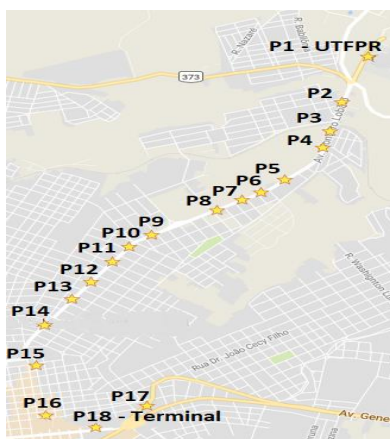


Figura 1 – Trajeto e pontos que a linha de ônibus UTFPR percorre

A tabela 2 apresenta o número de pessoas embarcadas e desembarcadas em cada ponto durante o período observado, através das visitas de campo observou-se que a linha UTFPR da empresa de ônibus Viação Campos Gerais (VCG) apresenta um fluxo intenso de pessoas, por isso o estudo será focado nessa linha. Em torno de 500 passageiros utilizam essa linha diariamente, há grandes filas em horário de pico e a disponibilidade dos ônibus também foi um fator determinante.

Tempo (minutos)	Somatório dos Passageiros que Desembarcaram	Somatório dos Passageiros que Embarcaram
Ponto 1	-	228
Ponto 2	7	10
Ponto 3	1	4
Ponto 4	1	2
Ponto 5	2	2
Ponto 6	13	10
Ponto 7	6	9
Ponto 8	18	13
Ponto 9	25	23

Ponto 10	22	28
Ponto 11	33	31
Ponto 12	26	21
Ponto 13	24	15
Ponto 14	27	22
Ponto 15	33	20
Ponto 16	26	20
Ponto 17	26	10
Ponto 18	178	0

Fonte: Autores (2017)

Tabela 2 – Número de pessoa embarcadas e desembarcadas da linha UTFPR

Durante a coleta de dados, pessoas que utilizam essa linha diariamente relataram dificuldades para o embarque e desembarque do transporte, pela falta de marcação da fila nos pontos, alguns usuários passam a frente de outros para serem atendidos mais rapidamente, gerando desconforto e conflitos. Os ônibus convencionais contam com uma capacidade máxima de 56 pessoas, as quais ficam em pé ou sentadas, e não seguem corretamente as normas, ou seja, o atendimento é realizado mesmo com o atingimento da capacidade máxima. Portanto, o estudo tem como finalidade o dimensionamento da capacidade dos ônibus e a redefinição dos horários dos ônibus.

A importância desse estudo é o fato de comprovar que o desempenho do sistema de transporte público possui questões a serem melhoradas, e a partir deste, será possível estabelecer propostas de melhoria através dos cenários simulados.

4. Resultados e Discussão

A análise do ponto de partida (ponto 1) está na tabela 3, onde é apresentada a quantidade de pessoas que chegam a cada instante, as chegadas acumuladas, o atendimento dos usuários, o atendimento acumulado, a fila formada e por fim, o número de lugares ocupados no ponto em questão (necessário para realizar os cálculos dos outros pontos, já que a quantidade de vagas afeta o atendimento no próximo ponto).

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila (Lq)	Número de lugares ocupados
17:30	90	90	0	0	90	-
17:32	40	130	0	0	130	-
17:36**	-	130	112	112	18	112
17:45	7	137	0	112	25	-
17:55	10	147	0	112	35	-
18:00	7	154	0	112	42	-
18:05	7	161	0	112	49	-
18:10	10	171	0	112	59	-
18:15	9	180	0	112	68	-
18:20	10	190	0	112	78	-
18:25	5	195	0	112	83	-
18:30*	-	195	56	168	27	56

18:35	9	204	0	168	36	-
18:40	6	210	0	168	42	-
18:45*	-	210	42	210	0	42
18:50	10	220	0	210	10	-
18:55	8	228	0	210	18	-
18:56*	-	228	18	228	0	18

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3: Verificação das partidas da UTFPR com destino ao Terminal Central

A tabela 3 mostra os horários disponíveis de partida da UTFPR-PG, o (*) representa os horários de chegada de cada ônibus e (**) representa que nesse horário chegaram dois ônibus no ponto. De acordo com as fórmulas mostradas na Tabela 1 (seção 2.1), foram realizados cálculos de fila média ($\overline{Lq}$), fila máxima ($Lq_{\max}$), espera máxima ($Wq_{\max}$) e espera média ($\overline{Wq}$).

