

Aplicação da Teoria das Filas para melhorar o processo de atendimento aos usuários na travessia de balsas Santos-Guarujá(SP)

Lucas Gonçalves Martins de Almeida (UTFPR) lucas.gma1@hotmail.com
Matheus Henrique Calegari Evangelista (UTFPR) matheusevangelista33@hotmail.com
Shih Yung Chin (UTFPR) chin@utfpr.edu.br

Resumo:

Este artigo visa o estudo da Teoria das Filas na travessia sentido Guarujá-Santos, considerada a travessia que possui maior fluxo de veículos do mundo nessa categoria, atendendo aproximadamente 23 mil veículos por dia, e traz possíveis melhorias que podem ser aplicadas. O problema encontrado ao realizar a pesquisa foi as longas filas, e os elevados tempos de espera. Fez-se então três possíveis cenários como opções de melhorias com a modernização das balsas como solução. Essa modernização foi baseada no investimento do Governo do Estado de São Paulo, na qual envolve o aumento da capacidade de atendimento, acarretando na diminuição da fila média e do tempo de espera. Ao final do estudo, obteve-se uma melhoria no atendimento aos usuários de 31,57% para o cenário 1, 63,85% para o cenário 2 e 71,45% no terceiro cenário realizado.

Palavras chave: Teoria das filas, Pesquisa Operacional, Travessia Santos-Guarujá

Application of Queue Theory to improve the process of attending users to ferry crossing Santos-Guarujá (SP)

Abstract

This article aims to study the Queue Theory in the Guarujá-Santos crossing, considered the crossing that has the largest flow of vehicles in the world in this category, serving approximately 23 thousand vehicles per day, and brings possible improvements that can be applied. The problem encountered during the search was the long queues, and the high waiting times. There were then three possible scenarios as options for improvements with the modernization of the ferries as a solution. This modernization was based on the investment of the Government of the State of São Paulo, which involves the increase of service capacity, resulting in a decrease in the average queue and waiting time. At the end of the study, there was an improvement in user care of 31.57% for scenario 1, 63.85% for scenario 2 and 71.45% for the third scenario.

Key-words: Theory of Queues, Operational Research, Santos-Guarujá crossing

1. Introdução

Atualmente o transporte no Brasil entre cidades divididas pelo mar é bastante arcaico. No caso de inexistência de pontes, a única opção torna-se a implantação de transportes aquaviários, como a utilização de balsas para transporte de pessoas e veículos. No cenário nacional, o serviço é precário e demonstra alguns problemas, como por exemplo, o mais encontrado e notado pela população é a existência de filas e consequentemente de longas esperas, que gera engarrafamentos, imprevistos e dificuldade de locomoção.

Dessa forma, o estudo do comportamento de filas e suas respectivas esperas, por meio de modelagem matemática, tem o intuito de melhorar a busca por sistemas otimizados, para evitar a existência de motivos causadores de ineficiência, déficit de produtividade e lucratividade (PRADO, 2009). Algumas possibilidades vêm à tona como a organização das chegadas de clientes e/ou o aumento de servidores e atendimentos.

Na empresa analisada, a qual é responsável pela travessia Santos-Guarujá, o problema se mostra na formação de filas grandiosas nos horários de pico (entre 8:00 e 11:00 e entre 15:00 e 20:00) na qual causa queixas dos cidadãos usuários de veículos.

A grande dificuldade em teoria das filas é otimizar o sistema de transporte fluvial no aspecto operacional trabalhando-se com escassez de recursos. Dessa forma, devido à grandeza da estrutura do serviço, a abordagem da teoria das filas quanto à mudança de layout ou da alteração do número de balsas, por exemplo, não se mostra uma opção adequada. A abordagem utilizada neste artigo foi em relação ao número de balsas utilizadas, o investimento financeiro colocado na modernização das mesmas, e os resultados que este investimento pode trazer de melhoria no sistema de filas. Dessa forma a pesquisa busca abordar simplificadamente e com baixos custos diminuir o tamanho da fila, melhorando a taxa de atendimento e a taxa de chegada ao atracador para o embarque nas balsas.

