

TEORIA DAS FILAS APLICADA A UM SUPERMERCADO

Yalle de Oliveira Ladeira¹
Fabrizzio Condé de Oliveira²

Resumo

A crescente competitividade entre as empresas faz com que estas busquem alternativas que melhorem seu desempenho em relação ao concorrente. Um fator cuja importância é indiscutível é a vantagem competitiva e a satisfação do cliente, que é muito influenciada, entre outros motivos, pelo tempo de permanência do cliente na fila. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é a aplicação da Teoria das Filas para reduzir o tempo de permanência dos clientes nas filas dos caixas do supermercado, com o intuito de garantir, uma significativa melhora na qualidade do atendimento. Para isso, foi realizada uma pesquisa quantitativa baseada em uma coleta de dados, por meio de uma planilha eletrônica, na qual foram recolhidas informações sobre o instante de chegada do cliente, o início do serviço e o fim do serviço em um supermercado. A partir dos dados obtidos, foi possível aplicar a teoria das filas, usando dois modelos de filas, M/M/1 fila finita e M/M/s ($s > 1$) fila finita para calcular as medidas de desempenho tais como, tempo médio de espera na fila, tamanho médio da fila, taxa de utilização do sistema. As filas são finitas pois, devido ao espaço físico do supermercado, o número de clientes que podem entrar na fila é limitado. Os resultados obtidos mostram que se o atual sistema de filas adotado pelo supermercado, cada caixa com sua respectiva fila de atendimento (s modelos M/M/1), for substituído por um formato de fila única com s caixas em operação (um modelo M/M/s), traz uma redução de aproximadamente 50% no tempo médio de espera na fila, já que este modelo distribui de forma mais equilibrada os clientes para os postos de atendimento. Conclui-se, com a aplicação deste trabalho, que a teoria das filas é aplicável a diversas situações cotidianas para obter um menor tempo de espera e assim, garantir a satisfação dos clientes.

Palavra-chave: Teoria das filas, modelo M/M/1, modelo M/M/s.

¹LADEIRA, Yalle de Oliveira. Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Salgado de Oliveira.

²OLIVEIRA, Fabrizzio Condé de. Doutor em Modelagem Computacional pela Universidade Federal de Juiz de Fora e Professor Efetivo do INFES/UFF Campus Santo Antônio de Pádua.

1 Introdução

A crescente competitividade entre as empresas faz com que estas busquem alternativas que melhorem seu desempenho em relação ao concorrente. Um fator cuja sua importância é indiscutível quando se fala em vantagem competitiva é a satisfação do cliente, que é muito influenciada, entre outros motivos, pelo tempo de permanência do cliente na fila. Para Hillier & Lieberman (2010) apesar das pessoas terem se acostumado com a espera, elas ainda se sentem irritadas quando têm que esperar por muito tempo na fila.

Como afirmam Davis, Aquilano & Chase (2001) é preciso gerenciar o tempo de espera dos clientes na fila a fim de evitar que estes sejam afetados negativamente e procurem outra empresa da próxima vez. Com intuito de garantir a satisfação dos clientes e de fidelizá-los, a Teoria das Filas pode ser aplicada para diminuir o tempo de permanência dos clientes na fila do supermercado.

O objetivo deste trabalho é aumentar a qualidade no atendimento do supermercado, melhorando o dimensionamento do sistema (fila mais atendimento) por meio da aplicação de modelos de Teoria das Filas. Além disso, reduzir o tempo de permanência dos clientes nas filas dos caixas do supermercado, garante, desta forma, uma melhora na qualidade do atendimento.

2 Metodologia

O presente artigo foi dividido em duas partes. Primeiramente, foi desenvolvido o referencial teórico, onde são abordados os assuntos sobre o tema proposto. Posteriormente, foi realizada uma pesquisa quantitativa baseada em uma coleta de dados, por meio de uma planilha eletrônica, na qual foram recolhidas informações sobre o instante de chegada do cliente à fila, o instante do início do atendimento do cliente e o instante do fim do serviço.

Com os dados obtidos, foi possível aplicar dois modelos de Teoria das Filas, M/M/1 fila finita e M/M/s ($s > 1$) fila finita e, a partir dos resultados, analisar qual modelo melhor se adequa ao supermercado em estudo.

3 Desenvolvimento

Neste item será apresentado o conceito de Teoria das Filas, assim como a importância do seu estudo e aplicação. Também serão abordados conceitos relevantes para fundamentar o estudo de caso em questão.