Foi possível identificar que os candidatos à fila máxima ocorre instantes antes da chegada do ônibus. Os resultados seguem abaixo:

$$\overline{Lq} = \frac{90+130+18+25+35+42+49+59+68+78+83+27+36+42+0+10+18+0}{18} = 45 \text{ passageiros}$$

$$Lq_{\max} = \max(90;130;18;25;35;42;49;59;68;78;83;27;36;42;0;10;18;0) = 130 \text{ passageiros}$$

Para o cálculo da espera média ($\overline{Wq}$), foi estabelecido como tempo base (instante de tempo) 17h55min, 18h15min, 18h35min e 18h55min, em que os usuários que chegaram nos horários base, esperaram para serem atendidos 35 minutos, 15 minutos, 10 minutos e 1 minuto, respectivamente. Posto isto, a espera média foi de:

$$\overline{Wq} = \frac{35 + 15 + 10 + 1}{4} = 15,25 \text{ minutos}$$

Com relação aos candidatos à espera máxima, ocorre para as primeiras entidades que foram atendidas no período.

$$Wq_{\max} = 58 \text{ minutos (18 pessoas que chegaram às 17h32min)}$$

Os dados coletados de todos os pontos, durante 1h30min de observação, resultaram na Tabela abaixo, as informações necessárias para os cálculos podem ser encontradas no Anexo 1. Utilizando as fórmulas apresentadas na seção 2.1 e o mesmo procedimento de cálculo para o ponto 1, tem-se na Tabela 4 as informações necessárias de cada ponto, bem como a quantidade de pessoas que chegam a cada instante, as chegadas acumuladas, o atendimento dos usuários, o atendimento acumulado e a fila formada.

Pontos de Ônibus	Lq (passageiros)	Lq _{max} (passageiros)	Wq (minutos)	Wq _{max} (minutos)
1	45	130	15,250	58
2	0,778	3	0,500	18
3	0,688	3	2,250	14
4	0,188	0,188	0,188	7

5	0,158	1	1,750	8
6	0,842	4	0,750	8
7	1,667	4	3,500	14
8	2,125	7	1,250	20
9	2,833	13	4,500	17
10	3,300	14	2,000	19
11	3,850	14	3,000	16
12	2,105	10	4,750	15
13	1,250	6	6,250	16
14	2,045	8	7,500	22
15	1,750	7	3,750	15
16	1,545	10	2,750	12
17	0,545	4	2,000	8
18	-	-	-	-

Fonte: Autores (2017)

Tabela 4 - Desempenho do sistema de transporte em todos os pontos

Sobre os direitos dos usuários, o Estado do Paraná determina que o atendimento em instituições financeiras, bancárias e supermercados, deve ser no máximo de vinte minutos em dias normais e trinta minutos em feriados (PARANÁ,2001), já que não há normas para o atendimento aos usuários de transporte público, utilizou-se como parâmetro esse tempo máximo de espera. Após identificação dos tempos e esperas expostos na Tabela 4, percebe-se que o Ponto 1 é o ponto crítico, pois possui maior fila máxima com 130 passageiros e maior tempo máximo de espera do usuário de 58 minutos, além disso, foi possível identificar que o desempenho da alocação de pessoas e a disponibilidade de horários não satisfazem as necessidades dos passageiros, portanto as melhorias serão focadas no ponto de origem.

5. Sugestão de melhorias

A partir dos resultados obtidos no Anexo 1 e na tabela 3, é possível perceber que a capacidade dos ônibus disponíveis é discordante com a fila, além disso, a espera dos passageiros no período entre 17h30min e 18h30min é muito alta, assim sendo, nesta seção serão propostos três cenários de melhoria para o ponto 1 (UTFPR).

Análise Cenário 1

Este cenário consiste em definir a relação C (capacidade do transporte) e o headway (tempo entre a partida de um ônibus e a chegada do outro), foi analisado a alteração da capacidade do primeiro ônibus (partindo da UTFPR). Observa-se que no horário 17h36min chegam dois ônibus no ponto estudado, como a empresa possui ônibus articulados com capacidade de 140 passageiros esse pode substituir os dois ônibus. A seguir a tabela 5 apresenta os cálculos com o aumento da capacidade e mudanças no headway.