Este artigo tem por objetivo, a partir do tempo de espera dos clientes e a capacidade de atendimento das balsas, chegar a uma melhoria efetiva através de estudos de diferentes cenários, e assim, obter uma alternativa viável e otimizada para diminuir as filas e consequentemente a espera.

2. Referência Bibliográfica

Sabe-se que as pessoas enfrentam as mais variadas formas de filas ao longo de todo o dia, em todos os dias. São inúmeros exemplos que podem ser citados, como: filas de banco, de supermercado, de atendimento em um balcão na compra de um produto, do elevador, na parada em semáforos, nos restaurantes, nos transportes coletivos, no cinema, entre outros tantos exemplos. Em geral, o tempo na qual a pessoa necessita esperar para ser atendida, é um tempo de improdutividade (SANTOS, 2003).

A formação de filas ocorre sempre quando a demanda (ou procura, ou ainda, taxa de chegada) por um determinado serviço for maior do que a capacidade do sistema em atender tal demanda, ou seja, sua taxa de atendimento (LEE, 1966). Via de regra, entretanto, é economicamente inviável superdimensionar o sistema para que não existam filas. Sendo assim, a Teoria das Filas visa, através de cálculos matemáticos, trazer melhorias tanto para o sistema, quanto para os clientes, fazendo a correlação entre viabilidade econômica e taxa de atendimento, otimizando o sistema.

Segundo Taha (2008) existem três principais elementos do sistema, que são:

- a) Clientes – unidade que requer atendimento, como por exemplo: pessoas, peças numa linha de produção, máquinas, veículos, entre outros;
- b) Fila – os clientes que estão em espera para serem atendidos;
- c) Servidor – canal de atendimento no qual é realizado o atendimento do cliente.

Para uma melhor visualização, a Figura 1 representa o sistema de filas.

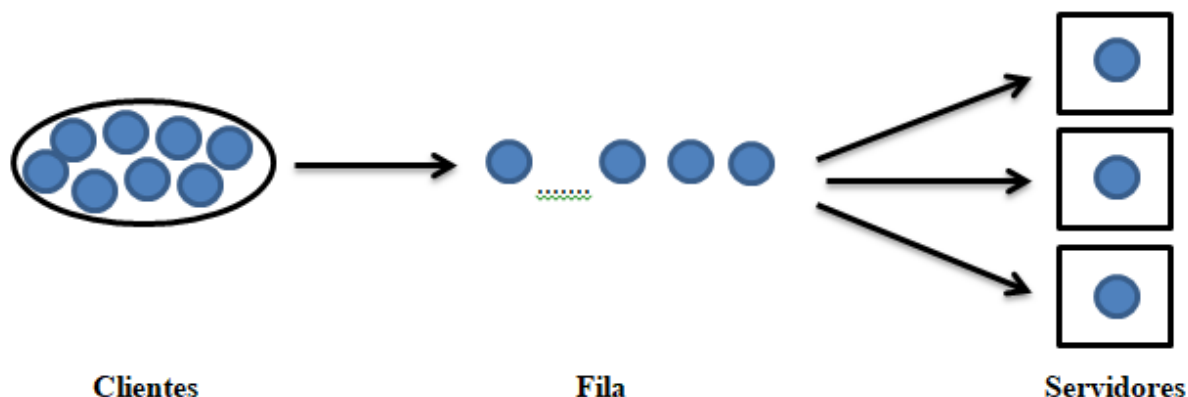


Figura 1 – Sistema de Filas
Fonte: Adaptado de Santos (2003)

Existem alguns tipos de atendimento dos clientes em fila, que podem ser chamados de “disciplina da fila”. Segundo Bose (2001), esses tipos de atendimento são:

- FIFO (First In, First Out) – onde os primeiros clientes são os primeiros a serem atendidos e consequentemente os primeiros a saírem;
- LIFO (Last In, First Out) – no qual os últimos clientes que chegaram, são os primeiros a serem atendidos e a saírem do sistema;
- Aleatório: Não existe relação entre a ordem de chegada com a ordem de atendimento;
- Com prioridade – existem algumas regras de prioridade pré-estabelecidas para o atendimento. Por exemplo, os sócios torcedores de um determinado time de futebol terem prioridade na compra dos ingressos antes dos mesmos serem disponibilizados para todas as pessoas.

