

**Universidade Estadual de Maringá**

**Centro de Tecnologia**

**Departamento de Engenharia de Produção**

**Teoria das Filas e Simulação aplicadas a caixas de  
autoatendimento e caixas-rápidos de um supermercado**

*Priscila Maria Niszczak*

**Maringá - Paraná**

**Brasil**

Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

Teoria das Filas e Simulação aplicadas a caixas de  
autoatendimento e caixas-rápidos de um supermercado

Priscila Maria Niszczak

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de  
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da  
Universidade Estadual de Maringá.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Fernanda Cavicchioli Zola

**Maringá - Paraná**

**2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela minha família e amigos, pela oportunidade de concluir uma graduação e pelas experiências que pude viver durante ela.

À universidade, pela oportunidade de realizar este trabalho, por ter me provido de conhecimento e experiências que me farão uma profissional melhor.

Aos professores do departamento de Engenharia de Produção, por me permitirem realizar este trabalho. Agradeço especialmente à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Fernanda que me deu coragem e assumiu este desafio comigo: Obrigada pela paciência e pelo apoio.

Aos meus pais pelo exemplo de garra e esforço. Ao meu pai, que me incentivou a conhecer o mundo e que, apesar de todas as dificuldades, me deu suporte durante a faculdade. À minha mãe pelo exemplo de coragem e sabedoria, pelo apoio incondicional e por me ensinar tanto todos os dias. Ao meu irmão Leandro, um anjo na minha vida, que me ensina que ser diferente é normal. À minha irmã pela cumplicidade e amizade.

Ao meu amor Cauê, que tem feito meus dias mais felizes, é meu exemplo de disciplina, dedicação e companheirismo: Obrigada pelo suporte que me deu nessa reta final da graduação.

À minha amiga Paula, meu maior exemplo de amizade e determinação: Obrigada pela cumplicidade e pelo apoio durante a faculdade.

Aos meus eternos amigos Renata e Marcelo. Ao meu amigo Luizinho. A Tati, Jeh, Emi, a todos do flat 28, Deborah, Martielo, Thaisa, Soro, Isa, Mari, Fer, Natan, Juice, Nath, Bráulio e a todos que participaram dessa parte da minha vida e deixaram um pedacinho de si comigo.

A todos que de alguma forma fizeram parte da minha formação e me acrescentaram como pessoa e como profissional.

## RESUMO

O mercado varejista vem continuamente melhorando os serviços fornecidos aos clientes, buscando soluções que aumentem a qualidade do serviço e, conseqüentemente, a satisfação dos consumidores. No estado do Paraná há uma tentativa pioneira de se implantar uma nova tecnologia para agilizar o processo de atendimento e as filas dos supermercados: os caixas de autoatendimento. Nesse sistema, o cliente assume o papel do atendente, escaneia seus produtos e executa ele mesmo o pagamento. O objetivo deste trabalho consiste em comparar dois sistemas de caixas de supermercados, o caixa de autoatendimento e o caixa-rápido através da Teoria das Filas e da Simulação de Sistemas. Desse modo, o trabalho concentrou-se em um estudo de caso desses dois modelos de caixas de um supermercado em Maringá-PR. Após coleta de dados, foi programado um modelo de simulação no *software FlexSIM®* que representasse as condições reais dos sistemas e que permitisse a criação de um cenário hipotético com o intuito de melhorar o sistema de filas. Os resultados das simulações do cenário real indicaram que, neste caso, os caixas-rápidos são mais eficientes do que os caixas de autoatendimento em relação ao tempo de atendimento e o tempo gasto pelo cliente na fila. Isso porque há fatores que influenciam o tempo total gasto pelo cliente nos caixas de autoatendimento, como por exemplo a falta de prática.

**Palavras-chave:** Teoria das Filas; Simulação; Caixa de autoatendimento; Caixa-rápido

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Justificativa .....	2
1.2	Definição e delimitação do problema .....	3
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Objetivo geral .....	4
1.3.2	Objetivos específicos .....	4
1.4	Estrutura do trabalho .....	4
<b>2</b>	<b>Revisão da Bibliografia .....</b>	<b>6</b>
2.1	Modelagem de Sistemas .....	6
2.2	Teoria das Filas .....	9
2.2.1	Características de uma fila .....	9
2.2.2	Relações entre variáveis .....	11
2.2.3	Modelos de Filas .....	13
2.3	Simulação .....	14
2.3.1	Tipos de simuladores .....	15
2.3.2	Número de replicações .....	17
2.4	Trabalhos correlatos .....	18
2.5	Considerações finais do capítulo .....	19
<b>3</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>20</b>
3.1	Coleta de dados .....	21
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento .....</b>	<b>23</b>
4.1	Descrição da empresa .....	23
4.2	Considerações do modelo .....	23
4.3	Análise estatística dos dados .....	26
4.3.1	Distribuição do Intervalo de Chegadas na fila .....	26
4.3.2	Distribuição do Tempo de atendimento .....	29
4.4	Aplicação da Teoria das Filas .....	32
4.5	Simulação no <i>software FlexSIM®</i> .....	34
4.5.1	Montagem do modelo .....	34
4.5.2	Verificação e validação do modelo .....	36
4.5.3	Determinação do número de replicações .....	37
<b>5</b>	<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>39</b>
5.1	Cenário Real .....	39
5.2	Cenário Hipotético .....	41

<b>6</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>44</b>
6.1	Considerações finais .....	44
6.2	Limitações do trabalho.....	45
6.3	Proposta de trabalhos futuros.....	45
	<b>Referências .....</b>	<b>47</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO C.....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO D.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO E.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistema de filas e suas variáveis .....	12
Figura 2: Notação de Kendall-Lee.....	14
Figura 3: Fluxograma da metodologia do trabalho. ....	21
Figura 4: Fluxograma do sistema de filas.....	24
Figura 5: Distribuições para o Intervalo de Chegada do caixa-rápido .....	27
Figura 6: Distribuições para o Intervalo de chegada do autoatendimento .....	28
Figura 7: Distribuições para o Tempo de atendimento do caixa-rápido.....	30
Figura 8: Distribuições para o Tempo de atendimento do autoatendimento.....	31
Figura 9: Modelo de simulação dos caixas-rápidos .....	35
Figura 10: Modelo de simulação do autoatendimento.....	36
Figura 11: Modelo de simulação do cenário hipotético .....	41

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resumo das fórmulas da Teoria das Filas .....	13
Tabela 2: Período da coleta de dados .....	22
Tabela 3: Modelo para a coleta de dados .....	22
Tabela 4: Resumo dos dados do Intervalo entre Chegadas .....	26
Tabela 5: Correlação das distribuições do Intervalo entre chegadas.....	27
Tabela 6: Distribuições para a simulação .....	28
Tabela 7: Resumo dos dados .....	29
Tabela 8: Correlação das distribuições do Tempo de atendimento.....	29
Tabela 9: Distribuições dos Tempos de Atendimento.....	31
Tabela 10: Variáveis do sistema de filas. ....	32
Tabela 11: Dados sobre os sistemas de filas.....	33
Tabela 12: Notação de Kendall-Lee para os sistemas em estudo.....	33
Tabela 13: Comparação dos dados para validação do modelo.....	37
Tabela 14: Dados do Número de Clientes na fila de 10 replicações. ....	37
Tabela 15: Dados referentes às filas. ....	39
Tabela 16: Dados referentes ao processo de atendimento.....	40
Tabela 17: Dados referentes ao sistema. ....	40
Tabela 18: Dados referentes às filas .....	41
Tabela 19: Dados referentes ao processo de atendimento.....	42
Tabela 20: Dados referentes ao sistema .....	43



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RBR	Retail Banking Research
FIFO	<i>First In First Out</i>
LIFO	<i>Last In First Out</i>
IC	Intervalo médio entre Chegadas
TF	Tempo médio de permanência na fila
NF	Número médio de clientes na fila
TA	Tempo médio de atendimento
NA	Número médio de clientes no processo de atendimento
TS	Tempo médio de permanência no sistema
NS	Número médio de clientes no sistema
Ek	Distribuição de Erlang
3-D	Três dimensões
PR	Estado do Paraná
D	Característica determinística
M	Distribuição Markoviana
G	Distribuição genérica
$n$	Número de replicações
Z	Distribuição normal de probabilidade
$r$	Grau de precisão
$s$	Desvio padrão
$c$	Capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Ritmo médio de Chegada
$\mu$	Ritmo médio de atendimento de cada atendente
$\alpha$	Nível de confiança
$\bar{x}$	Média amostral

# 1 INTRODUÇÃO

Os supermercados estão localizados no último nível de uma cadeia de suprimentos, sendo assim considerados empresas varejistas. Vendem principalmente alimentos e utensílios domésticos dispostos no formato *self-service* e possuem caixas para realização do pagamento na saída. As organizações da área de varejo, interessadas em aumentar o volume de vendas, têm se preocupado cada vez mais em melhorar o nível de serviço fornecido ao consumidor e como poder fidelizá-los. Para isso, realizam pesquisas sobre os interesses dos consumidores, estudam os fatores que influenciam na satisfação do cliente e desenvolvem possíveis soluções, que aplicadas, podem aumentar a qualidade do serviço (RINALDI, MORABITO e TACHIBANA, 2009).

Na hora de escolher o local para realizar suas compras, os consumidores são influenciados por vários fatores, como localização da loja, formas de pagamento, disponibilidade de estacionamento, qualidade de atendimento, variedade de produtos, preço, entre outros. Dentre esses fatores, o preço e o tamanho das filas são os fatores mais mencionados pelos gerentes como os que influenciam o cliente na hora da escolha do estabelecimento. O tempo total de permanência do cliente na loja é determinado diretamente pelo tempo de espera na fila de espera dos caixas (RINALDI, MORABITO e TACHIBANA, 2009).

O funcionamento básico de um sistema onde geralmente ocorrem filas consiste em clientes (podendo ser produtos, veículos, tarefas, pessoas) que se dirigem para servidores (caixas de atendimento, máquinas, computadores) para receber algum tipo de serviço. As filas de espera aparecem quando a demanda de clientes supera a capacidade do sistema de prestar o serviço durante um intervalo de tempo (ARENALES, *et al.*, 2007).

Os primeiros estudos matemáticos sobre filas foram realizados por Agner Krarup Erlang na cidade de Copenhague, Dinamarca. Seus estudos iniciaram em 1908 enquanto trabalhava numa companhia de telefone e precisava reorganizar as linhas telefônicas das centrais. Conhecido como pai da Teoria das Filas, sua teoria só foi aplicada a outros sistemas de filas após a Segunda Guerra Mundial (PRADO, 2004).

Após essa época, houve um aumento de produtividade e competitividade e conseqüentemente, diversas filas de diferentes formas e tamanhos surgiram em indústrias e em empresas, gerando aumento de custos, atrasos e insatisfação dos clientes. Surgiu assim, uma forte tendência na área de varejo em utilizar tecnologias mais avançadas que possibilitassem a

redução do número de empregados, o aumento no número de caixas para atendimento, flexibilidade de horário, a disposição mais organizada dos produtos e maior variedade. Com esse avanço tecnológico no varejo, surgiram alternativas para melhorar o serviço de atendimento dos supermercados: uma delas são os chamados caixas de autoatendimento (em inglês *self-checkout* ou *self-scanning*). O primeiro *self-checkout* foi implantado em uma loja de Nova York no ano de 1992. No entanto, antes de chegar aos supermercados, essa tecnologia já estava sendo utilizada em outras áreas do varejo, como em bancos, postos de gasolina, bibliotecas, aeroportos, locais de entretenimento, entre outros. (NCR CORPORATION, 2014)

O *self-checkout* ou caixa de autoatendimento é uma máquina que fornece um mecanismo para os clientes processarem seus próprios produtos na hora do pagamento. Na prática, os clientes assumem o trabalho do atendente de caixa, dado que eles mesmos escaneiam e pagam pelos itens. Um estudo realizado pela *Retail Banking Research* (RBR) de Londres em 2014 sobre pontos eletrônicos de venda (*EPOS-Eletronic point of sale*) e caixas de autoatendimento no âmbito mundial previu uma taxa de crescimento anual de 3% nas instalações desses terminais, podendo chegar a 14 milhões de aparelhos no mundo todo em 2019. O crescimento maior é esperado em mercados em desenvolvimento, especialmente no Oriente Médio, África e América Latina. A América Latina teve um grande impulso de importação em 2013, com a Argentina, México e o Brasil na liderança, sendo que o Brasil foi estimulado, em partes, pelos preparativos dos varejistas tanto para a Copa do Mundo de 2014 quanto para os Jogos Olímpicos de Verão de 2016 (RBR London, 2014).