Tempo (minutos)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
17:30	90	90	0	0	90
17:32	40	130	0	0	130
17:35*	0	130	130	130	0
17:40	0	130	0	130	0
17:45	7	137	0	130	7
17:55	17	154	0	130	24
18:00*	0	154	24	154	0

18:05	7	161	0	154	7
18:10	10	171	0	154	17
18:15	9	180	0	154	26
18:20	10	190	0	154	36
18:30	5	195	0	154	41
18:30*	0	195	41	195	0
18:35	9	204	0	195	9
18:40	6	210	0	195	15
18:45	1	211	0	195	16
18:50	10	221	0	195	26
18:55	8	229	0	195	34
18:56*	0	229	34	229	0

Fonte: Autores (2017)

Tabela 5- Simulação com mudança de headway e capacidade para o ponto UTFPR

A partir das análises da Tabela 5 nota-se que o atendimento realizado às 17h35min com o ônibus articulado seria suficiente para o atender os usuários e sobriariam 10 lugares, além disso, os horários foram distribuídos para chegada no ponto de 30 em 30 minutos, sendo este o novo headway.

Abaixo a tabela 6 com as estatísticas do novo cenário bem como a porcentagem de aumento (+) ou diminuição (-) comparado ao cenário atual.

Cálculos para novo cenário	Simulação 1	Cenário Atual	Porcentagem
Fila máxima (passageiros)	130	130	-
Fila média (passageiros)	25,16	45	-55,91%
Espera média (minutos)	11,5	15,25	-75,41%
Espera máxima (minutos)	25	58	-43,1%

Fonte: Autores (2017)

Tabela 6- Resultados da simulação 1

O horário das 17h35min foi o escolhido para usar o ônibus articulado em substituição do ônibus convencional, pois apresenta maior fluxo de pessoas, já que é o horário de saída dos universitários. Ao analisar os resultados do primeiro cenário, verifica-se que o sistema encontra-se em condições de atender a demanda do horário de maior pico (17h35min), visto que na fila média dos passageiros houve uma redução de 55,91%, denotando assim, a existência de menores filas, apresentando também redução no tempo de espera máxima do usuário na fila de 75,41%.

Análise Cenário 2

Neste cenário foram manipulados os horários de headway, mas permanecendo com a capacidade dos ônibus convencionais já utilizados para essa linha, sendo que no período de headway não há atendimento e ao chegar o transporte atenderá subitamente a capacidade disponível. A seguir, a tabela 7 com as informações do novo cenário e a tabela 8 com as porcentagens associadas.

Tempo (minutos)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
17:30*	90	90	56	56	34
17:32	40	130	0	56	74
17:35*	0	130	56	112	18
17:45	7	137	0	112	25
17:55	17	154	0	112	42
18:00*	0	154	42	154	0
18:05	7	161	0	154	7
18:10	10	171	0	154	17
18:15	9	180	0	154	26
18:20	10	190	0	154	36
18:25	5	195	0	154	41
18:30*	0	195	41	195	0
18:35	9	204	0	195	9
18:40	6	210	0	195	15
18:45	0	210	0	195	15
18:50	10	220	0	195	25
18:55	8	228	0	195	33
18:56*	0	228	33	228	0

Fonte: Dados coletados pelos autores

Tabela 7 - Dados obtidos com a simulação 2

Cálculos para novo cenário	Simulação 2	Cenário Atual	Porcentagem
Fila máxima (passageiros)	74	130	-56,92%
Fila média (passageiros)	23,16	45	-45,93%
Espera média (minutos)	11,15	15,25	-50,82%
Espera máxima (minutos)	25	58	-43,1%

Fonte: Autores (2017)

Tabela 8- Resultado da simulação 2

O estudo dos dados gerados para o segundo cenário nos permite identificar que o mesmo também é capaz de reduzir os tempos de espera e tamanho da fila no ponto, visto que na fila média dos clientes houve uma redução de 45,93%, denotando assim, a existência de menores filas, apresentando também redução no tempo de espera máxima do usuário na fila de 43,1%. No entanto, este cenário se diferencia dos demais por apresentar a fila máxima dos passageiros reduzida em 56,92%, sendo que a mudança do headway proporciona um melhor balanceamento dos horários, fazendo com que os passageiros sejam atendidos em no máximo 25 minutos de espera na fila.