Neste artigo, será estudado como disciplina da fila o sistema FIFO, uma vez que os primeiros veículos a chegarem na fila para entrar na balsa são os primeiros veículos a serem atendidos e a saírem, após completada a travessia. Será abordado também o conceito mais simples de fila, onde se tem apenas uma fila e um único servidor, pois tem-se apenas um local para os veículos adentrarem a balsa.

Nos estudos de Teoria das Filas, alguns medidores de desempenho são utilizados (TANNER, 1995). Neste artigo serão abordados os mais comuns da literatura, que são: fila média ($\bar{Lq}$), fila máxima ($Lq \text{ máx}$), espera média ($\bar{Wq}$) e espera máxima ($Wq \text{ máx}$).

Em 1961, John DC Little publicou um artigo onde demonstrava uma fórmula simples sobre modelos de linha de espera, a qual é amplamente utilizada até hoje, ficando conhecida como *Lei de Little* (POUND; BELL; SPEARMAN, 2015).

$$Wq = Lq \times 1/\mu \quad (1)$$

Onde:

Wq – Tempo de espera na fila

Lq – Tamanho da fila

μ – Taxa de atendimento

Para o cálculo da taxa de atendimento, verificou-se que ao longo de 1 hora, cada balsa realiza duas viagens por sentido. Sabendo que nos horários analisados as balsas só saem quando sua capacidade limite é atingida, pôde-se encontrar a quantidade de veículos atendidos por hora

por sentido, através do cálculo:

$$\mu = N \times C \times V \quad (2)$$

Onde:

μ – Taxa de atendimento

N – Número médio de balsas

C – Capacidade média de cada balsa

V – Número de viagens por sentido realizado por cada balsa em 1 hora

Através da *Lei de Little*, foi possível determinar o tamanho da fila nos horários observados, assim como o tamanho de fila médio, uma vez que se sabia os tempos de espera em cada hora (coletados através do site da empresa), o tempo de espera médio e também a taxa de atendimento que foi calculada anteriormente.

Com o valor da fila média, pôde-se calcular a taxa de chegada média, assim como a mesma para cada hora analisada, através do cálculo onde fila (Lq) é igual à diferença entre chegada acumulada ($ChAc$) e atendimento acumulado ($AtAc$), obtendo a equação seguinte:

$$Lq = ChAc - AtAc \quad (3)$$

Como para 1 hora de análise os valores de Lq e $AtAc$ são sabidos e $ChAc = t \times \lambda$, abriu-se a equação acima em:

$$1 \times \lambda = Lq + AtAc \quad (4)$$

Sendo λ a taxa de chegada de clientes.

3. Local de Estudo

A travessia da balsa Santos-Guarujá no litoral de São Paulo é considerada a travessia que possui maior fluxo de veículos do mundo nessa categoria, atendendo aproximadamente 23 mil veículos por dia. Por conta dessa enorme demanda, alguns problemas são enfrentados pelos usuários, como por exemplo, usualmente se deparam com uma longa espera em fila, uma vez que esse fluxo intenso se dá durante todo o ano, se agravando ainda mais em época de alta temporada das férias de verão e também finais de semana, onde aumenta consideravelmente a procura pelas praias de ambas as cidades.

O estudo realizado com embarque em Santos teve intuito de analisar o tempo de espera para embarque e a fila formada em um dia útil comum e em um dia de final de semana, a título de comparação entre os dias.

A empresa que é responsável pelas travessias do litoral de São Paulo é a empresa DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S/A, controlada pelo Governo do Estado de São Paulo. A eficiência do transporte se depara com suas limitações operacionais, fenômeno chamado gargalo logístico (GONÇALVES & NUNES, 2008). O empenho da DERSA S.A. em melhorar o serviço para seu usuário sempre esbarrará no obstáculo de trabalhar aquém de sua capacidade operacional (SANTOS, 2008).