No Brasil, a implantação da tecnologia de *self-checkout* em supermercados já foi testada algumas vezes sem muito sucesso. No final de 2012, uma rede paranaense de supermercados voltou a implantar o sistema em suas lojas com o objetivo de tentar mudar o comportamento do consumidor na hora de concluir as compras e agilizar o atendimento em 20% (SPARVOLI, 2013).

## **1.1 Justificativa**

A grande preocupação dos supermercados e empresas de varejo está em oferecer a seus clientes serviços de qualidade. O problema de congestionamento tem sido uma das variáveis que mais influencia na satisfação desses clientes. Com a implantação do novo sistema de caixas, os caixas de autoatendimento, os supermercados têm a possibilidade de reduzir o tamanho das filas e o tempo de espera do cliente, consequentemente aumentando a qualidade do atendimento

e a satisfação do cliente. Outro ponto positivo para a adoção desse sistema, está na redução do número de funcionários. Os caixas de autoatendimento não necessitam de funcionários para operá-los o que significa uma redução nos custos dos supermercados com os caixas de atendimento.

Os caixas de autoatendimento já são adotados por supermercados em outros países. No Brasil, o supermercado em estudo é o primeiro a implantar o sistema. Sendo assim, a aceitação do público, a eficiência, os benefícios e as restrições desse sistema em mercados brasileiros ainda estão sendo testados.

Os caixas rápidos são caixas que determinam a quantidade máxima de itens que o cliente deve ter para utilizá-lo. No caso do autoatendimento, esse sistema também possui restrição na quantidade de itens que o cliente deve ter para realizar o pagamento. Dessa forma, deseja-se estudar neste trabalho o desempenho do sistema de filas dos autoatendimentos e comparar com o sistema de filas dos caixas-rápidos.

## **1.2 Definição e delimitação do problema**

O estudo consiste na comparação do sistema de filas nos novos modelos de caixas, os caixas de autoatendimento, e nos caixas-rápidos em um supermercado na região de Maringá – PR, através da Teoria das Filas e da simulação.

Para o bom desempenho do sistema em geral, os processos de atendimentos nos caixas-rápidos e de autoatendimento devem ser realizados rapidamente a fim de evitar o surgimento de filas e, conseqüentemente, insatisfação nos clientes. Neste trabalho será abordado apenas estudos relacionados aos tempos e a quantidade de pessoas nos dois sistemas de filas.

Nos caixas-rápidos, existe um operador para cada caixa e todos são auxiliados por um outro funcionário em casos de falhas ou necessidade de assistência, como por exemplo falta de troco ou falta de etiqueta no produto. Os caixas de autoatendimento são operados pelos próprios clientes que são auxiliados por um funcionário quando houver falhas ou dúvidas. No presente trabalho será considerado que não haverá distinção entre o tempo de atendimento e o tempo gasto com assistência. Os tempos dos sistemas que forem exceção, quando forem acima do tempo normal, serão desconsiderados.

Os dois sistemas atendem apenas clientes com quantidade determinada de itens. Os caixas de autoatendimento aceitam pagamentos apenas com cartão enquanto os caixas-rápidos

dispõem de outros tipos de pagamentos, como o pagamento em dinheiro. Esse fator pode afetar o tempo e a quantidade de clientes no sistema mas não será levado em consideração.

A formação de fila no supermercado depende da demanda de clientes. O gerente do estabelecimento informou os dias e horários mais congestionados de acordo com um relatório interno do supermercado. O período de observação será realizado em dias e horários específicos em que ocorrem os maiores picos de atendimento sendo estes sextas-feiras e sábados entre 18h e 20h, como foi informado pelo gerente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Utilizar a Teoria das Filas e a Simulação para estudar o comportamento das filas dos caixas de autoatendimento e dos caixas-rápidos de um supermercado de Maringá.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Utilizar a Teoria das Filas para encontrar as informações referentes as filas, aos atendimentos e aos sistemas dos caixas-rápidos e dos caixas de autoatendimento;
- Simular e comparar as variáveis referente as filas, aos atendimentos e aos sistemas dos caixas-rápidos e dos caixas de autoatendimento;
- Realizar um experimento com foco em melhorar o desempenho das filas.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

No Capítulo 1 apresentou-se uma introdução relacionado ao tema para ambientar o problema e os motivos do trabalho para o leitor.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura, onde aborda-se as áreas de Modelagem de Sistemas, Teoria das Filas, Simulação e Trabalhos correlatos utilizados para o desenvolvimento deste estudo.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho, juntamente com os passos seguidos durante o trabalho para chegar a um resultado.

No Capítulo 4 é demonstrado o desenvolvimento dos passos citados na metodologia e baseados na revisão de literatura.

O Capítulo 5 contém os resultados encontrados ao analisar as simulações, tanto do cenário real quanto de um cenário hipotético com foco em melhorar o desempenho das filas.

E por fim, no Capítulo 6 apresenta uma conclusão do trabalho, buscando responder os objetivos e apontando as limitações e sugestões de futuros trabalhos.

## 2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo está organizada uma coletânea dos materiais encontrados sobre o tema e utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho. As áreas que serão abordadas são: Modelagem de Sistemas, Teoria das Filas e Simulação. Por fim, são apresentados um subcapítulo de trabalhos correlatos que abordam sobre o tema, e as considerações finais do capítulo.

### 2.1 Modelagem de Sistemas

De acordo com Chwif e Medina (2010), um modelo representa as interações das partes de um sistema, envolvendo um grau de abstração, buscando imitar cada vez melhor o comportamento do cenário real. A modelagem de sistema intervém para estudar e entender o comportamento de um sistema sob condições pré-estabelecidas. Esse método procura imitar o desempenho de processos verdadeiros e permite a realização de experimentos dentro desse modelo. O modelo funciona como um veículo para experimentação sendo que muitas vezes o procedimento é de tentativa e erro. Pode-se usar também processos mais sofisticados, como técnicas de estatística experimental. O modelo que apresentar os melhores resultados pode ser aplicado na vida real (FREITAS, 2001).

O tipo de modelo para experimentação dependerá do propósito do sistema e da sua complexidade. Existem diversos modelos que podem ser utilizados, como por exemplo os modelos descritivos, os modelos estatísticos, os modelos matemáticos, entre outros. No caso de sistemas simples, em que as interações entre os elementos podem ser detalhadas e estruturadas, o emprego de cálculos, álgebras ou da Teoria das Filas podem ser uma boa alternativa, pois trazem resultados precisos e exatos e ajudam a encontrar a melhor opção. Todavia, os sistemas utilizados hoje em dia são mais complexos, e requerem descrições mais elaboradas através de modelos matemáticos. Para descrever o comportamento desse tipo de sistema ou de um problema real é preciso identificar as variáveis e as relações matemáticas existentes no sistema. A análise dessas interações é feita através de técnicas matemáticas e de utilização de tecnologia que resolvem mais facilmente o modelo matemático e apontam resultados mais confiáveis (FREITAS, 2011; ARENALES, *et al.*, 2007).

Andrade (1998) separa os modelos matemáticos em modelos de simulação e modelos de otimização. Os modelos de otimização são organizados para escolher apenas uma alternativa definida como “solução ótima”. Através de algoritmos, é realizada uma análise matemática dos



critérios, definidos pelo analista, e através dessa análise é encontrada a melhor alternativa. Ao contrário do modelo de otimização, o modelo de simulação procura gerar e analisar várias alternativas, antes da implementação de alguma delas no sistema real. Esse modelo oferece uma representação do mundo real, e permite que o administrador crie ambientes futuros para testar as alternativas escolhidas. Dessa forma, o modelo de simulação procura responder as questões: “E se...?” , “O que acontecerá se...?” ”.

Para que o analista ou administrador obtenha resultados confiáveis, as informações e a montagem do modelo devem ser definidas com clareza. Desse modo, muitos escritores apresentam passos para a elaboração de um processo de modelagem e simulação. Alguns dos passos citados por Andrade (1998), Banks *et al.*(2005) e Freitas (2001) são descritos abaixo:

- Definição do problema

Todo estudo deve começar com a definição do problema. Deve-se descrever claramente os objetivos e as intenções da simulação para que a sua solução atenda às necessidades do administrador. É necessário também detalhar os procedimentos e limites do sistema em que o problema está inserido. Além disso, é importante definir as questões que deverão ser respondidas com a simulação (ANDRADE, 1998; FREITAS, 2001).

- Formulação do Modelo Conceitual

Para que o resultado do modelo seja confiável e de qualidade, deve-se elaborar um esboço do sistema de forma visual, determinando os componentes e incluindo todas as variáveis importantes do modelo. A identificação das variáveis inclui tanto as de interesse do processo e as de saída geradas pelo modelo, quanto as que são determinadas por fatores externos, que estão sob controle e determinação da gerência (BANKS *et al.*,2005).

O escopo do modelo deve ser definido nessa etapa a fim de definir as informações essenciais que modelo deverá retornar. É recomendado que se inicie o modelo de forma simples e que vão acrescentando informações durante o processo de modelagem, para que haja um controle da quantidade de detalhes que o modelo irá possuir. Quando há inclusão de muitas informações pouco relevantes ou realmente irrelevantes, o resultado poderá se desviar do propósito principal do modelo, que é facilitar o processo de tomada de decisão (FREITAS, 2001).

- Coleta de dados e informações

A coleta de dados é uma das partes mais relevantes na hora de resolver um problema e uma das mais difíceis na simulação. Mesmo que o modelo seja validado, se os dados inseridos foram coletados de forma imprecisa, analisados impropriamente, ou não representarem o ambiente, o resultado da simulação não será verdadeiro e poderá levar a tomada de decisões errôneas (BANKS *et al.*, 2005).

As definições dos objetivos do modelo já determinam, de forma ampla, quais os tipos de dados necessários que deverão ser coletados para a simulação do sistema. É importante também que os dados estejam na forma adequada para aplicação na simulação (FREITAS, 2010).

- Programação do modelo

Depois de definir as principais variáveis, é importante escrever as interações entre elas em termos matemáticos, já que a simulação é um método numérico para alcance de resultados, por meio de processamento de dados de entrada. As interações podem ser definidas através da lógica do problema, de técnicas de estimação (empíricas) e de relações algébricas, derivando as equações por meio de outras variáveis (BANKS *et al.*, 2005).

Como os modelos atuais são grandes e complexos, é preciso realizar essa programação em computadores, em planilhas eletrônicas ou em programas específicos. Para que o resultado seja confiável, o *software* utilizado deve ser selecionado de acordo com as necessidades de resposta do modelo e a programação precisa ser detalhada e precisa, feita com o auxílio de especialistas no assunto (ANDRADE,1998).

- Verificação do modelo

A verificação foca em averiguar se o modelo funciona da forma como foi planejado, ou seja, se o modelo responde aos objetivos pré-determinados. A pergunta a ser respondida para a verificação é se o programa está tendo uma boa performance. Se a estrutura lógica e os dados de entrada operam e representam o sistema real corretamente, então pode-se dizer que a verificação está completa. A verificação é feita no próprio programa utilizado para montar a simulação (BANKS *et al.*, 2005; FREITAS, 2010).

- Validação do modelo

Por sua vez, a validação do modelo busca comprovar que a simulação comporta-se semelhantemente ao sistema real. Para a validação do modelo de simulação, devem ser realizados testes em que os resultados possam ser acompanhados. Muitas vezes utilizam-se

dados antigos conhecidos para verificar se os resultados apresentados pelo modelo correspondem aos resultados da vida real. Se os resultados gerados forem confiáveis, é possível dizer que a verificação está concluída (ANDRADE, 1998).

Uma forma de validação segundo Freitas (2001) está em verificar os resultados com a teoria, como por exemplo, comparar os resultados da simulação com os cálculos da Teoria das Filas. As distribuições de entrada costumam ser testadas através de testes de aderência, que verificam a qualidade da escolha da distribuição para representar os dados coletados, como o teste *Qui-quadrado* e o *Kolmogorov-Smirnov (K-S)*.