Análise Cenário 3

Neste cenário testou-se o ônibus articulado (140 lugares) fazendo linha direta entre UTFPR e o Terminal Central às 17h35min, além disso foi alterado o headway para que a espera do usuário não seja afetada. A tabela a seguir contém os dados utilizados para a comparação com o cenário atual.

Tempo (minutos)	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
17:30	90	90	0	0	90
17:32	40	130	0	0	130
17:35*	0	130	130	130	0
17:45	7	137	0	130	7
17:55	10	147	0	130	17
18:00	7	154	0	130	24
18:05	17	171	0	130	41
18:10*	0	171	41	171	0
18:15	9	180	0	171	9
18:20	10	190	0	171	19
18:25	5	195	0	171	24
18:35	15	210	0	171	39
18:40*	6	216	45	216	0
18:50	10	226	0	216	10
18:55	8	234	0	216	18
18:56*	0	234	18	234	0

Fonte: Dados coletados pelos autores

Tabela 9 - Dados obtidos com a simulação 3

Abaixo a tabela 10 com as estatísticas do novo cenário e as porcentagem associadas de aumento (+) ou diminuição (-) que representam sobre o cenário atual.

Cálculos para novo cenário	Simulação 3	Cenário Atual	Porcentagem
Fila máxima (passageiros)	130	130	-
Fila média (passageiros)	26,75	45	-59,44%
Espera média (minutos)	11,5	15,25	-75,41%
Espera máxima (minutos)	25	58	-43,1%

Fonte: Autores (2017)

Tabela 10- Resultado da simulação 3

Observando os dados gerados na simulação do terceiro cenário, identifica-se que a espera máxima do usuário na fila será de 25 minutos, no entanto, a fila máxima do ponto não sofreu mudanças, pois o ônibus articulado deve chegar no horário em que há maior número de pessoas na fila, no caso às 17h35min com 130 pessoas.

Após realizar as três simulações de capacidade e headway percebe-se que todos os índices da fila média, espera média e espera máxima reduziram consideravelmente. Cada cenário possui um índice melhor ou pior que o outro, por isso o estudo se faz tão importante, as simulações se enquadram para diferentes focos, sendo possível auxiliar na tomada de decisão. Caso a precedência seja a fila máxima ($W_{q\max}$) a melhor opção é a simulação 2, mas se o foco for tempo de espera médio, as melhores simulações são 1 e 3 e se optar por fila média o cenário escolhida será o 3.

6. Conclusão

Pode-se afirmar que a aplicação da Teoria das Filas auxiliou na compreensão do desempenho atual do transporte público, o estudo priorizou o horário que o fluxo de pessoas é maior, através das fórmulas e conceitos da teoria, foi possível realizar simulações relevantes para possíveis melhorias na linha UTFPR, com as modificações do headway e da capacidade dos ônibus, a espera e a formação de filas seriam amenizadas.

A partir das análises das simulações constata-se que no cenário 1, acrescentado um ônibus articulado com capacidade de 140 pessoas e alterando o headway, a fila média, a espera média e a espera máxima, diminuem respectivamente em: 44%,50% e 43%,ou seja, substituindo dois ônibus convencionais por um articulado, e realocando o horário dos outros ônibus já utilizados, a melhoria é visível e viável.

Já no cenário 2, diferentemente do cenário 1, a fila máxima foi reduzida significativamente em 57%, apenas realocando os ônibus convencionais já utilizados, portanto se o foco for o tamanho da fila e não alterar a capacidade dos ônibus, essa é a melhor simulação. Enquanto que o cenário 3, onde inseriu-se uma linha direta entre a UTFPR e o Terminal Central substituindo dois ônibus, sem mudanças na estrutura mecânica da linha, a fila máxima continua a mesma, porém a fila média de passageiros diminui em 60% e a espera média diminui em 75%, desse modo se a prioridade for reduzir a espera do usuário na fila, a simulação 3 é a mais adequada.