O sistema de fila da balsa Santos-Guarujá é um sistema simples, de uma fila e apenas um servidor, conforme segue ilustrado na Figura 2.

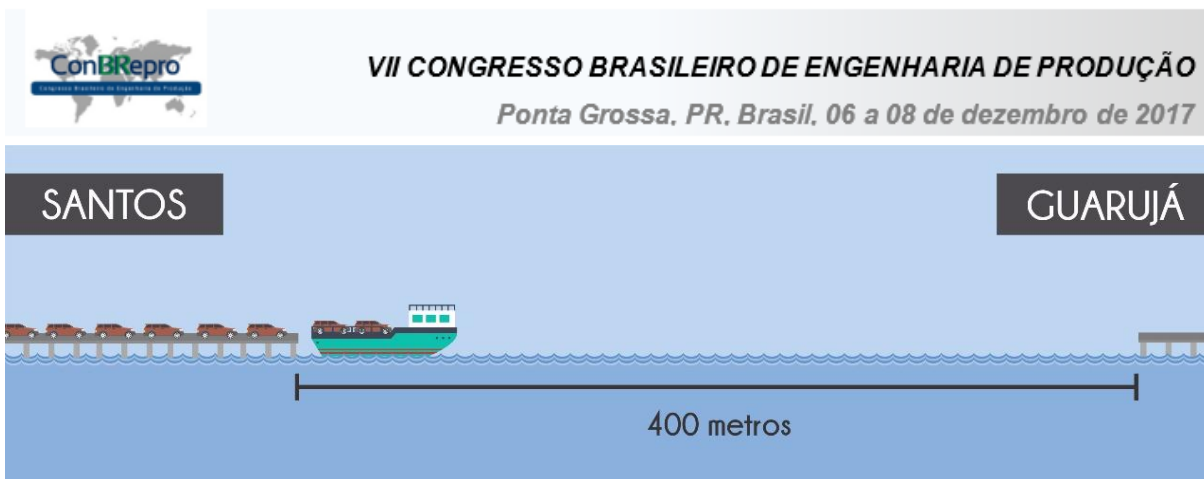


Figura 2 – Disciplina da Fila
Fonte: Autoria própria

Sendo a disciplina da fila do tipo FIFO, fez-se uma coleta de dados e através de cálculos matemáticos, pôde-se determinar os tempos de espera máximo e médio, assim como fila média e máxima.

Atualmente a empresa conta com 9 balsas ao todo, ao qual consegue manter 8 dessas funcionando ao mesmo tempo, e uma de reserva para caso alguma delas necessite de manutenção corretiva. As balsas possuem capacidade média de 56 veículos, compostos por carros e caminhões. Neste estudo, não se levará em conta o número de motos, uma vez que esse tipo de veículo não fornece problema com fila, devido a sua área reduzida. A análise feita consiste no aumento da capacidade das balsas, através de modernização, para 62 (FB-28), 70 (FB-30), 85 (FB-25) veículos, que são balsas existentes (presentes na travessia São Sebastião-Ilhabela) e em posse da empresa, a qual também é responsável pelas travessias de outras cidades do litoral paulista.

Na travessia Santos-Guarujá, as balsas levam cerca de 15 minutos para atravessar de uma cidade à outra, sendo essa distância em torno de 400 metros, como mostrado na Figura 2.

3.1 Coleta de Dados

Com o intuito de se obter dados reais e comprobatórios, coletou-se os dados do próprio site da companhia, onde é informado o tempo médio de espera de embarque por sentido a cada hora, tanto quanto a condição climática e o número de balsas em operação no determinado instante.

Os dados coletados foram referentes aos dias 31/08/2017, uma quinta-feira, portanto um dia útil comum, e 02/09/17, um sábado. Optou-se por esses dois dias para poder comparar as filas e os respectivos tempos de espera de um dia útil e um dia de final de semana. Foram escolhidos dois períodos de análise, das 8:00 às 11:00 e das 15:00 às 20:00, dando um total de 10 horas analisadas. Esses períodos foram escolhidos por se tratarem de horários de pico, onde há maior concentração de veículos para embarcar, portanto, maior fila.