3.1 Teoria das Filas

A Teoria das Filas teve seu estudo iniciado pelo matemático A. K. Erlang, quando estudava o problema de redimensionamento de centrais telefônicas, em Copenhague, Dinamarca. Ocorreu no início do século XX (1908) mas só a partir da segunda guerra mundial a teoria teve aplicações a outros problemas (PRADO, 2006).

Segundo Andrade (2004) a Teoria das Filas resolve problemas de congestionamento de sistemas, caracterizados pela presença de clientes solicitando serviços que são limitados por restrições próprias do sistema. Ou seja, as filas surgem sempre que os clientes chegam para o atendimento e não podem ser imediatamente atendidos, pois o número de atendentes é inferior ao número de clientes que estão solicitando o serviço.

Na concepção de Hillier & Lieberman (2010) a Teoria das Filas é o estudo de diversas formas de espera, seja de máquinas esperando para serem reparadas, seja de produtos à espera de serem processados ou pessoas na fila aguardando para pagarem suas compras em um caixa de supermercado.

Prado (2006), diz que as filas são desagradáveis e, esperar por um período longo faz com os clientes tenham experiências negativas e que estes tomem atitudes como não comprar mais em um determinado supermercado. Diz ainda, que as filas são dispendiosas, elas têm o lado desfavorável do custo e que do ponto de vista do cliente, o melhor seria dimensionar os sistemas para a não ocorrência de filas, porém, temos que conviver com elas devido a inviabilidade econômica de superdimensionar um sistema para que elas nunca existam.

A Figura 3 mostra a relação entre o nível de serviço e o custo do mesmo.

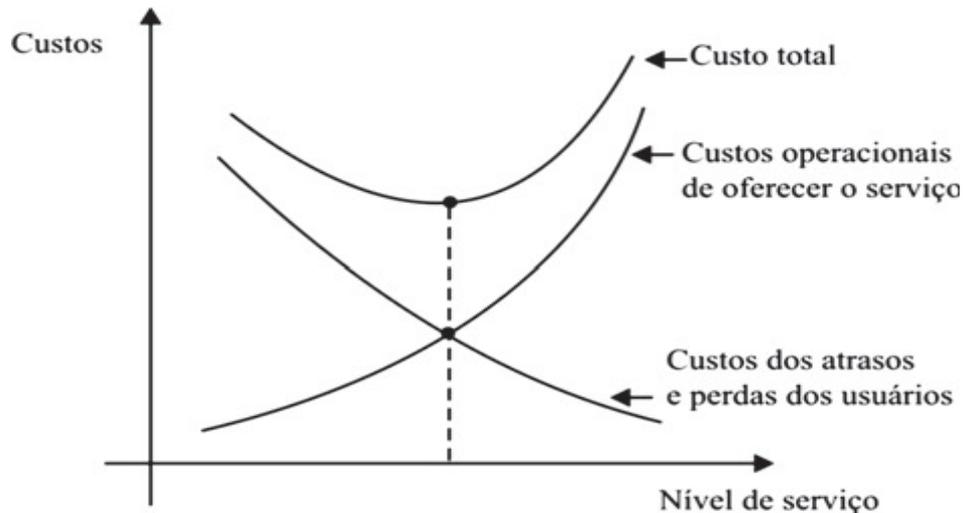


Figura 3: Custo total em função do nível de serviço
Fonte: Arenales et al (2007)

O objetivo é encontrar o ponto ótimo entre o custo de oferecer um serviço mais ágil, com atendimento satisfatório e, o custo de espera do cliente (PRADO, 2006).

De acordo com Arenales *et al* (2007, p. 434) pode-se concluir ao analisar o gráfico da Figura 3 que “enquanto os custos operacionais de oferecer o serviço aumentam com o aumento do nível de serviço, os custos devido aos atrasos sofridos pelos usuários diminuem”. Ainda segundo Arenales *et al* (2007), este modelo de encontrar o ponto ótimo entre o nível de serviço e o custo possui uma grande dificuldade que é encontrar o custo da espera do usuário. Como visto anteriormente, é inviável superdimensionar um sistema para a não existência de filas, portanto, objetivo da Teoria das Filas trata-se de encontrar o melhor dimensionamento do sistema, o número ideal de atendentes para que os clientes esperem por um período mínimo na fila, e ao mesmo tempo um custo mínimo de oferecer o serviço ágil.