Isto posto, os objetivos do estudo foram alcançados, já que todas as melhorias são viáveis, aperfeiçoando o desempenho do sistema, e consequentemente satisfazendo as necessidades dos usuários. Outros problemas foram identificados, como a estrutura dos pontos de ônibus, a qual não possui demarcação para a organização da fila, o que implica em um maior tempo de desembarque e embarque das pessoas, esse fato pode ser melhor explorado em futuros estudos.

7. Referências

AGUIAR, G.; ALVES, C. C.; HENNING, E.. *Gerenciamento de Projetos: Simulação de Monte Carlo via a Ferramenta SimulAr. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*. São Carlos. 12-15 out. 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_120_783_17492.pdf>. Acesso em: 07 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE PÚBLICO (Brasil).. *Dados do transporte público por ônibus. 2017.* Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>>. Acesso em: 07 set. 2017.

IBGE. Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=POP122&t=taxa-urbanizacao>>. Acesso em: 07 set. 2017.

JUNIOR, PERREIRA. *Modelagem e avaliação de desempenho (apostila)*.Ituiutaba: UEMG, 20010. Disponível em: < http://waltenomartins.com.br/ap_mad_cap1.pdf>. Acesso em: 07 set 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Rio de Janeiro: IBAM). *Mobilidade e política urbana: subsídios para uma gestão integrada/ Coordenação de Lia Bergman e Nidia Inês Albesa de Rabi*. 2005. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/mobilidade.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

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.

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: 07 set. 2017.

SANTOS, V.C.; SILVA, D.A.; RODRIGUES, G.J.; FAGNANI, H.M.; BARBOSA P.P.. *Análise de Capacidade de Atendimento dos Caixas de um Supermercado por Meio da Teoria das Filas e Simulação*. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção – CONBREPRO. Ponta Grossa, 02-04 dez. 2015. Disponível em: < <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais2015.php> > . Acesso em: 07 set. 2017.

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 – ENEGEPP. Fortaleza. 13-16 out. 2015. Disponível em:< http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_252_26684.pdf> . Acesso em: 07 set. 2017.

TAHA, H. A. *Sistemas de Filas*. In: TAHA, H. A. Pesquisa Operacional. Ed. 8. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008. Cap. 15, p. 247-270.

VIAÇÃO CAMPOS GERAIS (Ponta Grossa). Sobre. 2017. Disponível em: <<http://www.vcg.com.br/sobre/>>. Acesso em: 07 set. 2017