Com a coleta de dados, verificou-se que nos determinados horários eram utilizados diferentes números de balsas, variando a maioria das vezes entre 4 e 8. Por conta dessa diferença, fez-se uma média aritmética para encontrar um número médio de balsas utilizadas.

As capacidades das 9 balsas não são iguais para todas, variando entre 50 e 62 veículos. Graças a essa variação decidiu-se calcular a média aritmética das capacidades das balsas, afim de que houvesse uma maior exatidão dos resultados, e eles estivessem mais próximos da realidade. Obteve-se o valor de capacidade média de 56 veículos por balsa.

Para melhor entendimento, a demonstração dos cálculos para obtenção dos valores das variáveis é demonstrado a seguir como exemplo:

Para encontrar o valor de μ (taxa de atendimento), através da fórmula (2),

$$\mu = N \times C \times V$$

como explicado anteriormente, sendo N o número médio de balsas; C a capacidade média das balsas e V o número de viagens que cada balsa faz em 1 hora; com N = 6,6; C = 56 e V = 2, obtendo um $\mu = 739,2$ (veíc/h).

Como já se sabiam os tempos de espera para cada hora (coletados do site da empresa), calculou-se o tempo de espera médio, e através da *Lei de Little*, conseguiu-se obter a fila média:

$$Wq = Lq \times 1/\mu$$

Sendo Wq o tempo de espera, Lq o tamanho da fila e μ a taxa de atendimento, com $Wq = 20,5\text{min}$ e $\mu = 12,32$ (veíc/min), obtendo um $Lq = 252,56$ veículos.

Para encontrar o valor de λ (taxa de chegada), como visto, o cálculo da fila se dá por:

$$Lq = ChAc - AtAc$$

e sabendo-se que:

$$ChAc = t \times \lambda$$

A equação na forma aberta, para cada hora, fica sendo $1 \times \lambda = Lq + AtAc$. Achou-se então λ , sendo $Lq = 252,56$ e $AtAc = 739,2$, obtendo uma taxa de chegada $\lambda = 991,76$ (veíc/h).

As tabelas 1 e 2 abaixo demonstram os resultados obtidos para os dois dias analisados, sendo os dados da tabela 2 calculados de forma análoga aos da tabela 1.

Dia útil (Quinta-feira) sentido Santos-Guarujá							
Horas	Quantidade de balsas	μ (veíc/h)	μ (veíc/min)	λ (veíc/h)	λ (veíc/min)	Espera (min)	Fila
8:00	7	784	13,07	968,80	16,15	15	184,80
9:00	6	672	11,20	856,80	14,28	15	184,80
10:00	5	560	9,33	744,80	12,41	15	184,80
11:00	6	672	11,20	856,80	14,28	15	184,80
15:00	6	672	11,20	856,80	14,28	15	184,80
16:00	7	784	13,07	968,80	16,15	15	184,80
17:00	7	784	13,07	1030,40	17,17	20	246,40
18:00	8	896	14,93	1265,60	21,09	30	369,60
19:00	7	784	13,07	1276,80	21,28	40	492,80
20:00	7	784	13,07	1092,00	18,20	25	308,00
MÉDIAS	6,6	739,2	12,32	991,76	16,53	20,5	252,56

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Análise de espera e fila em dia útil

Final de semana (Sábado) sentido Santos-Guarujá							
Horas	Quantidade de balsas	μ (veic/h)	μ (veic/min)	λ (veic/h)	λ (veic/min)	Espera (min)	Fila
8:00	4	448	7,47	604,80	10,08	15	156,80
9:00	4	448	7,47	604,80	10,08	15	156,80
10:00	4	448	7,47	657,07	10,95	20	209,07
11:00	5	560	9,33	821,33	13,69	25	261,33
15:00	6	672	11,20	1403,73	23,40	70	731,73
16:00	7	784	13,07	1515,73	25,26	70	731,73
17:00	7	784	13,07	1202,13	20,04	40	418,13
18:00	7	784	13,07	940,80	15,68	15	156,80
19:00	6	672	11,20	828,80	13,81	15	156,80
20:00	6	672	11,20	828,80	13,81	15	156,80
MÉDIAS	5,6	627,2	10,45	940,80	15,68	30	313,60

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Análise de espera e fila em final de semana

Através desse cenário atual pôde-se perceber o constante e grave problema de filas e tempo de espera que os clientes têm de enfrentar para poderem atravessar a balsa de Santos para Guarujá. A Tabela 3 mostra o comparativo entre os quatro medidores de desempenho dos dois dias.