3.2 Características Básicas do Modelo de Fila

A população é formada pelos clientes que estão fora do sistema de filas mas que podem entrar a qualquer momento. A população pode ser finita (quando o número de potenciais clientes é pequeno, sendo que o número de clientes no sistema influencia na população de potenciais clientes), ou infinita (quando o número de clientes é muito grande e, logo, o número de clientes na fila não interfere no tamanho da população). A Figura 4 representa os elementos básicos de um sistema de fila.

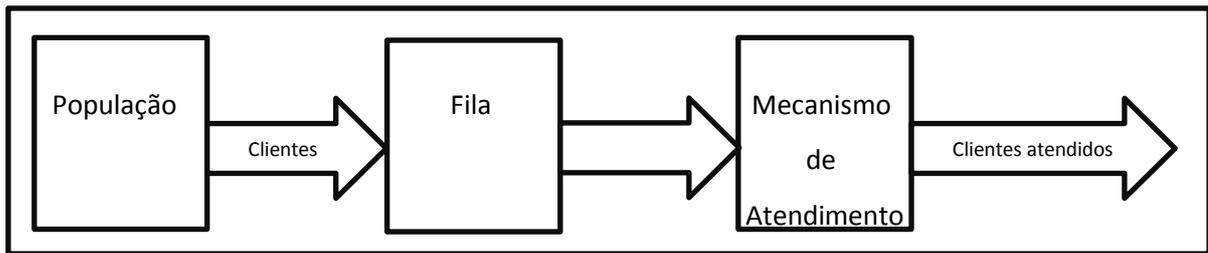


Figura 4: Elementos básicos da fila

Fonte: A autora (2017)

O processo de chegada é a forma como os clientes chegam ao sistema. O processo de chegada de Poisson é usado quando os clientes chegam aleatoriamente ao sistema, porém a uma taxa média fixa (HILLIER & LIEBERMAN, 2010). As chegadas também podem ocorrer de forma regular, não havendo nenhuma variação nos intervalos entre chegadas (PRADO, 2006).

Segundo Andrade (2004) a disciplina da fila é a regra na qual os clientes são submetidos, que determina a ordem em que estes serão atendimento. Geralmente o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido, mas pode ocorrer disciplina por ordem de prioridade, ou ainda, o último a chegar é o primeiro a ser atendido.

A capacidade da fila pode ser limitada (fila finita) ou ilimitada (fila infinita) dependendo do número máximo de clientes que o sistema suporta em um determinado período de tempo (ARENALES, 2007). O tamanho da fila é limitado por alguns fatores, tais como, o espaço físico para acomodá-la, os próprios clientes, que a partir de um certo número de pessoas aguardando o atendimento se recusam a entrar no sistema.

Mecanismo de atendimento é onde o cliente é atendido. Pode estar disponível para o atendimento um ou mais servidores, dispostos de forma paralela e independentes ou dependentes (no caso da fila única). O tempo entre o início do atendimento do cliente e o fim é chamado de tempo de atendimento. Na maioria dos modelos de Teoria das Filas a função densidade de probabilidade usada para o tempo de atendimento é a exponencial, visto que o tempo de atendimento não é constante (HILLIER & LIEBERMAN, 2010).

3.3 Medidas de Desempenho

Taha (2008) afirma que o objetivo da análise de filas é oferecer um serviço aceitável à clientes que aguardam atendimento. Segundo ele, através das medidas de desempenho como o comprimento médio de uma fila, tempo médio de espera em uma fila, e a média de utilização da instalação, é realizada a quantificação da espera na fila.

Para Hillier & Lieberman (2010), as medidas de desempenho são:

s – número de servidores no sistema de filas (canais de atendimento).

λ – taxa média de chegada | $1/\lambda$ – tempo médio entre chegadas.

λ_{ef} – Taxa média de clientes que realmente entram no sistema.

μ - taxa média de atendimento por servidor | $1/\mu$ - tempo médio de atendimento.

ρ – taxa de utilização (fração de tempo em que cada atendente se encontra ocupado).

W_q – tempo médio gasto por um cliente na fila.

W_s – tempo médio gasto por um cliente no atendimento.

W – tempo total gasto pelo cliente no sistema (fila + atendimento).

L_q – número médio de clientes na fila.

L – número médio de clientes no sistema (fila + atendimento).

K – número máximo de clientes que podem estar no sistema.

P_n – probabilidade de n clientes se encontrarem no sistema de filas.