- Execução do modelo

Uma vez que estiver verificado e validado, o modelo pode ser utilizado para gerar os dados desejados, para fazer as análises de sensibilidade e simulação de cenários hipotéticos que auxiliarão nas tomadas de decisão (ANDRADE, 1998).

## **2.2 Teoria das Filas**

O momento em que se inicia a formação de uma fila se dá quando clientes desejam atendimento de algum serviço mas o servidor está ocupado. Ao chegar no ponto de atendimento, cada cliente passa pelo tempo de processamento do serviço solicitado que finaliza quando o cliente deixa o processo. Ao chegarem mais clientes para o atendimento, eles devem aguardar o servidor desocupar, ou seja, os novos clientes começam a formar uma fila (CHIAVENATO, 2003).

A Teoria das Filas utiliza técnicas matemáticas para otimizar os sistemas em caso de ocorrência de aglomeração e de espera. Essa teoria foca em minimizar os tempos de estreitamento e de espera que ocorrem na prestação de algum serviço. A Teoria das Filas é geralmente aplicada em sistemas com gargalos e espera, como por exemplo em ligações telefônicas, cadeias de suprimento, atendimento ao cliente em bancos ou em problemas de tráfego (CHIAVENATO, 2003).

### **2.2.1 Características de uma fila**

Os principais atores em um sistema de filas são os clientes e o servidor. Os clientes são gerados a partir de uma fonte e, ao se dirigirem para o servidor, eles podem iniciar o serviço imediatamente ou esperar em uma fila. Quando o servidor conclui um serviço, ele

automaticamente "puxa" o próximo cliente que estiver esperando na fila. Se a fila estiver vazia, o servidor fica inativo até que chegue um novo cliente requisitando serviço (TAHA, 2003).

Para entender o funcionamento de uma fila, é preciso definir algumas características nas quais os clientes e os servidores estão envolvidos. Na área de sistema de filas, Prado (2004), Andrade (1998) e Banks *et al.* (2005) apresentam, em suma, 5 características: Processo de Chegada, Processo de Atendimento, Número de Servidores, Disciplina da fila, Capacidade do Sistema e Tamanho da População.

- Processo de Chegada

O Processo de Chegada em modelos com população infinita é geralmente caracterizado pelo intervalo de tempo entre as chegadas, ou seja, o tempo que leva para o próximo cliente deixar a população e aderir ao sistema de fila de espera. Quando se tem tempos aleatórios, normalmente esse intervalo entre as chegadas segue uma distribuição de probabilidade. O modelo mais importante de distribuição presente no processo de chegada é a distribuição de Poisson, que tem sido empregada com sucesso como modelo de chegada de clientes em restaurantes, agências bancárias, e outros locais de serviços (ANDRADE, 1998; BANKS *et al.*, 2005).

- Processo de Atendimento

O Processo de Atendimento é definido como sendo o tempo ou a duração média do serviço ou atendimento. O tempo de atendimento geralmente segue uma distribuição idêntica de variáveis aleatórias, ou seja, uma distribuição de probabilidade. Essa distribuição pode ser *Exponencial*, *Weibull*, *Gamma*, *Log normal*, entre outras (BANKS *et al.*, 2005).

- Número de Servidores

A quantidade de servidores é uma das características que se pode modelar em um sistema de filas para otimizar o processo de atendimento. O modelo mais simples é aquele com um servidor, que atende um único cliente por vez. Entretanto, pode existir sistemas com vários servidores em paralelo ou até infinitos servidores, como no caso de alguns sistemas *self-service* (PRADO, 2004).

- Disciplina da fila

A disciplina da fila se refere ao conjunto de regras que determina a ordem em que os clientes presentes na fila serão atendidos, assim, evidentemente, que um servidor estiver livre. Existem várias ordens de atendimento, a mais comum é a sequência FIFO (*First In First Out*)

em que o primeiro a chegar na fila é o primeiro a ser atendido. Existem também outras regras como por exemplo LIFO (*Last In First Out*), por ordem de prioridade, randômico, etc (ANDRADE, 1998).

- Capacidade do sistema

Em muitos sistemas de filas, há um limite no número de clientes que podem estar na fila ou no sistema. A capacidade do sistema pode ser ilimitada ou limitada. Quando esta última ocorre, há diferenças entre a taxa de chegada utilizada e a taxa de chegada real (BANKS *et al.*, 2005).

- Tamanho da População

Os clientes originam-se de uma população que pode ser considerada finita ou infinita. A principal diferença entre modelos com população finita e infinita está em como a taxa de chegada será definida. Em modelos com população infinita, a taxa de chegada não é afetada pelo número de clientes que deixam a população e ingressam no sistema de filas. Por outro lado, para população finita, a taxa de chegada dos clientes ao sistema de filas depende do número total de clientes que serão atendidos (BANKS *et al.*, 2005; PRADO, 2004).

### **2.2.2 Relações entre variáveis**

Para Prado (2004) existem “variáveis randômicas fundamentais” em um sistema de filas que representam as características do sistema. Observa-se essas variáveis na Figura 1.

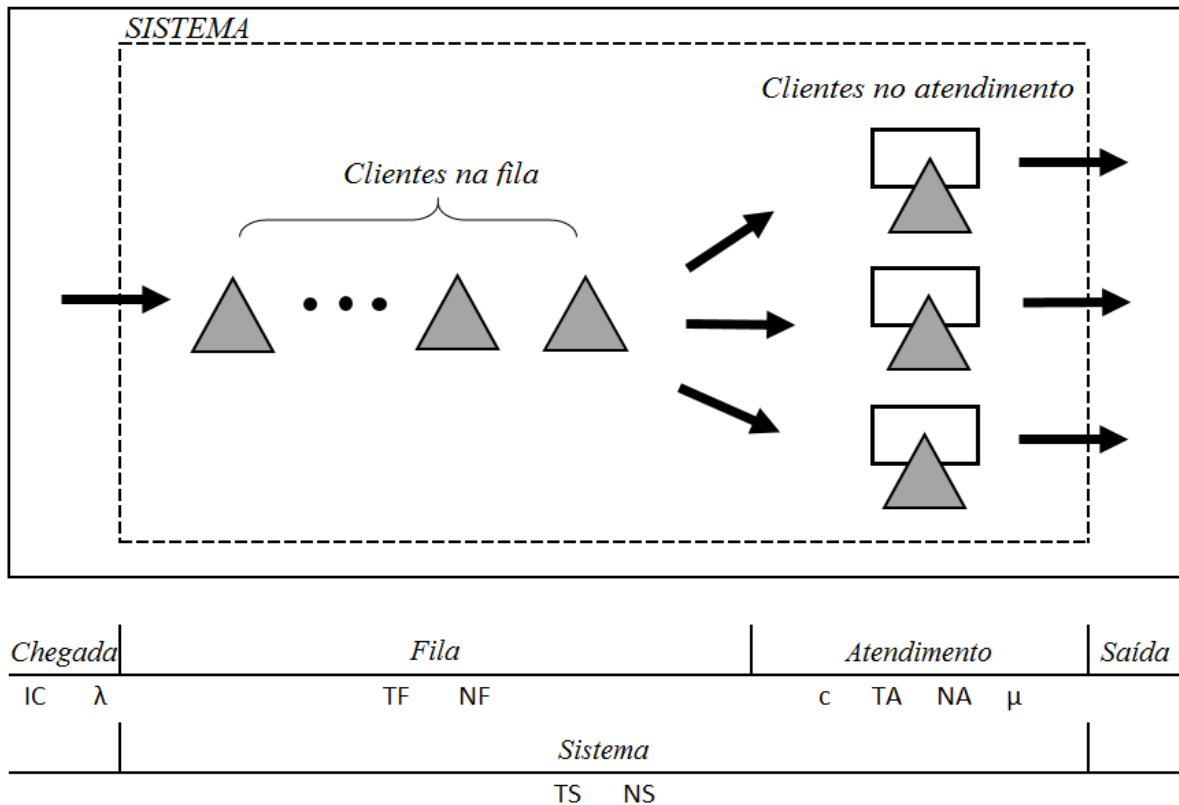


Figura 1: Sistema de filas e suas variáveis

Fonte: Adaptada de PRADO (2004, p.38).

As variáveis pertinentes à Chegada:

IC = Intervalo médio entre Chegadas

$\lambda$  = Ritmo médio de Chegada

Para variáveis relativas à Fila:

TF = Tempo médio de permanência na fila

NF = Número médio de clientes na fila

Para variáveis referentes ao Atendimento:

c = Capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes

TA = Tempo médio de atendimento

NA = Número médio de clientes no processo de atendimento

$\mu$  = ritmo médio de atendimento de cada atendente

Para variáveis pertencentes ao Sistema em geral:

TS = Tempo médio de permanência no sistema

NS = Número médio de clientes no sistema

As relações básicas entre essas variáveis são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo das fórmulas da Teoria das Filas

Nome	Fórmula
Intervalo entre chegadas	$IC = 1 / \lambda$
Tempo de atendimento	$TA = 1 / \mu$
Taxa de utilização dos atendentes	$\rho = \lambda / c \mu$
Intensidade de tráfego	$i =  \lambda / \mu  =  TA / IC $
Relações entre fila, sistema e atendimento	$NS = NF + NA$ $NA = \lambda / \mu$ $NS = NF + \lambda / \mu = NF + TA$ $/ IC$ $TS = TF + TA$
Fórmulas de Little	$NF = \lambda \cdot TF$ $NS = \lambda \cdot TS$

Fonte: PRADO (2004, p.41)

### 2.2.3 Modelos de Filas

Com as diversas variações que um sistema de filas pode apresentar, existem vários modelos de filas, sendo alguns deles muito difíceis de serem analisados. Para facilitar essa análise do sistema de filas, alguns modelos simples foram classificados de acordo com a notação de Kendall-Lee. Esta notação representa sistemas de filas com um ou mais servidores iguais em paralelo e é composta por seis características. A notação de Kendall-Lee possui esse nome pois as três primeiras características foram definidas em 1953 por D. Kendall e as três últimas foram definidas em 1968 por A. Lee (ARENALES, *et al.*, 2007). A composição da notação pode ser vista na Figura 2.

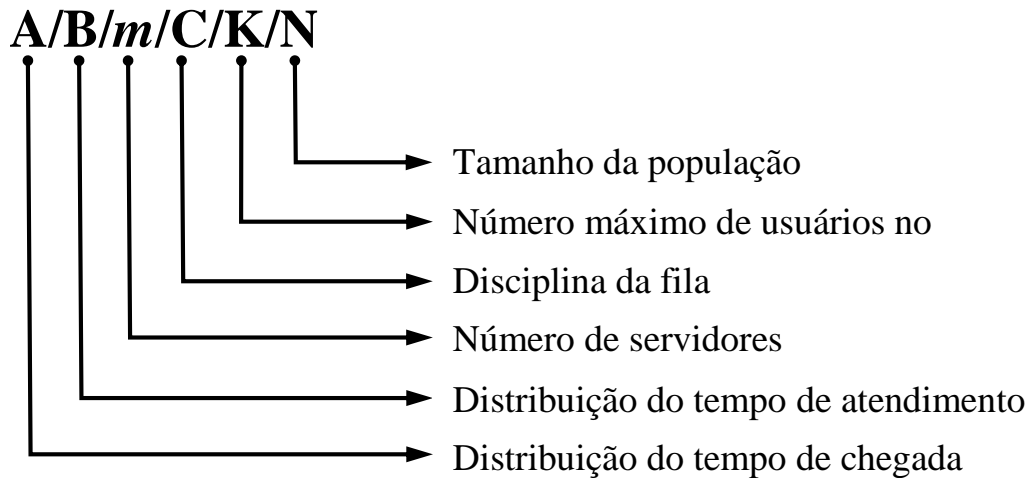


Figura 2: Notação de Kendall-Lee

Fonte: Adaptado de ARENALES *et al.* (2007, 439)

O primeiro atributo (A) expressa a distribuição de probabilidade dos intervalos entre chegadas sucessivas e o segundo (B) descreve a distribuição de probabilidade do tempo de atendimento. Nesses dois casos, os parâmetros podem assumir uma característica determinística (D), ou seguir a distribuição Exponencial ou Markoviana, sem memória (M), a distribuição de Erlang do tipo  $k$  ( $E_k$ ), uma distribuição genérica (G), entre outras. O terceiro atributo ( $m$ ) indica o número de servidores, a saber, a quantidade de atendentes. O quarto atributo (C) refere-se à disciplina da fila, como por exemplo FIFO (*First in First Out*). O quinto atributo (K) indica a capacidade máxima do sistema e diz respeito ao número máximo de usuários no sistema. E o sexto e último atributo (N) determina o tamanho da população. Podemos ter um sistema de capacidade limitada, ou seja,  $K=\infty$ , ou um sistema com população infinita,  $N=\infty$ , nesses casos as características podem ser ocultadas da notação (ARENALES *et al.*, 2007).