	Dia útil	Final de semana
Lq	252,56	313,6
Lq máx	492,8	731,73
Wq (min)	20,5	30
Wq máx (min)	40	70

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Comparação entre os quatro medidores de desempenho

Observando a Tabela 3, nota-se que em um final de semana, principalmente em horário de pico, o problema de grandes filas e tempo de espera se mostra ainda mais crítico.

4. Sugestões de melhoria

Conforme o objetivo do artigo, este tópico visa à apresentação de cenários, e com seguinte análise, sugestão de melhoria para a otimização do atendimento aos usuários.

4.1 Análise de cenários

Através de pesquisa, encontrou-se dados de investimento do Governo do Estado de São Paulo para a modernização das balsas do litoral paulista. Existe um Programa de Modernização das Travessias Litorâneas que visa aumentar a capacidade operacional do sistema. Iniciado em 2011, até 2016 o Governo do Estado investiu R\$ 308,7 milhões, maior investimento já realizado na história do sistema. Este investimento tem como finalidade a substituição de antigos ferryboats por embarcações modernas e maiores, revitalização das embarcações existentes, assim como reforma e ampliação de atracadouros (DERSA, 2016).

Em março de 2017 o site oficial do Governo do Estado de São Paulo anunciou um

investimento de R\$ 20,7 milhões para modernização das balsas das travessias litorâneas. Na mesma reportagem, foram mostrados os investimentos referentes a cada balsa, totalizando uma média de R\$ 2,7 milhões. Com esse total de investimento, supondo que todo ele fosse destinado à travessia Santos-Guarujá, seria possível a reforma de 7 balsas.

Sabendo disso e supondo que todo investimento fosse direcionado à travessia em estudo, criou-se então possíveis cenários, a fim de propor melhoria em relação ao cenário atual, baseando-se no investimento público máximo anterior e assim chegarmos a configurações possíveis que possibilitariam melhoras significativas no atendimento aos usuários e consequentemente diminuição e otimização do sistema de filas. Os cenários foram esses, baseado no investimento total de R\$ 20,7 milhões:

- a) Cenário 1: Modernização de 7 balsas para todas elas terem capacidade de 62 veículos, uma vez que para modernizar cada balsa FB-28, gasta-se R\$ 2,6 milhões. A oitava balsa permanecendo com capacidade média de 56 veículos já que não se pode prever qual modelo de balsa e sua respectiva capacidade não será reformada;
- b) Cenário 2: Modernização de 7 balsas para terem capacidade de 70 veículos, uma vez que para modernizar cada balsa FB-30, gasta-se R\$ 2,9 milhões. Este é outro caso em que oitava balsa permanecendo com capacidade média de 56 veículos, devido à impossibilidade de se prever qual modelo de balsa e sua respectiva capacidade não será reformada;
- c) Cenário 3: Modernização de 4 balsas para terem capacidade de 85 veículos, e as outras quatro balsas permanecendo com capacidade média de 56 veículos pelo mesmo motivo dos cenários explicados acima. Para este cenário foi escolhido apenas 4 balsas pois a reforma da FB-25 tem um valor mais elevado de reforma, custando R\$ 5,1 milhões.

As tabelas 4 e 5 demonstram os cenários para um dia útil e para um dia de final de semana, respectivamente.

Para melhor entendimento, demonstrou-se os cálculos efetuados para o primeiro cenário. Para o número de balsas pegou-se o valor da média aritmética encontrado entre as balsas utilizadas no dia. Para determinar o valor do atendimento médio (μ), utilizou-se a fórmula (2). Depois de achado o valor da taxa de atendimento, encontrou-se o valor de fila média (Lq) através da fórmula (3). O tempo de espera médio (Wq) foi obtido então utilizando a fórmula (1).