ANEXO 1

Ponto 1										Ponto 2										Ponto 3										Ponto 4										Ponto 5									
T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila																				
17:30	90	0	0	0	0	17:30	2	2	0	0	2	17:30	0	0	0	0	0	17:30	0	0	0	0	0	17:30	0	0	0	0	0																				
17:32	40	130	0	0	130	17:32	1	0	0	0	3	17:32	1	1	0	0	1	17:32	0	0	0	0	0	17:32	0	0	0	0	0																				
17:35*	130	112	112	18	17:35*	3	3	3	0	0	3	17:40*	3	1	1	0	0	17:42*	0	0	0	0	0	17:40	0	0	0	0	0																				
17:45	7	137	0	112	25	17:40	0	3	0	3	0	17:45	0	1	0	1	0	17:45	0	0	0	0	0	17:43*	0	0	0	0	0																				
17:55	16	147	0	112	35	17:45	0	3	0	3	0	17:50	0	1	0	1	0	17:55	0	0	0	0	0	17:45	0	0	0	0	0																				
18:00	7	154	0	112	42	17:50	0	3	0	3	0	17:55	0	1	0	1	0	18:00	0	0	0	0	0	17:50	0	0	0	0	0																				
18:05	7	161	0	112	49	17:55	0	3	0	3	0	18:00	0	1	0	1	0	18:05	0	0	0	0	0	17:55	0	0	0	0	0																				
18:10	10	171	0	112	59	18:00	0	3	0	3	0	18:05	0	1	0	1	0	18:10	0	0	0	0	0	18:00	0	0	0	0	0																				
18:15	9	180	0	112	68	18:05	0	3	0	3	0	18:10	0	1	0	1	0	18:15	0	0	0	0	0	18:05	0	0	0	0	0																				
18:20	10	190	0	112	78	18:10	0	3	0	3	0	18:15	0	1	0	1	0	18:20	0	0	0	0	0	18:10	0	0	0	0	0																				
18:25	5	195	0	112	83	18:15	0	3	0	3	0	18:20	0	1	0	1	0	18:30	0	0	0	0	0	18:15	0	0	0	0	0																				
18:30*	195	56	198	27	18:20	0	3	0	3	0	3	18:25	0	1	0	1	0	18:30	0	0	0	0	0	18:20	0	0	0	0	0																				
18:35	0	204	0	168	36	18:25	1	4	0	3	1	18:30	2	3	0	1	2	18:35	0	0	0	0	0	18:25	0	0	0	0	0																				
18:40	0	210	0	168	42	18:30	1	5	0	3	2	18:34*	3	0	1	2	18:40	0	0	0	0	0	18:30	0	0	0	0	0																					
18:45*	210	42	210	0	18:32*	5	2	5	0	5	0	18:35	1	4	0	1	3	18:40	1	1	0	0	1	18:35	0	0	0	0	0																				
18:50	10	220	0	210	10	18:35	0	5	0	5	0	18:40	0	4	0	1	3	18:45*	1	1	0	0	1	18:37*	0	0	0	0	0																				
18:55	8	228	0	210	18	18:40	2	7	0	5	2	18:44*	4	3	4	0	18:50	0	1	0	0	0	18:40	0	0	0	0	0																					
19:00*	228	18	228	0	18:42*	7	2	7	0	7	0	18:50	0	4	0	4	0	18:55	1	2	0	1	1	18:45	1	1	0	0	0																				
Ponto 6*						18:45	0	7	0	7	0	18:55	0	4	0	4	0	19:00	0	2	0	1	1	18:47*	1	1	0	0	0																				
T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila																				
17:30	0	0	0	0	0	17:30	0	0	0	0	0	Ponto 7						Ponto 8						18:55	1	2	0	1	1																				
17:32	0	0	0	0	0	17:32	0	0	0	0	0	Ponto 8						17:30	0	0	0	0	0	19:00	0	2	0	1	1																				
17:35	0	0	0	0	0	17:35	0	0	0	0	0	Ponto 9						17:32	3	3	0	0	3	19:05	0	0	0	0	0																				
17:44*	3	3	3	3	0	17:40	1	3	0	0	3	17:35	2	2	0	0	2	17:35	3	3	0	0	3	19:10	0	0	0	0	0																				
17:45	0	3	0	0	0	17:30	1	1	0	0	1	17:40	1	3	0	0	3	17:40	1	4	0	0	4	T (min) <th>Ch</th> <th>ChAc</th> <th>At</th> <th>AtAc</th> <th>Fila</th>	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila																				
17:50	0	3	0	0	0	17:35	1	2	0	0	2	17:45	0	3	3	0	3	17:45	4	4	0	4	0	19:15	0	0	0	0	0																				
17:55	0	3	0	0	0	17:40	6	8	0	0	8	17:50	0	3	0	3	0	17:50	0	4	0	4	0	17:35	0	0	0	0	0																				
18:00	0	3	0	0	0	17:45	0	14	0	0	14	17:55	0	3	0	3	0	17:55	0	4	0	4	0	17:40	4	13	0	0	13																				
18:05	0	3	0	0	0	17:45	0	14	0	0	14	18:00	0	3	0	3	0	18:00	0	4	0	4	0	17:47	0	13	13	0	0																				