3.4 Modelos de Filas

Dois modelos de filas serão abordados neste trabalho, ambos seguem uma distribuição de Poisson para as taxas de chegada, distribuição Exponencial para o tempo de atendimento e irão considerar a população potencial de clientes como sendo infinita. A capacidade da fila é limitada, visto que o espaço físico para acomodá-la é restrito, logo, os modelos estudados serão os de fila finita, onde a variável K assume um valor correspondente ao número máximo de clientes que podem estar no sistema (fila + atendimento). Serão usados os modelos $M/M/1$ (com m sistemas paralelos trabalhando de forma independentes) e o modelo $M/M/s$ fila única onde s representa o número de atendentes.

3.4.1 O modelo $M/M/s$ ($s > 1$)

O modelo $M/M/s$, onde s representa o número de servidores, é um sistema que possui uma única fila para vários servidores trabalhando em paralelo (Prado, 2006).

Para este modelo, considera-se que a taxa média de atendimento (μ) é a mesma para todos os servidores. A taxa média de chegada é representada por λ .

A Figura 5 a seguir representa o modelo $M/M/s$.

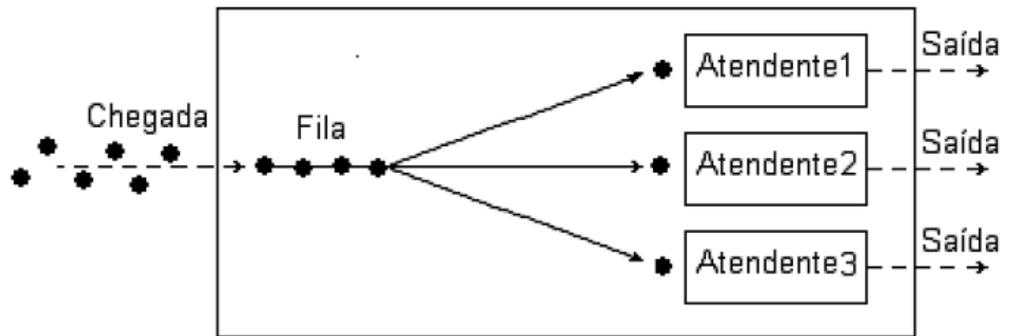


Figura 5: Representação do sistema de fila para o modelo M/M/s
Fonte: EBAH (2017)

De acordo com Hillier & Lieberman (2010), as medidas de desempenho, para o modelo, M/M/s fila finita, podem ser calculadas a partir das seis equações a seguir.

$$L = \sum_{n=0}^{s-1} nP_n + Lq + s \left(1 - \sum_{n=0}^{s-1} P_n \right)$$

Fórmula 1: Tamanho médio do sistema
Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$Lq = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2} [1 - \rho^{k-s} - (k-s)\rho^{k-s}(1 - \rho)]$$

Fórmula 2: Tamanho médio da Fila
Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^s \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^s}{s!} \sum_{n=s+1}^k \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^{n-s}}$$

Fórmula 3: Probabilidade de ter zero clientes no sistema
Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{n!} P_0 \quad \text{para } n = 1, 2, 3, \dots, s$$

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{s! s^{n-s}} P_0 \quad \text{para } n = s, s + 1, s + 2, \dots, K$$

$$P_n = 0 \quad \text{para } n > K$$

Fórmula 4: Probabilidade de ter n clientes no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$W = \frac{L}{\lambda_{ef}}$$

Fórmula 5: Tempo médio que o cliente permanece no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda_{ef}}$$

Fórmula 6: Tempo médio que o cliente permanece na fila

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

3.4.2 O modelo com m sistemas M/M/1

Este modelo é representado por um número m de canais de atendimento com suas respectivas filas. A Figura 6 representa esse modelo.

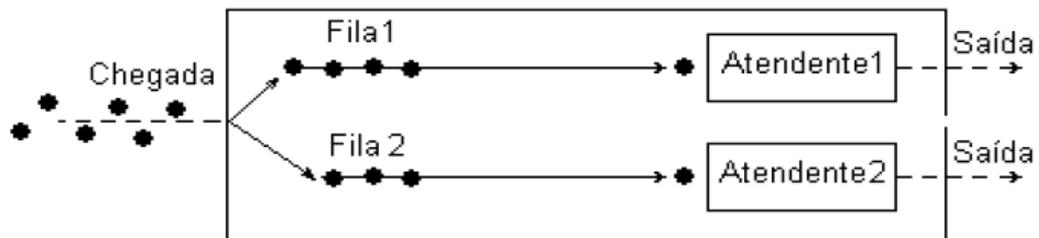


Figura 6: Múltiplas filas, atendentes múltiplos em paralelo.