	Número de balsas	Atendimento médio/h	Fila média	Tempo de espera médio
Cenário atual	6,6	739,2	252,56	20,5
1º Cenário				
Modernização de balsas capacidade 62 veículos	6,6	818,4	183,26	13,37
2º Cenário				
Modernização de balsas capacidade 70 veículos	6,6	900,9	90,86	5,84
3º cenário				
Modernização de balsas capacidade 85 veículos	6,6	930,6	64,8	3,96

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Cenários para dia útil

	Número de balsas	Atendimento médio	Fila média	Tempo de espera médio
Cenário atual	5,6	672,2	313,6	30
1º Cenário				
Modernização de balsas capacidade 62 veículos	5,6	686	254,80	21,49
2º Cenário				
Modernização de balsas capacidade 70 veículos	5,6	764,4	176,4	13,14
3º cenário				
Modernização de balsas capacidade 85 veículos	5,6	789,6	159,26	11,33

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Cenários para dia de Final de Semana

Apenas pela observação dos dados já consegue-se perceber uma grande diferença em relação ao cenário atual. Com a modernização das balsas houve uma porcentagem média de diminuição do tempo de espera de 31,57% para o cenário 1, 63,85% para o cenário 2 e 71,45% no terceiro cenário, considerando os dois dias. A otimização já era esperada, mas não nessa proporção extremamente significativa. Os cenários demonstraram de forma dinâmica como é o comportamento das filas em diferentes níveis de atendimento e isso se evidencia de forma clara após os cálculos realizados da diminuição de filas e também do tempo de espera. De fato, não houveram cenários onde o atendimento supria toda a chegada e a demanda pelo serviço. Assim, com os mesmos investimentos, chegou-se a diferentes alternativas com resultados expressivos, o que nos mostra que analisando o cenário e buscando alternativas, pode-se gerar melhora satisfatória. Para ficar mais claro e de forma mais didática, fez-se dois gráficos com a comparação entre filas médias e tempos de espera médio, para os cenários dos dias estudados.

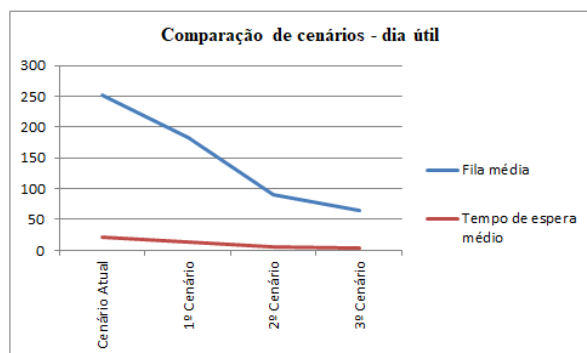


Gráfico 1 – Comparação de cenários – dia útil

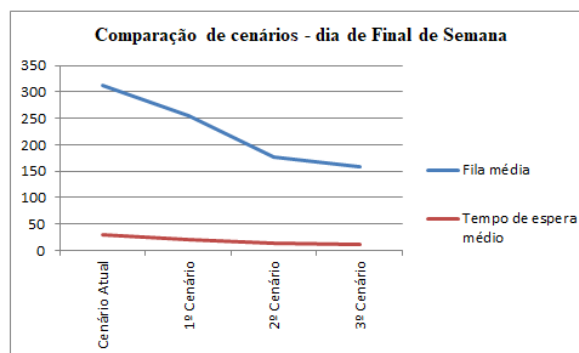


Gráfico 2 – Comparação de cenários – dia de Final de Semana

Fonte: Autoria própria

Fonte: Autoria própria

Pode-se verificar com essas análises que se consegue obter uma melhora significativa na fila média e também no tempo de espera. O cenário mais plausível seria o primeiro cenário, uma vez que já se tem uma balsa do tipo FB-28 em funcionamento na travessia Santos-Guarujá, e o investimento se mostra menor que as outras embarcações. O melhor cenário é o terceiro cenário, onde metade das balsas tendo maior capacidade de veículos, conseguiriam atender mais clientes em uma hora, consequentemente diminuindo a fila e o tempo de espera.