18:10	0	3	0	0	0	17:50	0	14	0	0	14	18:05	0	3	0	3	0	18:05	0	4	0	4	0	17:50	0	13	13	0	0																				
18:15	0	3	0	0	0	17:55	0	14	0	0	14	18:10	0	3	0	3	0	18:10	0	4	0	4	0	17:55	0	13	13	0	0																				
18:20	0	3	0	0	0	18:00	0	14	0	0	14	18:15	0	3	0	3	0	18:15	0	4	0	4	0	18:00	0	13	13	0	0																				
18:25	0	3	0	0	0	18:05	0	14	0	0	14	18:20	0	3	0	3	0	18:20	0	4	0	4	0	18:05	0	13	13	0	0																				
18:30	3	5	0	3	3	18:10	0	14	0	0	14	18:25	1	4	0	3	1	18:25	2	6	0	4	2	18:10	0	13	13	0	0																				
18:35	1	7	0	3	4	18:15	0	14	0	0	14	18:30	2	6	0	3	3	18:30	3	9	0	4	4	5	18:15	0	13	13	0	0																			
18:40*	7	3	6	1	18:20	0	14	0	0	14	0	18:35	1	7	0	3	4	18:35	2	11	0	4	7	18:20	0	13	13	0	0																				
18:45	0	8	0	1	18:25	0	19	0	0	19	0	18:40	0	7	0	5	2	18:40	0	11	2	4	18:25	1	14	14	0	0																					
18:45*	1	8	0	6	2	18:30	1	20	0	14	6	18:40	0	7	0	5	2	18:45	2	13	0	7	6	18:30	2	16	13	0	3																				
18:50	8	2	8	0	18:35	1	21	0	14	7	18:45	1	8	0	5	3	18:50	13	5	12	1	18:35	2	18	13	0	5																						
18:55	0	8	0	0	18:40	1	22	0	14	8	18:45	8	1	6	2	18:55	0	13	5	12	1	18:40	2	20	0	13	7																						
18:55	0	8	0	0	18:43	0	20	0	14	8	18:50	0	13	0	0	18:55	0	13	5	12	1	18:45	2	20	0	13	7																						
19:00	2	10	0	8	2	18:45	1	23	0	20	3	18:55	1	9	0	6	3	19:00	3	13	1	13	0	18:45	0	20	0	18	2																				
19:04*	10	2	10	0	18:50	1	24	0	20	4	19:00	0	9	0	6	3	Ponto 12						18:50	1	21	0	18	3																					
T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	T (min)	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila																				
17:30	0	0	0	0	0	17:30	0	0	0	0	0	Ponto 11						17:30	0	0	0	0	0	19:00	1	21	0	18	3																				
17:32	0	0	0	0	0	17:32	0	0	0	0	0	Ponto 11						17:35	0	0	0	0	0	19:05	1	23	0	21	2																				
17:35	0	0	0	0	0	17:35	0	0	0	0	0	T (min) <th>Ch</th> <th>ChAc</th> <th>At</th> <th>AtAc</th> <th>Fila</th> <td>17:40</td> <td>4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>19:07</td> <td>23</td> <td>2</td> <td>23</td> <td>0</td>	Ch	ChAc	At	AtAc	Fila	17:40	4	0	0	0	4	19:07	23	2	23	0																					
17:40	0	0	0	0	0	17:40	0	0	0	0	0	17:35	0	0	0	0	0	17:45	5	0	0	0	0	Ponto 15																									
17:45	1	1	0	0	1	17:45	6	6	0	0	6	17:40	5	6	0	0	6	17:50	1	10	0	0	10	19:10	0	0	0	0	0																				
17:50	3	4	4	0	4	17:45	8	14	0	0	14	17:45	8	14	0	0	14	17:55	10	10	0	0	10	19:15	0	0	0	0	0																				
17:57*	4	4	4	0	4	17:50	0	0	0	0	0	17:52	14	14	14	0	14	18:00	9	10	0	0	10	17:35	0	0	0	0	0																				
18:00	0	0	0	0	0	17:55	0	14	0	0	14	18:05	0	14	0	14	0	18:05	0	10	0	0	10	17:40	0	0	0	0	0																				
18:05	0	4	0	4	0	17:40	0	14	0	0	14	18:10	0	14	0	14	0	18:10	0	10	0	0	10	17:45	0	0	0	0	0																				
18:10	0	4	0	4	0	17:45	1	1	0	0	1	18:05	0	14	0	14	0	18:15	0	10	0	0	10	17:50	3	3	0	0	3																				
18:15	0	4	0	4	0	17:50	3	4	0	0	4	18:10	0	14	0	14	0	18:20	0	10	0	0	10	17:55	4	7	0	0	7																				
18:20	0	4	0	4	0	17:55	4	8	0	0	8	18:15	0	14	0	14	0	18:25	0	10	0	0	10	0	18:00	7	7	0	0																				
18:25	0	4	0	4	0	17:59	8	8	8	0	8	18:20	0	14	0	14	0	18:30	0	10	0	0	10	0	18:05	7	7	0	0																				
18:30	0	4	0	4	0	18:00	0	8	0	0																																							