Fonte: EBAH (2017)

Este modelo de filas pode gerar um sentimento de injustiça quando um cliente compara o desempenho de sua fila com outra e percebe que o cliente que chegou depois já foi atendido. Mas como diz a lei de Murphy “a fila que anda é a outra, mas não adianta trocar de fila pois a fila que anda é a outra” (Prado, 2006).

As equações para calcular as medidas de desempenho do modelo M/M/1 fila finita, de acordo com Hillier & Lieberman (2010), estão apresentadas a seguir.

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{(K + 1) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{K+1}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{K+1}} \quad \text{se } \lambda \neq \mu$$

$$L = \left(\frac{K}{2}\right) \quad \text{se } \lambda = \mu$$

Fórmula 7: Tamanho médio do sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$Lq = L - (1 - P_0)$$

Fórmula 8: Tamanho médio da fila

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}}$$

Fórmula 9: Probabilidade de ter 0 clientes no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$P_n = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}} \rho^n \quad \text{para } n = 0, 1, 2, 3, \dots, K$$

Fórmula 10: Probabilidade de ter n clientes no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$\lambda_{ef} = \mu (1 - P_0)$$

Fórmula 11: Taxa média de clientes que realmente entram no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$W = \frac{L}{\lambda_{ef}}$$

Fórmula 12: Tempo médio que o cliente permanece no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda_{ef}}$$

Fórmula 13: Tempo médio que o cliente permanece no sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

$$\rho = \frac{\lambda_{ef}}{\mu}$$

Fórmula 14: Taxa de utilização do sistema

Fonte: Hillier & Lieberman (2010)

3.5 Atividades Desenvolvidas

Neste item será tratado as atividades desenvolvidas pelo acadêmico no supermercado Pais & Filhos LTDA, durante o período de estágio supervisionado que ocorreu de setembro de 2017 a dezembro de 2017. Foi realizada a aplicação de dois modelos de filas com o objetivo de reduzir o tempo médio de espera do cliente na fila do supermercado.

3.5.1 Coleta de Dados

Para que fosse possível encontrar o modelo de fila que melhor se adapta ao supermercado em estudo, foi realizada a coleta de dados através de uma planilha eletrônica, na qual, foram recolhidas informações sobre instante de chegada do cliente, o início do serviço e o fim do serviço. As coletas foram realizadas do dia 02/10/17 ao dia 07/10/17.

Foi selecionada uma amostra de dois caixas do total de 12 caixas que operam no supermercado. O Quadro 1 ilustra a forma como foram obtidas as informações. Onde IC é o instante da chegada do cliente ao caixa, IA é o instante em que este cliente começa a ser atendido e FA é o instante em que ele deixa o caixa (fim do atendimento).

Quadro 1: Exemplo da coleta dos dados em horas.

Caixa 1			Caixa 2		
IC	IA	FA	IC	IA	FA
10:20	10:22	10:23	10:21	10:21	10:23
10:23	10:23	10:27	10:21	10:23	10:25
10:25	10:27	10:28	10:22	10:25	10:25

Fonte: A autora (2017)

3.5.2 Situação Atual

Nesta seção será mostrada a atual situação do supermercado em relação às filas dos caixas. A partir dos dados coletados foi possível calcular as medidas de desempenho do

sistema (fila mais atendimento), para cada um dos dias da semana em que os dados foram coletados e para cada caixa da amostra, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Medidas de desempenho do sistema atual.

Dia da semana	Caixas	Intervalo médio entre chegadas (min)	Tempo médio de atendimento (min)	Tempo médio de espera na fila (min)	Tamanho médio da fila (número de clientes)
Segunda-feira	Caixa 1	2,05	2,12	21,70	9,81
	Caixa 2	2,62	2,47	31,29	10,97
	Média	2,33	2,45	26,98	10,75
Terça-feira	Caixa 1	1,9	2,08	26,24	12,41
	Caixa 2	2,02	2,17	26,42	11,93
	Média	1,97	2,13	25,75	11,88
Quarta-feira	Caixa 1	2,48	2,47	23,75	9,05
	Caixa 2	2,38	2,52	27,74	10,79
	Média	2,43	2,48	25,79	9,94
Quinta-feira	Caixa 1	3,85	5,03	78,86	15,75
	Caixa 2	1,78	1,78	16,96	9,05
	Média	2,82	3,4	50,49	14,58
Sexta-feira	Caixa 1	2,35	2,47	29,56	11,58
	Caixa 2	2,52	3,02	44,61	14,67
	Média	2,43	2,75	37,23	13,27
Sábado	Caixa 1	1,52	1,38	9,37	6,07
	Caixa 2	1,72	1,78	19,03	10,31
	Média	1,62	1,58	14,24	8,47