5. Conclusão

O principal foco do artigo, a melhoria do sistema de balsas no sentido Santos ao Guarujá, utilizando-se da Teoria das Filas, a sua aplicabilidade, suas opções e alternativas, mostrou-se viável, apesar de complexo. Os recursos utilizados para produção deste artigo, como aplicações de fórmulas para fila média, da espera média e Lei de Little se mostraram eficientes e pontuais.

Apesar da existência de melhorias concretas, o problema de fila não é totalmente sanado. Devido às alterações das demandas e suas imprevisibilidades, eventualmente filas existirão, porém, mais controladas e efetivamente menores, isso é algo comum e realmente ocorre em cenários de filas em geral.

Dito isso, este artigo procurou de forma simples e concreta, alterar os sistemas de transporte pluvial intermunicipal do litoral paulista e estudar os principais problemas e alternativas para resolvê-los. Entre as alternativas, a modernização de menos balsas porém de maior capacidade, apesar da diferença da capacidade ser pequena, mostrou-se o melhor cenário. Isso foi motivado não só pelo aumento da taxa de atendimento, mas também ao elevado tempo de funcionamento das balsas, que geraria um atendimento acumulativo maior.

Futuros autores de artigos poderão utilizar-se deste para basear-se na Teoria das Filas em seus trabalhos, para que junto às conclusões e sugestões deste, se possa encontrar ainda outras melhorias, promovendo um serviço melhor e proporcionar viabilidade tanto para a empresa quanto para os clientes.

6. Referências

BOSE, S. *An introduction to queuing systems*. Boston: Kluwer Academic, 2001.

LEE, A. *Applied queuing theory*. Nova York: St. Martin's Press, 1966.

TANNER, M. *Practical queuing analysis*. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

TAHA, H. *Pesquisa Operacional*. Ed. 8. São Paulo: Pearson Prattice Hall, 2008.

PRADO, D. S. DO. Teoria das filas e da simulação. 4. ed. Nova Lima, MG: INDG - Tecnologia e serviços, 2009.

GONÇALVES, A.; NUNES, L. A. P. O grande porto: a modernização no porto de Santos. Santos: Realejo, 2008. 326p.

DOS SANTOS, Maurício. Apostila de Pesquisa Operacional da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). R. J., Brasil, 2003.

SANTOS, H. F. H. R. Viabilidade Logística da Ligação Santos-Guarujá. 2008. Trabalho de Consultoria. Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. 256p

POUND, E.S.; BELL, J. H.; SPEARMAN, M. L. A ciência da fábrica para gestores: como líderes melhoram o desempenho em um mundo pós-Lean Seis Sigma. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Jornal A Tribuna – **travessia em limite de capacidade operacional**. Disponível em:

<<http://www.atribuna.com.br/noticias/noticias-detalle/cidades/travessia-de-balsas-esta-no-limite-da-capacidade/?cHash=a594911ba4b22f44f011b8705aad9ee0>>. Acesso em 2 de setembro de 2017.

Governo do Estado de São Paulo – **capacidade fb-25**. Disponível em:

<<http://www.ilhabela.sp.gov.br/blog/dersa-entrega-oficialmente-fb-25-para-compor-o-plano-verao-na-travessia-sao-sebastiao-ilhabela/>>. Acesso em 29 de agosto de 2017.

Governo do Estado de São Paulo – **investimento em balsas**. Disponível em:

<<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/dersa-investe-r-207-milhoes-na-reforma-de-balsas/>>. Acesso em 29 de agosto de 2017.

CETESB – **Parecer técnico sobre túnel submerso**. Disponível em:

<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/consema/2014/03/Parecer_Tecnico_CETESB_132-14-IE.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2017.

Dersa – **Relatório anual**. Disponível em:

<https://dersastorage.blob.core.windows.net/relatorios/Relatorio_Anual_DERSA_2016-Leitura_Online.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2017.

Dersa – **Travessias Santos-Guarujá**. Disponível em: <<http://www.dersa.sp.gov.br/travessias/travessias-automoveis/santos-guaruja/>>. Acesso em 02 de setembro de 2017.