### 2.3 Simulação

A simulação de sistemas segundo Banks *et al.* (2005) é a imitação da operação, de um processo ou sistema do mundo real, ao longo do tempo. Quer seja feita por um computador ou à mão, a simulação envolve a geração de um histórico artificial de um sistema e, com a observação desses dados, pode-se fazer inferências relativas às características do sistema real.

Segundo Pegden, Shannon e Sadowski (1990) “Simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o



propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. Para os autores, a simulação abrange mais características do que apenas a construção do modelo. Ela também procura descrever melhor o comportamento do sistema, para assim poder construir hipóteses e teorias além de criar modelos para analisar o futuro.

A simulação tem sido cada vez mais utilizada e aceita por diversos seguimentos, isso por causa da facilidade de uso e de criação dos modelos. As interfaces gráficas cada vez mais modernas e ilustrativas também influenciaram a intensa procura pela tecnologia. As vantagens são imensas, e Freitas (2001) cita alguma delas:

- O sistema simulado traz detalhes que permitem aos analistas observarem as diferenças no comportamento do sistema;
- As animações permitem que os interessados visualizem melhor o comportamento do sistema;
- Ao simular, a empresa economiza em custo e tempo, gerando ganhos em qualidade e produtividade.

Freitas (2001) ressalta também quando a simulação pode ser aplicada:

- Quando ainda não existe o sistema real;
- Para testar a eficiência e o custo do sistema real com alguma modificação, como por exemplo a inclusão de um novo equipamento;
- Para experimentar o sistema real se houver algum caso de emergência ou perigo.

### 2.3.1 Tipos de simuladores

Os softwares utilizados para desenvolver modelos de simulação podem ser divididos em três categorias. Em primeiro lugar, existem as linguagens de programação de uso geral, como C, C ++, Java. Depois, existem as linguagens de programação para simulação, sendo exemplos GPSS/H™, SIMAN V® e SLAM II®. Por último, existem os ambientes de simulação, como por exemplo o *FlexSIM*®, *Arena*®, *PROmodel*®, *SIMUL8*®. Esta categoria inclui muitos produtos, que diferem entre si por exemplo pelo custo, área de aplicação, ou o tipo de animação, e mantêm características comuns, tais como uma interface gráfica do usuário e um ambiente que suporta todos (ou a maioria) dos componentes de um estudo de simulação. Muitos ambientes de simulação incluem uma linguagem de programação de simulação, mas adotam um design gráfico semelhante a um fluxograma. (BANKS *et al.*, 2005).

Um exemplo de ambiente de simulação é o *software FlexSIM®* que possui uma interface fácil de ser utilizada e foi adotada neste trabalho. No próximo sub-tópico, esta ferramenta é apresentada com mais detalhes.

### 2.3.1.1 Simulador *FlexSIM®*

O *FlexSIM®* é uma ferramenta de análise que auxilia na tomada de decisão de engenheiros e planejadores em projetos e operações de sistemas. É um programa classificado como sendo um software de simulação de eventos discretos, ou seja, é utilizado para simular sistemas que mudam de estado em pontos discretos no tempo. Esse software possibilita a construção de um modelo em 3D de um sistema real e possui uma simulação visual excelente devido à tecnologia de animação. Além disso, possibilita estudar esse sistema em um tempo e com custo menores, quando comparado com a aplicação de um experimento na vida real (BEAVERSTOCK *et al.*, 2012).

A possibilidade de utilização do *FlexSIM®* é muito variada. Beaverstock *et al.* (2012) cita alguns dos objetivos alcançados com a simulação no software são:

Melhorar a utilização de equipamentos;

- Reduzir o tempo de espera e tamanho de filas;
- Alocar recursos de forma eficiente;
- Eliminar problemas com estoque;
- Minimizar os efeitos negativos de rejeitos e resíduos;
- Estabelecer o tamanho dos lotes ideais;
- Gerir o dia-a-dia da tomada de decisões operacionais, etc.;
- Entre outros.

O *software* de simulação *FlexSIM®* foi desenvolvido pela *FlexSIM Software Products, Inc.* e é de sua propriedade. Um modelo de simulação de qualquer sistema de fluxo ou processo pode ser criado utilizando-se a forma de construção *drag-and-drop* (arrastar e soltar) os objetos modelos. O *FlexSIM®* é usado para melhorar a eficiência da produção e reduzir os custos operacionais por meio de simulação, experimentação e otimização de sistemas de fluxo dinâmico. O *software* permite aos usuários elaborar e simular novas condições para o modelo e analisar os seus efeitos e resultados. Isso com o objetivo de encontrar formas de melhorar o sistema que está sendo estudado. Os resultados de cada simulação podem ser analisados

graficamente através de animação 3-D e através de relatórios e gráficos estatísticos, que são também úteis na comunicação dos resultados de um modelo para ambos os públicos técnicos e não técnicos (BANKS *et al.*, 2005).

Inserido no *software FlexSIM*®, há diversas funções para a elaboração de uma simulação mais confiável. Uma dessas ferramentas é o *software Expertfit*® que identifica as “melhores” distribuições de probabilidade que se encaixam nos dados a serem utilizados na simulação. Também informa para o analista se a distribuição é boa o bastante para ser usada no modelo de simulação. Após o processamento dos dados, o programa sugere quinze opções de distribuição e o grau de ajuste entre os dados e essas distribuições. A equação para ser utilizada no *software* de simulação também é dada após a escolha da distribuição (LAW, 2011).

### 2.3.2 Número de replicações

Para que um modelo pronto de simulação forneça resultados confiáveis, antes da execução final é necessário determinar o número de replicações. As replicações são repetições da simulação do modelo da mesma forma em que foi programado, gerando apenas resultados aleatórios e diferentes um dos outros. O objetivo é gerar resultados com um intervalo de confiança aceitável. Para isso é necessário determinar:

- As medidas de desempenho adequadas;
- O nível de confiança e o grau de precisão;
- O tempo de simulação, a partir da observação do sistema real;

Após determinado os dados, executa-se uma amostra-piloto. Com os resultados, calcula-se o intervalo de confiança e o número de replicações necessárias. Para validação, roda-se novamente o modelo e calcula-se o novo intervalo de confiança (BANKS *et al.*, 2005).

De acordo com Freitas (2001), para determinar o desempenho de um sistema, considera-se o valor médio de uma variável de controle, adotando um grau de precisão  $\mp r$  %, e um nível de confiança  $100(1-\alpha)$  %. Depois disso, os valores são colocados na Equação (1) para o cálculo do número de replicações.

$$n = \left( \frac{100zs}{r\bar{x}} \right)^2 \quad \text{Equação 1}$$

onde  $n$  é o número de replicações,  $z$  é o valor da variável *Normal* padronizada para o nível de confiança pretendido,  $s$  é o desvio padrão e  $\bar{x}$  a média amostral. Após calculado o valor

mínimo da amostra, calcula-se o intervalo de confiança. Se este não apresentar um limite dentro do esperado, realiza-se uma nova estimativa para  $n$ , aplicando-se a Equação (2):

$$n^* = \left( n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right) \quad \text{Equação 2}$$

onde  $n^*$  é a nova estimativa para  $n$ ;  $h$  é o semi-intervalo de confiança obtido e  $h^*$  é o semi-intervalo de confiança desejado. Para encontrar o valor de  $h$ , temos a Equação (3):

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Equação 3}$$

onde  $t$  é o valor tabelado de *t-student*;  $s$  é o desvio padrão da nova amostra e  $n$  é o número de amostras (FREITAS, 2001).

## 2.4 Trabalhos correlatos

A comunidade acadêmica tem apresentado diversos estudos sobre o tema a fim de possibilitar melhorias no sistema de filas. Alguns estudos apresentam modelos baseados na Teoria das Filas para analisar o problema de filas em caixas de supermercados, como o estudo de caso realizado por Doile (2010). O estudo teve como objetivo analisar o problema de congestão de filas em um supermercado no interior do Rio Grande do Sul, utilizando-se da Teoria das Filas. Morabito e Lima (2000), com o objetivo de comparar um novo modelo com os modelos da Teoria das Filas, realizaram um estudo de caso do sistema de filas de um supermercado do interior de São Paulo.

Uma outra forma de analisar esses sistemas se dá através da simulação. A simulação facilita a criação de cenários e gera resultados mais precisos e confiáveis. Da Silva e Magalhães (2005) utilizaram a simulação em seu trabalho através do *software* ARENA a fim de estudar o funcionamento do atendimento e das filas de uma agência bancária. Outro trabalho, realizado por Soares *et al* (2008), utilizou o método de simulação com o objetivo de minimizar as filas de uma agência de correios.

No caso específico de sistemas de filas em caixas de autoatendimento, foram encontrados poucos trabalhos nacionais. Isso se dá, em partes, porque a tecnologia dos autoatendimentos em supermercados está começando a ser implantada no Brasil. Na rede acadêmica internacional, há diversos estudos sobre essa tecnologia, como ela influencia na satisfação e no comportamento do consumidor (DABHOLKAR, BOBBITT e LEE, 2013), e

qual tem sido a preferência do cliente, o atendimento no caixa comum ou a utilização dos autoatendimentos (OPARA-NADI, 2005).

## **2.5 Considerações finais do capítulo**

Os estudos preliminares apresentados neste capítulo foram de grande importância para a continuação do trabalho, pois forneceram embasamento teórico e metodológico para a realização do estudo. Além disso, essa revisão da bibliografia esclarece ao leitor os principais conceitos e termos técnicos que serão abordados durante o trabalho. A busca por trabalhos relacionados ao tema também foi interessante para identificar as mais recentes obras científicas e como sucedeu a realização das mesmas.

### 3 METODOLOGIA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho é o estudo de caso, por permitir a analisar um elemento de forma mais detalhada e favorecer a criação de experiências de um sistema real.

O estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes... Finalmente, são realizados experimentos quando o pesquisador pode manipular o comportamento direta, precisa e sistematicamente. (YIN, 2001, p. 27)

Esse método viabiliza o estudo do funcionamento da Teoria das Filas em sistemas reais e possibilita a experimentação de diversos cenários por meio da simulação nesses mesmos sistemas. O conceito da Teoria das Filas e da Simulação exigem um detalhamento dos dados do sistema em estudo. Desse modo, realizar observações e coletar dados no sistema real é imprescindível para que as informações tenham uma precisão admissível.

O presente trabalho possui abordagem de pesquisa quantitativa. Fonseca (2002) caracteriza uma pesquisa quantitativa quando há necessidade de recorrer à linguagem matemática para descrever relações entre variáveis, causas de um evento, etc. Centrada na objetividade, a pesquisa quantitativa considera que a realidade é compreendida com base em dados brutos, minuciosamente coletados. As amostras coletadas geralmente são consideradas representativas da população em estudo (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Os passos para a realização do trabalho podem ser observados no fluxograma da Figura 3 e estão detalhados a seguir:

1. Primeiramente, baseando-se na Teoria das Filas, definiram-se as principais variáveis de estudo: intervalo de chegada e tempo de atendimento.
2. Realizou-se a coleta de dados, detalhada no próximo sub-tópico.
3. Por seguinte, um modelo conceitual foi elaborado baseado nos dados coletados. Inclui a descrição da empresa em que o sistema está inserido, um fluxograma do sistema e detalhes importantes da modelagem.