Fonte: A autora (2017)

Através da análise da Tabela 1, pode-se afirmar que houve uma grande discrepância entre os tempos médios de espera na fila dos caixas da quinta-feira (05/10/2017). O caixa 1 teve um tempo médio de espera na fila de 78,86 minutos, enquanto o caixa 2 teve um tempo médio de espera na fila de 16,96 minutos. O que pode ser justificado por um tempo de atendimento muito alto no caixa 1, um cliente que fez uma compra grande e logo exigiu um tempo de atendimento maior. Pode-se afirmar, também, que os dias de maiores congestionamentos nos caixas, ou seja, os dias em que as filas são maiores, são a quinta-feira e a sexta-feira. E que apesar do sábado ter uma taxa de chegada de clientes ao caixa superior aos outros dias da semana, não possui tempo médio de espera na fila alto, pois neste dia o tempo médio de atendimento é menor devido ao menor volume de compras dos clientes.

A Tabela 2, a seguir, mostra as medidas de desempenho do supermercado em função do horário.

Tabela 2: Medidas de desempenho em função do horário.

Dia da semana	Horário	Taxa de chegada – λ (clientes/minuto)	Taxa de atendimento - μ (Clientes/minuto)	Número médio de clientes na fila - Lq
Segunda-feira	10h20min. Às 11h20min.	-	-	-
	13h às 14h30min.	0,39	0,44	7,27
	15h às 17hs	0,43	0,41	10,74
Terça-feira	10h20min. Às 11h20min.	0,73	0,59	15,03
	13h às 14h30min.	0,48	0,43	12,73
	15h às 17hs	0,49	0,46	11,27
Quarta-feira	10h20min. Às 11h20min.	0,46	0,39	14,11
	13h às 14h30min.	0,45	0,49	6,13
	15h às 17hs	0,35	0,37	7,08
Quinta-feira	10h20min. Às 11h20min.	0,77	0,52	16,93
	13h às 14h30min.	0,54	0,64	3,95
	15h às 17hs	0,47	0,40	14,27
Sexta-feira	10h20min. Às 11h20min.	0,37	0,33	12,85
	13h às 14h30min.	0,28	0,31	5,63
	15h às 17hs	0,44	0,34	15,69
Sábado	10h20min. Às 11h20min.	0,62	0,63	8,47
	13h às 14h30min.	-	-	-
	15h às 17hs	-	-	-

Fonte: A autora (2017)

Como pode ser observado na Tabela 2, o período, entre os horários de coleta, que possui menor número de clientes na fila é das 13 horas às 14 horas e 30 minutos. O número médio de clientes na fila neste horário é aproximadamente 7, enquanto que os períodos entre 10 horas e 20 minutos às 11 horas e 20 minutos e entre 15 horas às 17 horas tem respectivamente 13 e 12 clientes em média na fila. Apesar de não ter sido coletados os dados das 17 horas às 19 horas todos os dias da semana, a coleta realizada na quinta-feira (05/10/2017) confirma as afirmações de que este horário é o que provoca maiores congestionamentos nos caixas, a taxa de utilização neste intervalo foi de 137%. A dificuldade encontrada em coletar os dados (hora em que o cliente entra no sistema, a hora que começa a ser atendido e o momento em que ele deixa o atendimento) a partir das 17 horas devido ao grande número de clientes que chegam ao sistema em um pequeno intervalo de tempo, também confirma a afirmação que no período entre às 17 horas e 19 horas é o período de “pico”. A Tabela 3, a seguir, mostra o resultado dos cálculos gerais das medidas de desempenho do atual cenário do supermercado.

Tabela 3: Medidas de desempenho gerais.