4. Para identificar uma distribuição de probabilidade para os dados coletados, utilizou-se a ferramenta *Expertfit*® presente no *software FlexSIM*®.
5. A fim de se obterem resultados confiáveis, com fundamentos na Teoria das Filas, calculou-se as principais variáveis do sistema de filas através da planilha eletrônica de McClain(2007).
6. Antes da simulação, definiram-se alguns detalhes, como a quantidade de vezes necessárias para realizar a simulação.
7. O modelo computacional foi construído no programa *FlexSIM*®, de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos.
8. Para que os dados dos modelos sejam confiáveis, o modelo computacional foi verificado e validado.
9. Por fim, foi realizada a simulação computacional através do *software FlexSIM*® e com os resultados obtidos pôde-se extrair algumas conclusões.

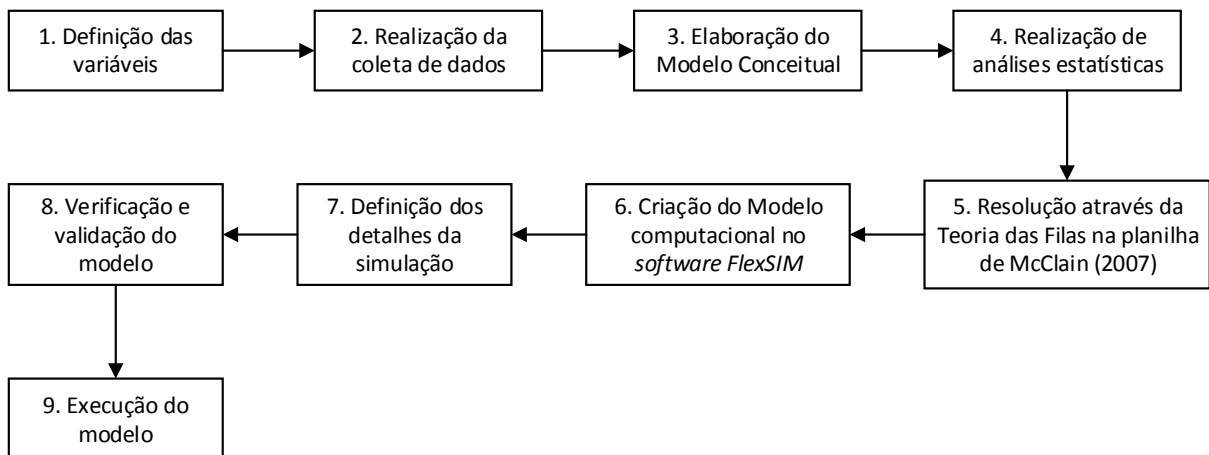


Figura 3: Fluxograma da metodologia do trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 Coleta de dados

Como parte da modelagem de sistemas, a coleta dos dados ocorreu em um supermercado na região de Maringá - PR. A coleta foi realizada nos dias e horários apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Período da coleta de dados

<b>Coleta de dados</b>				
<b>Dia</b>	30/10/2015	31/10/2015	20/11/2015	21/11/2015
<b>Horário</b>	18h - 19h30	18h - 20h	18h - 19h30	18h - 20h
<b>Dia da semana</b>	Sexta-feira	Sábado	Sexta-feira	Sábado

Fonte: Elaborada pelo autor.

A escolha dos dias e horários baseou-se em informações cedidas pelo gerente, que afirmou serem esses os horários mais congestionados durante a semana. A tabela 3 mostra o modelo da ficha utilizada para a coleta de dados. As variáveis coletadas foram o horário de chegada do cliente na fila, o horário de atendimento (horário em que se iniciou o atendimento) e o horário de saída do cliente do sistema de atendimento. Também foram coletados os caixas que foram utilizados e a quantidade de auxílio que operadores de caixas e clientes receberam de funcionários.

Tabela 3: Modelo para a coleta de dados

<b>Caixa de Autoatendimento</b>				
Horário de chegada na fila	Horário de atendimento	Horário de saída	Caixa n°	Auxílio de funcionário
<b>Caixa-rápido</b>				
Horário de chegada na fila	Horário de atendimento	Horário de saída	Caixa n°	Auxílio de funcionário

Fonte: Elaborada pelo autor.

Chwif e Medina (2010) citam Vicent (1998) sobre a construção de uma amostra. Mencionam que o tamanho da amostra deve ser entre 100 e 200. Amostras com menor de 100 dados podem comprometer a identificação da distribuição correta. E amostras com mais de 200 dados não trazem ganhos significativos ao trabalho. Levando em consideração o que foi mencionado pelos autores, coletou-se no total 180 dados do caixa de autoatendimento, 498 dados do caixa-rápido, e 515 dados de chegada de clientes na fila do caixa-rápido (ANEXO A).



## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo apresenta-se o contexto em que a empresa estudada está inserida, as considerações do modelo conceitual, bem como as análises dos dados coletados através do *software Experfit*.

Após isso, é apresentada a análise dos dados baseando-se nos cálculos da Teoria das Filas. Utilizou-se a planilha eletrônica elaborada por Mclain (2003) para facilitar os cálculos.

E por fim, a realização da simulação através do *software FlexSIM®* também é apresentada e inclui a elaboração, verificação e validação do modelo, e a determinação do tempo de simulação e da quantidade de replicações.

### 4.1 Descrição da empresa

O estudo foi realizado num supermercado de uma rede paranaense. Esta rede iniciou suas atividades em Julho de 1974 na cidade de Cascavel, no Paraná. Desde então, vem expandindo-se e hoje detém 35 lojas, 6 autosserviços, 2 centros de atacado e 1 centro de distribuição. Além disso, a rede é considerada a sétima maior varejista de autosserviço do Brasil e a maior do Paraná. Suas lojas estão espalhadas em 13 cidades do Paraná e em 2 do estado de São Paulo, e conta com mais de 10.000 funcionários.

Esta rede de lojas foi a primeira a iniciar o sistema de autoatendimento no país, em novembro de 2012, tendo seus primeiros caixas instalados em Londrina. Hoje, dispõe de 16 caixas de autoatendimento distribuídos entre Curitiba, Londrina e Maringá.

A loja em estudo, situada na cidade de Maringá, conta com quatro caixas de autoatendimento, cinco caixas-rápidos, quatorze caixas normais, e três caixas preferenciais. Neste caso, os únicos caixas estudados foram o caixa de autoatendimento e o caixa-rápido, pois atendem os clientes com os mesmos requisitos, no que diz respeito a pagamento rápido de número limitado de itens por compra.

### 4.2 Considerações do modelo

Os principais componentes do sistema são os clientes e os caixas-rápidos ou os de autoatendimento. O cliente ao procurar os caixas, é diretamente atendido se não houver

ninguém usando algum dos sistemas, caso contrário deve esperar em uma fila. Ao chegar na fila, o cliente deve esperar até que haja um caixa livre para atendê-lo. Esse fluxo é mostrado na Figura 4:

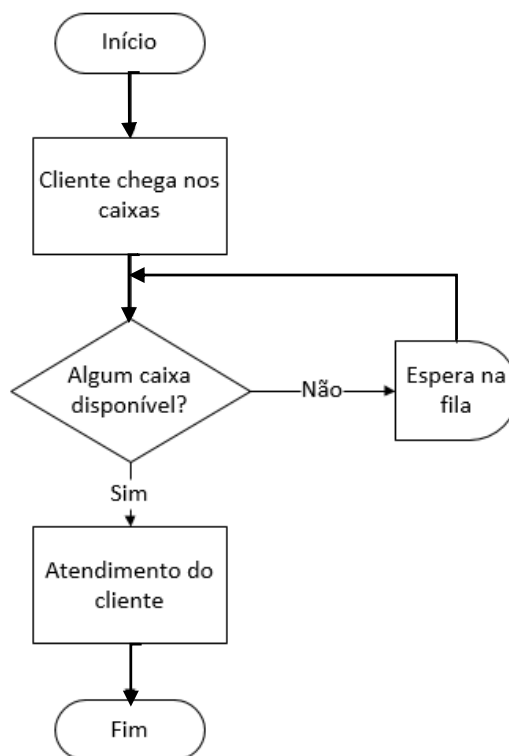


Figura 4: Fluxograma do sistema de filas

Fonte: O autor

O novo sistema de caixas de autoatendimento possui o mesmo formato dos caixas-rápidos: os clientes são dispostos em uma única fila que atende a quatro caixas em funcionamento. A estrutura da disciplina das filas, tanto do caixa-rápido quanto do autoatendimento, é do tipo FIFO, em que o primeiro cliente que chega é o primeiro a ser atendido. Como não havia restrições na quantidade de clientes, a população de clientes foi considerada infinita. Dessa forma, o sistema do modelo foi considerado como sendo de uma fila e vários canais com população infinita.

Nos caixas-rápidos, existe a possibilidade de funcionar até cinco caixas ao mesmo tempo. Para isso o supermercado possui funcionários capazes de desempenhar a função de operador quando necessário. Isso ocorre principalmente em dias/horários mais congestionados, quando há aumento da demanda. Como durante a coleta apenas quatro dos caixas entraram em funcionamento mesmo com a grande demanda da fila, foi considerado que existiam apenas

quatro caixas. Assim, foi considerada a quantidade de servidores igual a quatro, a mesma quantidade para o autoatendimento. O funcionamento dos caixas-rápidos variou de acordo com a demanda da fila, desse modo, quando a demanda diminuiu, apenas dois caixas permanecem em funcionamento.

Com o intuito de agilizar o processo de pagamento para clientes com poucas compras, os dois tipos de caixas só admitem clientes com até quinze itens. Os caixas-rápidos dispõem de pagamentos em dinheiro ou em cartão de crédito ou débito. No caso dos caixas de autoatendimento, a única opção é o pagamento em cartão, o que pode influenciar no tempo de atendimento do cliente e no tempo total gasto no sistema.

Nos caixas-rápidos, existe um operador para cada caixa e todos são auxiliados por um outro funcionário em casos de falhas ou necessidade de assistência, como por exemplo falta de troco ou falta de etiqueta no produto. Os caixas de autoatendimento são operados pelos próprios clientes que são auxiliados por um funcionário quando houver falhas ou dúvidas. Ao analisar a coleta de dados, deu-se que 41% dos clientes precisaram de ajuda de funcionário no caixa de autoatendimento. Isso não será levado em conta na modelagem, apenas na análise dos resultados

Os tempos de atendimento dos caixas-rápidos que ultrapassaram muito o tempo normal de atendimento por conta de alguma falha foram descartados. Como muitos clientes solicitaram auxílio na hora de utilizar o autoatendimento, foram desconsiderados apenas os tempos totais de atendimento que ultrapassaram excessivamente a média.

Os dados de entrada do modelo foram considerados baseados na Teoria das Filas, sendo eles:

- Horário de Chegada na fila;
- Horário do início do atendimento;
- Horário final do atendimento.

Com os dados do horário de chegada calculou-se a Taxa Média de Chegada de clientes na fila. Visto que, no caso dos caixas de autoatendimento, havia número insuficiente de clientes para que se formasse fila, a taxa de chegada na fila será considerada de acordo com o momento de atendimento dos clientes.

### 4.3 Análise estatística dos dados

Após coletados, os dados foram inseridos no *Microsoft Office Excel*® a fim de que se obtivesse o tempo de processo dos atendimentos e o intervalo de chegada entre os clientes.

Nesta etapa, aborda-se a definição da distribuição de probabilidade que mais se ajustam aos dados coletados, através da ferramenta escolhida: o *software ExpertFit*®, incluída no *software FlexSIM*® 7.5.4. Em seguida, demonstra-se a aplicação de testes de aderência para verificar a qualidade na escolha da distribuição. Os testes aplicados foram o *Qui-quadrado* e o *Kolmogorov-Smirnov (K-S)*, os quais estão presentes na ferramenta *ExpertFit*®.

#### 4.3.1 Distribuição do Intervalo de Chegadas na fila

Ao inserir os dados na ferramenta *ExpertFit*®, foi apresentada uma análise resumida dos Intervalos de chegadas nas filas. Na Tabela 4 pode-se verificar o resumo dos dados que foram processados.

Tabela 4: Resumo dos dados do Intervalo entre Chegadas

Intervalo entre Chegadas		
	Caixa rápido	Autoatendimento
<b>Quantidade de amostras</b>	515	178
<b>Intervalo mínimo</b>	1 s	1 s
<b>Intervalo máximo</b>	290 s	756 s
<b>Média</b>	41,56 s	117,5 s
<b>Mediana</b>	31 s	85 s
<b>Variância</b>	1570,6	12913,8
<b>Coefficiente de variância</b>	0,95	0,97

Fonte: Adaptado do *Software Expertfit*.

O Tempo de chegada dos clientes na fila foi coletado apenas para os caixas-rápidos pois, como dito anteriormente, não houve clientes suficientes para formar fila nos caixas de autoatendimento. Assim, os dados considerados para calcular o Intervalo entre as Chegadas dos caixas de autoatendimento foi o horário de início de atendimento do cliente no caixa.

O programa *Expertfit*® gerou as três melhores distribuições que mais se ajustam aos dados (ANEXO B). Cada distribuição teve um índice de correlação com os dados, como pode-se observar na Tabela 5. A comparação entre as distribuições estatísticas sugeridas e a distribuição dos dados pode ser observada melhor nos gráficos contidos nas Figuras 5 e 6.

Tabela 5: Correlação das distribuições do Intervalo entre chegadas

Intervalo entre chegadas		
Tipo de Caixa	Distribuições	Correlação (%)
Caixa-rápido	Beta	97,37
	Weibull (E)	89,47
	Weibull (E)	82,89
Autoatendimento	Pearson Type VI	97,06
	Gamma(E)	94,12
	Gamma	91,18

Para o caixa-rápido as distribuições sugeridas foram: *Beta*, *Weibull (E)* e *Weibull* (Figura 5).

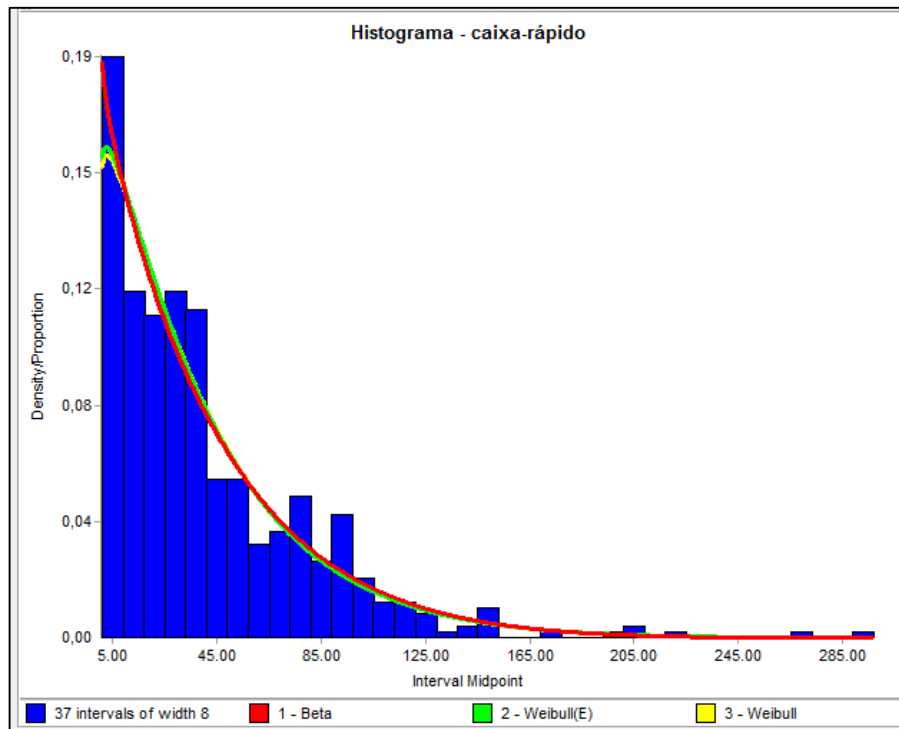


Figura 5: Distribuições para o Intervalo de Chegada do caixa-rápido

Fonte: *Software Expertfit*

Para o autoatendimento as distribuições sugeridas foram *Pearson Type VI*, *Gamma (E)* e *Gamma* (Figura 6).

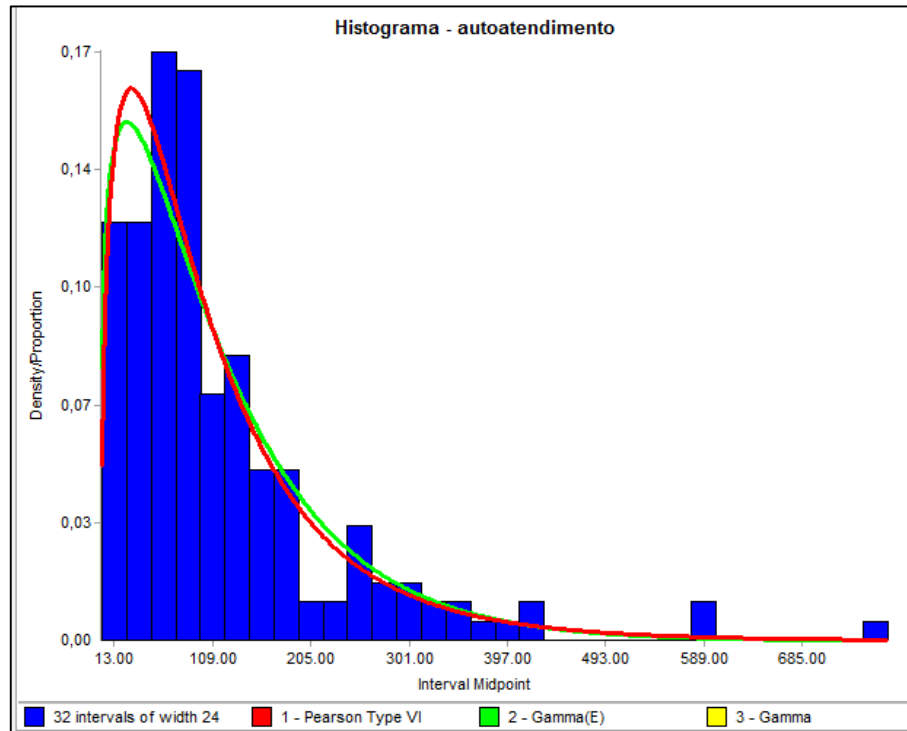


Figura 6: Distribuições para o Intervalo de chegada do autoatendimento

Fonte: *Software Expertfit*

A Distribuição escolhida foi a que contém correlação maior com os dados (Tabela 5). Na Tabela 6 observa-se as distribuições do Intervalo de chegadas escolhidas para cada tipo de caixa. O programa também gera uma equação para ser utilizada durante a simulação do sistema, o que possibilita gerar resultados mais precisos.

Tabela 6: Distribuições para a simulação

Dados de Entrada			
Tipo de caixa	Variáveis	Distribuição de probabilidade	Equação para simulação
Caixa-rápido	Intervalo de Chegadas	BETA	beta (0.437, 537.198, 0.973, 11.680, <stream>)
Autoatendimento	Intervalo de Chegada	PEARSON TYPE 6	pearsont6(0.0, 625.183, 1.475, 8.850, <stream>)

Fonte: Adaptado do *software Expertfit*.

Após encontrar as distribuições dos Intervalos de Chegada, aplicou-se o Teste do *Qui-Quadrado* e o Teste *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* para ambos os tipos de caixa. Considera-se que a hipótese nula verificada nos testes é que a distribuição escolhida define o comportamento dos dados coletados. Obteve-se como resultado que a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a

distribuição testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados (ANEXO B).

#### 4.3.2 Distribuição do Tempo de atendimento

Da mesma forma que os dados do Intervalo de chegadas, os dados do Tempo de Atendimento foram inseridos na ferramenta *ExpertFit*® que apresentou uma análise resumida das informações dos sistemas. Na Tabela 7 pode-se verificar o resumo dos dados que foram processados.

Tabela 7: Resumo dos dados

	Tempo de atendimento	
	Caixa rápido	Autoatendimento
<b>Quantidade de amostras</b>	498	180
<b>Tempo mínimo observado</b>	5	62 s
<b>Tempo máximo observado</b>	381	694
<b>Média</b>	103,6	225,5
<b>Mediana</b>	96	187,5
<b>Variância</b>	3044,3	12138,73
<b>Coefficiente de variância</b>	0,53	0,49

Fonte: Adaptado do *software Expertfit*.

Para obter o tempo de atendimento, foram coletados, de ambos os tipos de caixas, o momento em que o cliente é atendido e o momento em que o cliente sai do sistema.

Do mesmo modo que o programa *Expertfit*® gerou as três melhores distribuições que mais se ajustam aos dados do Intervalo de chegadas, o programa *Expertfit*® também gerou para os dados de Tempo de atendimento (ANEXO C). Cada distribuição tem um índice de correlação com os dados, como pode-se observar na Tabela 8. A comparação entre as distribuições estatísticas sugeridas e a distribuição dos dados pode ser observada melhor nos gráficos contidos nas Figuras 7 e 8.

Tabela 8: Correlação das distribuições do Tempo de atendimento

Tempo de atendimento		
Caixa	Distribuições	Correlação (%)
<b>Caixa-rápido</b>	Inverse gaussian (E)	95,00
	Random Walk (E)	93,33
	Johson SB	89,17

<b>Autoatendimento</b>	Gamma	98,96
	Gamma(E)	94,79
	Beta	91,67

Para o caixa-rápido as distribuições sugeridas foram: *Gamma*, *Gamma(E)* e *Beta* (Figura 7).

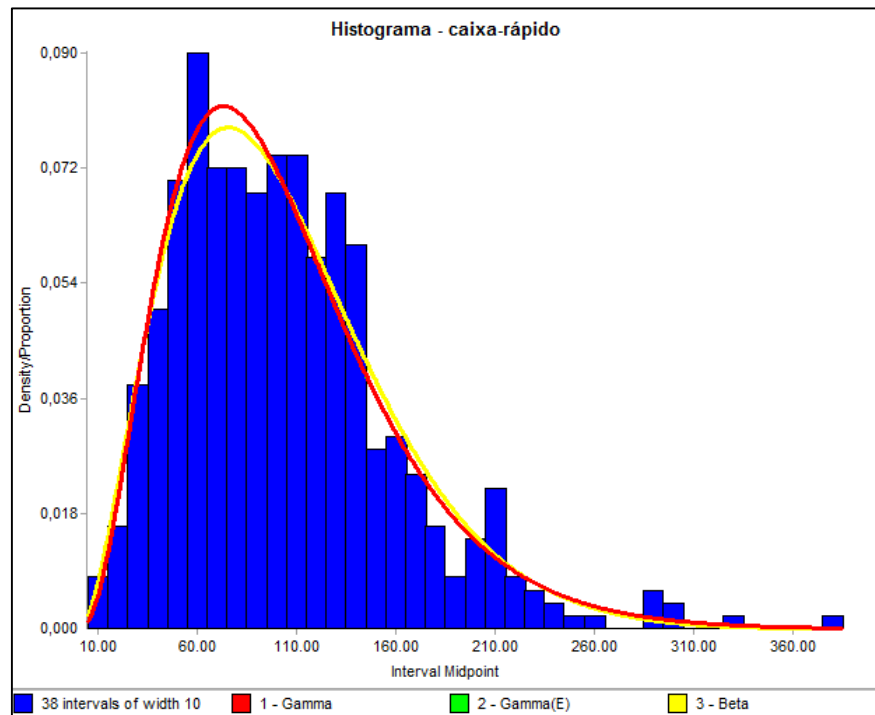


Figura 7: Distribuições para o Tempo de atendimento do caixa-rápido

Fonte: *Software Expertfit*

Para o autoatendimento as distribuições sugeridas foram: *Inverse Gaussian (E)*, *Random Walk (E)* e *Johnson SB* (Figura 8).