Medidas de desempenho	Caixa 1	Caixa 2	Média geral
λ (Clientes / minutos)	0,42	0,46	0,44
μ (Clientes / minutos)	0,39	0,43	0,41
Wq (minutos)	30,46	27,16	28,72
W (minutos)	33,02	29,48	31,15

Lq (clientes)	11,63	11,42	11,52
L (clientes)	12,61	12,39	12,50
ρ (%)	1,08	1,07	1,07

Fonte: A autora (2017)

A taxa de chegada dos clientes ao caixa (λ) é maior que a taxa de atendimento (μ), isso ocorre em alguns períodos de tempo, porém, como foi feita uma média, há momentos em que λ é menor que μ , logo a fila não crescerá ilimitadamente a ponto de não poder ser dimensionada. Além disso pode ocorrer que a taxa de atendimento média do servidor aumenta gradativamente, conforme o aumento de clientes na fila (o que pode não ser observado na coleta de dados devido ao curto período de tempo), não levando a um número médio de clientes na fila crescente. Outro fato importante, é a própria limitação do sistema em relação ao seu tamanho. O espaço físico disponível para as filas é limitado, o que torna o sistema um modelo de fila finito.

3.5.3 Aplicação dos Modelos de Filas M/M/S e m Sistemas M/M/1

Neste tópico serão mostrados os resultados da aplicação dos modelos M/M/s fila única e m sistemas M/M/1 paralelos e independentes, para os dados coletados. Assim será possível realizar a comparação entre o sistema de fila atual e o sistema proposto. Os cálculos foram feitos em uma planilha eletrônica e foram usados os seguintes dados de entrada: $\lambda = 0,45$; $\mu = 0,43$ e $K = 20$ para o modelo M/M/1. Já para o modelo M/M/s foram usados, $\lambda = 0,91$; $\mu = 0,43$; $s = 2$ e $K = 20$. A partir da taxa de chegada dos clientes ao caixa – o número de clientes que chegam ao caixa por minuto - (λ), da taxa de atendimento – o número de clientes que são atendidos por minuto - (μ), da capacidade do sistema – o número máximo de clientes que podem estar na fila e no atendimento - (K) e do número de servidores – caixas em operação (s), foi possível calcular as demais medidas de desempenhos tais como, tempo médio de espera na fila (Wq), tempo médio gasto pelo cliente no sistema (W), tamanho médio da fila (Lq), número médio de clientes no sistema (L), probabilidade de ter n clientes no sistema (Pn), n pode ser maior ou igual a zero e é o número de clientes, por exemplo, P_0 é a probabilidade de ter 0 (zero) clientes no sistema. A Tabela 4, apresenta os resultados das medidas de desempenho com aplicação dos modelos supracitados.

O atual sistema adotado pelo supermercado é representado por m modelos M/M/1 paralelos e independentes, em que m representa o número de caixas para atendimento. Foi aplicado o modelo M/M/s, para simular um novo cenário e analisar qual modelo traz melhores

resultados para a empresa, reduzindo o tempo médio de espera do cliente na fila do caixa e o número médio de clientes na fila.

Tabela 4: Medidas de desempenho para os modelos M/M/s e *m* sistemas M/M/1

Medidas de desempenho	Modelo <i>m</i> sistemas M/M/1	Modelo M/M/s
λ (Clientes / minutos)	0,45	0,91
μ (Clientes / minutos)	0,43	0,43
Wq (minutos)	26,37	12,22
W (minutos)	28,69	14,55
Lq (clientes)	11,05	10,23
L (clientes)	12,02	12,18
P0	0,03	0,01

Fonte: A autora (2017)

O resultado da aplicação do modelo de filas M/M/s fila única aponta uma redução de aproximadamente 50% (cinquenta por cento) no tempo de espera do cliente na fila (Wq) quando comparado com o atual sistema empregado no supermercado.

O tamanho da fila (Lq) não reduz visto que no modelo proposto os clientes são “canalizados” em uma única fila e distribuídos igualmente, entre os postos de atendimento. Como neste estudo foi considerado dois caixas, significa que existe uma fila para dois caixas, logo, o tempo médio de clientes na fila reduziu à metade para o modelo M/M/s fila finita.

O Gráfico 1 a seguir, compara o tempo médio de espera na fila dos caixas para os dois modelos estudados neste trabalho (M/M/1 fila finita e M/M/s fila finita) em função do horário de funcionamento do supermercado.