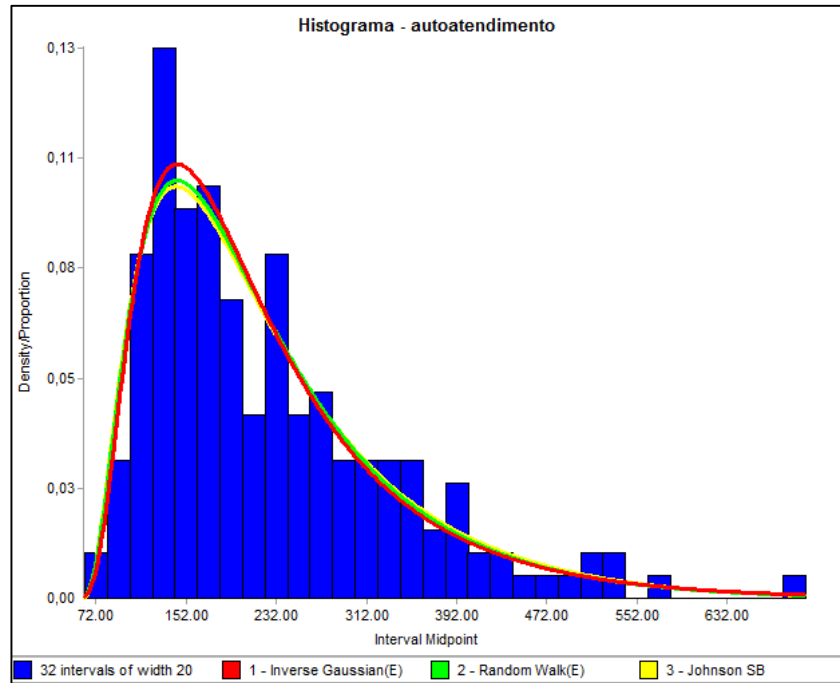


Figura 8: Distribuições para o Tempo de atendimento do autoatendimento

Fonte: *Software Expertfit*

A Distribuição escolhida foi a que contém correlação maior com os dados (Tabela 8). Na Tabela 9 observa-se as distribuições dos Tempos de atendimento escolhidas para cada tipo de caixa. O programa também gera uma equação para ser utilizada durante a simulação do sistema, o que possibilita gerar resultados mais precisos.

Tabela 9: Distribuições dos Tempos de Atendimento.

Dados de Entrada			
Tipo de caixa	Variáveis	Distribuição de probabilidade	Equação para simulação
Caixa -rápido	Tempo de Atendimento	GAMMA	gamma(0.000, 29.986, 3.454, <stream>)
Autoatendimento	Tempo de Atendimento	INVERSE GAUSSIAN	inversegaussian(39.947, 185.514, 463.796, <stream>)

Fonte: Adaptado do *Software Expertfit*.

Após encontrar as distribuições dos Intervalos de Chegada, aplicou-se o Teste do *Qui-Quadrado* e o Teste *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* para ambos os tipos de caixa. Considera-se que a hipótese nula verificada nos testes é que a distribuição escolhida define o comportamento dos dados coletados. Obteve-se como resultado que a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a

distribuição testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados (ANEXO C).

#### 4.4 Aplicação da Teoria das Filas

Com base nos dados coletados nos finais de semana do mês de outubro e novembro de 2015 dos caixas-rápidos e dos caixas de autoatendimento, retirou-se algumas informações dos sistemas de filas (Tabela 10). Essas informações foram calculadas de acordo com as equações apresentadas na Revisão da bibliografia sobre a Teoria das Filas.

Tabela 10: Variáveis do sistema de filas.

	<b>Caixa-rápido</b>	<b>Autoatendimento</b>
<b>Ritmo médio de chegadas (<math>\lambda</math>)</b>	1,43 clientes/min	0,51 clientes/min
<b>Intervalo médio de chegadas (IC)</b>	0 min 42 s	1 min 58 s
<b>Ritmo médio de atendimento (<math>\mu</math>)</b>	0,58 clientes/min	0,27 clientes/min
<b>Tempo médio de Atendimento (TA)</b>	1 min 44 s	3 min 45 s
<b>Quantidade de servidores (c)</b>	4	4
<b>Taxa de utilização dos servidores (<math>\rho</math>)</b>	61,6%	47,2%
<b>Número médio de clientes no atendimento (NA)</b>	2,47	1,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Transformando os valores em nível de horas, observa-se que para o caixa-rápido chegam na fila aproximadamente 86 clientes por hora, enquanto no autoatendimento chegam 31 clientes por hora. Em relação ao Tempo de Atendimento temos que cada um dos 4 caixas dos caixas-rápidos atende em torno de 35 pessoas por hora. Já no caso dos caixas de autoatendimento, por volta de 17 clientes são atendidos por hora. Com o valor da taxa de utilização dos atendentes, pode-se dizer que os atendentes dos caixas-rápidos ficam em média 61,6% do tempo trabalhando e 38,4% livres. Para o autoatendimento, os caixas ficam ocupados 47,2% do tempo e 52,8% desocupados.

Para determinar o Número Médio de clientes esperando na fila e o Tempo Médio de espera utilizou-se a planilha pré-programada em um trabalho de McClain (2007) (ANEXO D). A planilha foi desenvolvida para realizar cálculos de filas com ou sem limite de clientes em espera. Além disso, McClain (2007) considera que o Tempo de Chegada segue a distribuição

de Poisson e o Intervalo de Chegada segue a distribuição Exponencial. É considerado que os servidores são idênticos.

Considerou-se que os sistemas de filas em estudo não possuem limites de clientes em espera. Inserida a quantidade de servidores ( $c$ ), o ritmo de chegada ( $\lambda$ ) e a taxa de atendimento de cada servidor ( $\mu$ ), obteve-se os seguintes resultados (Tabela 11):

Tabela 11: Dados sobre os sistemas de filas

	<b>Caixa-rápido</b>	<b>Autoatendimento</b>
<b>Número médio de clientes na fila (NF)</b>	0,50	0,13
<b>Tempo médio de permanência na fila (TF)</b>	0 min 21 s	0 min 16 s
<b>Taxa de utilização dos servidores (<math>\rho</math>)</b>	61,64%	47,22%
<b>Número médio de clientes no atendimento (NA)</b>	2,47	1,89
<b>Número médio de clientes no sistema (NS)</b>	2,96	2,02
<b>Tempo médio de permanência no sistema (TS)</b>	2 min 12 s	3 min 58 s

Fonte: Adaptado de McClain (2007).

Considerando então que o Intervalo de Chegada segue uma distribuição Markoviana, tem-se que o NF do caixa rápido é de menos de 1 pessoa, e no caixa de autoatendimento tende a 0(zero). Observou-se que as distribuições adotadas por McClain (2007) não representam o o sistema estudado, pois durante a coleta de dados observou-se um grande acúmulo de pessoas na fila do caixas-rápido. Deste modo, justifica-se a necessidade de encontrar uma distribuição mais adequada para os dados coletados.

Para as distribuições básicas como as adotadas por McClain (2007) são facilmente encontradas em livros, equações para resolução do problema. Como pode ser observado nas análises estatísticas dos dados (sub-tópico 4.3), os modelos do sistema em estudo não seguem distribuições básicas. A partir desta constatação, da identificação das distribuições estatísticas e da complexidade do sistema, concluiu-se a necessidade de utilizar a simulação computacional, através do *Software FlexSIM®*, para resolver o problema de forma mais efetiva.

Tendo as distribuições de probabilidade e a definição das características dos sistemas de filas do caixa-rápido e do autoatendimento no sub-tópico 4.2, definiu-se o sistema de acordo com a notação de Kendall-Lee (Tabela 12).

Tabela 12: Notação de Kendall-Lee para os sistemas em estudo.

	<b>Caixa-rápido</b>	<b>Autoatendimento</b>

<b>Distribuição do Tempo de Chegada</b>	BETA	PEARSON TYPE 6
<b>Distribuição do tempo de Atendimento</b>	GAMMA	INVERSE GAUSSIAN
<b>Número de servidores</b>	4	4
<b>Disciplina da fila</b>	FIFO	FIFO
<b>Tamanho da população</b>	$\infty$	$\infty$
<b>Modelo</b>	BETA/GAMMA/4/FIFO/ $\infty$	PEARSONT6/INVERSEGAUSSIAN/4/FIFO/ $\infty$

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5 Simulação no software *FlexSIM*®

Após definidos os principais detalhes do modelo, esta seção apresenta a programação construída no software *FlexSIM*® 7.5.4. Demonstra-se também a verificação e a validação do modelo para assegurar que a simulação construída funcionou sem erros e simulou corretamente o sistema real. Com o intuito de obter resultados válidos, isto é, com um nível de confiança conhecido, determinou-se a quantidade de replicações necessárias.

##### 4.5.1 Montagem do modelo

A construção do modelo de simulação no *FlexSIM*® foi realizada utilizando a técnica *drag-and-drop* (arrastar e soltar) nos elementos constituintes do modelo de construção. Para a representação do sistema de caixas-rápidos (Figura 9) foram utilizados os seguintes objetos:

- 1 *Source*: esse objeto é responsável por criar os clientes. Nele é atribuído o Intervalo de Chegadas fornecido pelo *Expertfit*;
- 1 *Queue*: nesse objeto define-se o fluxo da fila. Este segue a disciplina FIFO e envia uma mensagem da quantidade de clientes na fila para os caixas 3 e 4. Os caixas 1 e 2 recebem os clientes de acordo com a disponibilidade;
- 4 *Processors*: esse objeto representa os caixas-rápidos onde é atribuído o Tempo de Atendimento fornecido pelo *Expertfit*. O caixa 3 ao receber a mensagem da quantidade de clientes na fila abre se esta for maior que 3 e mantém fechado quando for menor. O caixa 4 segue o mesmo padrão com a diferença que abre apenas quando houver 5 pessoas ou mais na fila;

- 4 *Operators*: esses objetos representam os atendentes que operam os caixas;
- 1 *Sink*: esse objeto finaliza o fluxo de clientes no sistema.

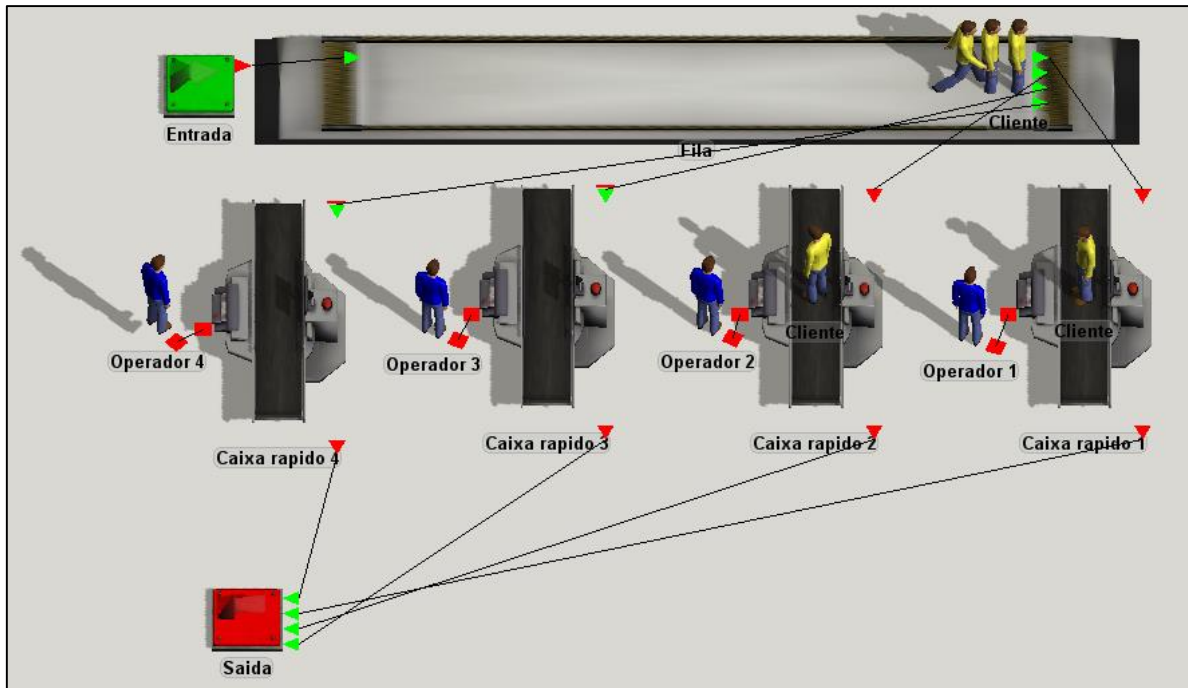


Figura 9: Modelo de simulação dos caixas-rápidos

Fonte: *Software FlexSIM*

Para a representação do sistema de autoatendimento (Figura 10) foram utilizados os seguintes Objetos:

- 1 *Source*: esse objeto é responsável por criar os clientes. Nele é atribuído o Intervalo de Chegadas fornecido pelo *Expertfit*;
- 1 *Queue*: nesse objeto define-se o fluxo da fila. Este segue a disciplina FIFO e envia os clientes para o primeiro caixa disponível;
- 4 *Processors*: esse objeto representa os caixas de autoatendimento onde é atribuído o Tempo de Atendimento fornecido pelo *Expertfit*.
- 1 *Sink*: esse objeto finaliza o fluxo de clientes no sistema.