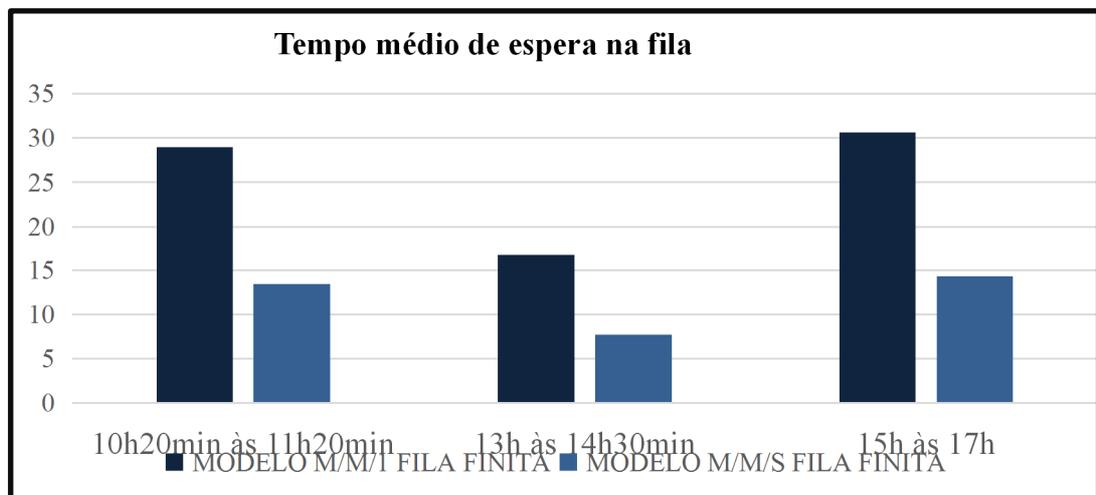


Gráfico 1: Tempo médio de espera na fila dos caixas para os modelos M/M/1 e M/M/s em minutos.

Fonte: A autora (2017).

Nos períodos entre 10 horas e 20 minutos e 11 horas e 20 minutos e entre 15 horas e 17 horas, mesmo com a aplicação do modelo de fila única o tempo que os clientes gastam à espera de atendimento ainda é relativamente alto, sendo necessário então, outras medias que agilizem o atendimento, como por exemplo, a disponibilização de empacotadores nos caixas.

4 Conclusão

Os resultados obtidos mostram que o modelo $M/M/s$, onde s é o número de caixas em operação, traz uma redução de aproximadamente 50% no tempo médio de espera na fila, já que este modelo distribui de forma mais justa os clientes para os postos de atendimento. Porém, este modelo exige um espaço físico maior para acomodar os clientes à espera.

Desta forma, afim de obter um melhor dimensionamento do sistema (fila mais atendimento), com significativa redução do tempo médio de espera na fila, foi sugerido a adoção do modelo $M/M/s$ fila única em todos os caixas “rápidos”. Para os caixas “normais”, devido ao espaço físico insuficiente não será possível a adoção do modelo de fila única sem que haja uma grande mudança no ambiente interno do supermercado.

Foi proposto também, a disponibilização de empacotadores nos caixas e foi sugerido que estes tivessem outras tarefas (como reorganizar as prateleiras) nos horários em que as chegadas aos caixas tiverem intervalos suficientes para a não formação de filas, como o que ocorre na maioria dos dias no período entre às 13 horas e às 14 horas e 30 minutos. Assim, enquanto o cliente está sendo atendido suas compras estão sendo embaladas, o que resulta em dois pontos positivos, satisfação do cliente e redução no tempo de atendimento com consequente redução da fila de espera.

Estudos futuros são necessários para considerar outras importantes características, como o número de itens na compra, as trocas de filas e a desistência dos clientes devido à demora no atendimento. Também é preciso considerar a realização de um estudo que englobe uma amostra maior de dados, visto que ocorrem oscilações não só durante os dias da semana e horários, mas também durante os meses do ano.

Referências

ANDRADE, E. L. de. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 3 ed. Rio de Janeiro: LCT, 2004.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. et al. **Pesquisa operacional: para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações - manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CUNHA, I. **Introdução à teoria das filas** – Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeq9IAG/introducao-a-teoria-das-filas1>> Acesso em 20/09/2017.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. 3 ed. Nova Lima: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2006.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: Pearson Education, 2008.

TRIBUNA DE MINAS. **Pais & Filhos inaugura novo supermercado na Olegário Maciel: Rede investe R\$ 4 milhões no Solar Street Mall; números de funcionários na cidade chega a 400**. Disponível em <<http://tribunademinas.com.br/noticias/economia/29-09-2017/pais-e-filhos-inaugura-novo-supermercado-na-olegario-maciel.html>> Acesso em 2/10/17.