O tempo de execução (*Run Time*) foi determinado para parar no tempo de 2h de simulação, ou seja, de 7200 segundos. A definição das replicações foi realizada através da função *Experimenter*.

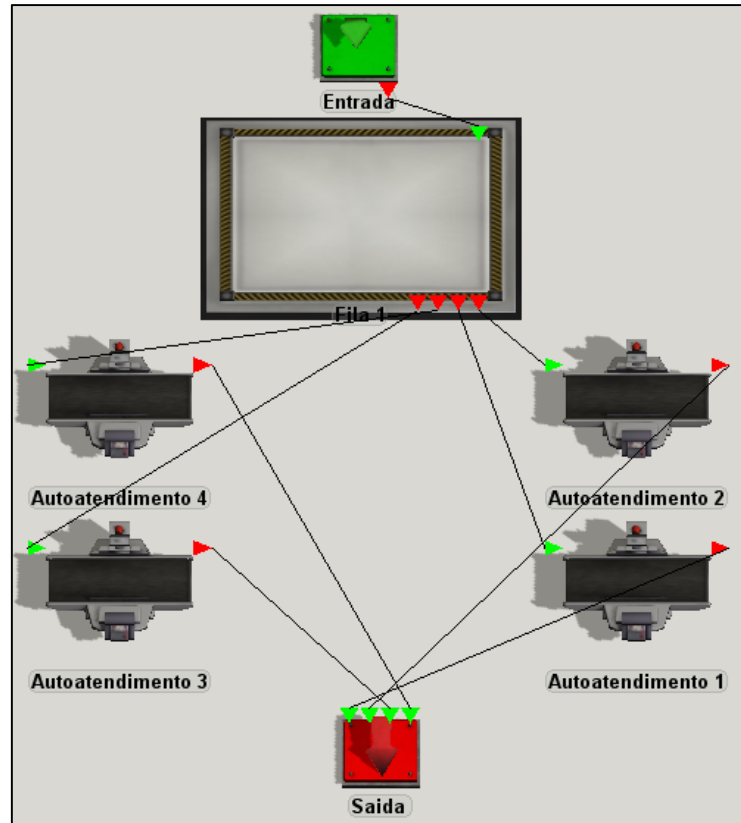


Figura 10: Modelo de simulação do autoatendimento.

Fonte: *Software FlexSIM*

#### 4.5.2 Verificação e validação do modelo

Para verificar se o modelo de simulação está seguindo corretamente o que foi planejado no modelo conceitual, realizou-se verificações em todo o processo de montagem. O modelo programado é um modelo simples em que a identificação de erros e incoerência na simulação puderam ser facilmente notados e corrigidos. Comparando o modelo computacional com o modelo conceitual, certifica-se que o modelo programado atende corretamente às considerações planejadas no modelo conceitual. Portanto, pode-se afirmar que o modelo foi verificado.

Com o intuito de validar o modelo computacional, comparou-se os resultados gerados pela simulação com os cálculos realizados da Teoria das Filas. A comparação pode ser vista na Tabela 13.

Tabela 13: Comparação dos dados para validação do modelo.

	TEORIA		SIMULAÇÃO	
	Caixa-rápido	Autoatendimento	Caixa-rápido	Autoatendimento
<b>Ritmo médio de chegadas (<math>\lambda</math>)</b>	1,43 clientes/min	0,51 clientes/min	1,45 clientes/min	0,49 clientes/min
<b>Tempo médio de Atendimento (TA)</b>	1 min 44 s	3 min 45 s	1 min 44 s	3 min 52 s
<b>Quantidade de servidores (c)</b>	4	4	4	4
<b>Taxa de utilização dos servidores (<math>\rho</math>)</b>	61,6%	47,2%	61,10%	45,90%
<b>Número médio de clientes no atendimento (NA)</b>	2,47	1,89	2,44	1,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao comparar os dados da calculados da Teoria com os dados resultantes da simulação, verificou-se que os dados encontram-se dentro do limite de variação gerado pelo modelo computacional. Assim, concluiu-se que o modelo computacional está validado.

#### 4.5.3 Determinação do número de replicações

Com o intuito de obter confiança nos resultados gerados pelo *FlexSIM*® e manter a simulação mais próxima possível do funcionamento do sistema real, tornou-se necessário definir a quantidade de replicações a serem simuladas. O objetivo de simular o sistema é compreender seu comportamento ao longo de um período de tempo predeterminado e com duração fixa. Desse modo, o tempo de simulação definido foi de 2 (duas) horas, pois a coleta de dados ocorreu em um intervalo de 1,5 hora e 2 horas.

No caso em estudo, definiu-se o intervalo de confiança como sendo de 90%. Desse modo,  $\alpha$  é igual a 10%. Além disso, o nível de precisão escolhido foi de 10% em torno da média amostral. Realizou-se 10 replicações como execução piloto para encontrar o valor da média e o desvio padrão da amostra. A variável de desempenho escolhida foi o Número Médio de Clientes na fila do caixa-rápido. As replicações foram realizadas através da Função *Experimenter* inserida no *software FlexSIM*®. Os valores da Média de Clientes na fila dos caixas-rápidos podem ser vistos na Tabela 14.

Tabela 14: Dados do Número de Clientes na fila de 10 replicações.

	Média de clientes na fila
<b>Amostra 1</b>	2,7

<b>Amostra 2</b>	1,7
<b>Amostra 3</b>	1,4
<b>Amostra 4</b>	1,8
<b>Amostra 5</b>	1,8
<b>Amostra 6</b>	1,5
<b>Amostra 7</b>	3,1
<b>Amostra 8</b>	1,2
<b>Amostra 9</b>	2,0
<b>Amostra 10</b>	2,2
<b>Média</b>	<b>1,93</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,60</b>

Fonte: Adaptado do software *FlexSIM*.

Após as 10 replicações, o valor obtido para a média ( $\bar{x}$ ) foi 2,00 e para o Desvio Padrão ( $s$ ) foi 0,51. Para o nível de confiança de 90%, encontrou-se na tabela de distribuição Normal o valor de Z sendo de 1,645. Dessa forma, ao colocar os valores da Equação (1) obteve-se que o número de replicações necessárias mínimo foi de 18 replicações.

$$n = \left( \frac{100zs}{r\bar{x}} \right)^2 = \left( \frac{100 \cdot 1,645 \cdot 0,51}{10 \cdot 2} \right)^2 = 17,6 \quad \text{Equação 2}$$

Para o valor da média obteve-se o intervalo de (1,71; 2,30). Dessa forma o semi-intervalo  $h$  é de 0,3 que se apresenta fora do limite desejado de 10% da média ( $h^* = 0,2$ ). Assim, utilizou-se a Equação 2 para identificar o novo número de replicações.

$$n^* = \left( n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right) = \left( 10 \left( \frac{0,3}{0,2} \right)^2 \right) = 22,5 \quad \text{Equação 2}$$

Assim, o novo número de replicações é 23. Para verificar se o intervalo encontra dentro do limite, executou-se as 23 replicações e obteve-se: média igual a 1,91, o intervalo de (1,74; 2,08) e desvio padrão de 0,47 (Imagem X). O novo  $h$  é de 0,17 sendo este dentro do limite desejado de 10% da média ( $h^* = 0,2$ ). Em suma, o número de mínimo de replicações necessárias é de 23 replicações.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo se apresenta os resultados do cenário real após a execução do modelo. Além disso, com o objetivo de melhorar o desempenho das filas, realizou-se um experimento com um cenário hipotético e os resultados obtidos também são apresentados.

### 5.1 Cenário Real

Após a simulação do modelo desenvolvido, obtiveram-se dados das principais variáveis que foram utilizadas para comparação dos sistemas de filas (caixa-rápido e autoatendimento). Os resultados são as médias das variáveis de 23 replicações executadas na simulação (ANEXO E).

Tabela 15: Dados referentes às filas.

Variáveis da Fila	Caixa-rápido	Autoatendimento
Ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ )	1,445 clientes/min	0,494 clientes/min
Número médio de clientes na fila (NF)	1,91	0,089
Número máximo de clientes na fila (NMF)	6,91	2,26
Tempo médio de permanência na fila (TF)	1 min 19 s	0 min 10 s

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

Em relação ao ritmo de chegada presente na Tabela 15, no caixa-rápido chegam cerca de 1,45 clientes enquanto no autoatendimento chegam 0,5 clientes. No caso das variáveis referentes as filas, a espera no caixa rápido dura em média 1 minuto e 19 segundos, e havia em média 2 pessoas presentes na fila, podendo ter no máximo 7 pessoas na fila. Por outro lado, foi observado na coleta de dados e demonstrado na simulação que no sistema de autoatendimento quase não havia formação de fila, sendo a quantidade de clientes na fila e o tempo de espera aproximadamente zero. Houve no máximo uma média de 0,5 pessoas na fila do autoatendimento.

Referente ao processo de atendimento, observa-se na Tabela 16 que os clientes dos caixas-rápidos gastam cerca de 1 minutos e 44 segundos no atendimento, enquanto os caixas de autoatendimento operam em média 3 minutos e 52 segundos.

Tabela 16: Dados referentes ao processo de atendimento

Variáveis do Atendimento	Caixa-rápido	Autoatendimento
Taxa de utilização dos servidores ( $\rho$ )	61,1 %	45,9 %
Tempo médio de Atendimento (TA)	1 min 44s	3 min 52 s
Número médio de clientes no atendimento (NA)	2,443	1,835

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

O critério escolhido para comparação entre o caixa-rápido e o autoatendimento foi o Tempo Total gasto pelo cliente no sistema (Tabela 17). Este tempo é a soma do Tempo Médio de Atendimento e o Tempo Médio de Espera na fila.

Tabela 17: Dados referentes ao sistema.

Variáveis do Sistema	Caixa-rápido	Autoatendimento
Número médio de clientes no sistema (NS)	4,36	1,92
Tempo médio de permanência no sistema (TS)	3 min 03 s	4 min 02 s
Quantidade total de pessoas atendidas	168,7	57,4

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

Considerando que o critério de escolha do cliente sobre qual caixa utilizar é o tempo médio total gasto no sistema, o resultado da simulação apresentou que o caixa rápido demonstrou ser o mais eficiente, com tempo médio de permanência igual a 3 minuto e 03 segundos. Apesar de não haver formação de fila no caixa de autoatendimento, a soma do Tempo Médio de Espera na fila e o Tempo Médio de Atendimento do caixa-rápido ainda foi menor.

Analisando novamente a Tabela 17, verificou-se que ao final do tempo total de 2 horas de simulação, a quantidade de clientes que saíram do sistema de autoatendimento foi, em média, de 57 pessoas contra 169 pessoas que saíram dos caixas-rápidos. Sendo a taxa de ocupação dos servidores 61,1% para o caixa-rápido e 45,9% para o autoatendimento, pode-se dizer que o sistema de caixas rápidos tem capacidade de atender em torno de 138 pessoas por hora e que no caso do Autoatendimento, a capacidade diminui para 63 pessoas por hora. Contudo, vale ressaltar que os caixa-rápidos possuem gastos com funcionários, no caso dos caixas de autoatendimento existe apenas um funcionário para auxiliar os clientes dos 4 caixas.

## 5.2 Cenário Hipotético

Com o intuito de melhorar a eficiência das filas dos caixas-rápidos e dos caixas de autoatendimento, elaborou-se um modelo hipotético dos sistemas. No cenário hipotético, determinou-se que haveria apenas uma fila e os clientes seriam distribuídos para os dois sistemas de caixas assim que houvesse um caixa livre. O objetivo é verificar como o sistema se comportaria se a distribuição de clientes fosse feita de acordo com a demanda dos caixas. O modelo computacional pode ser visto na Figura 11.

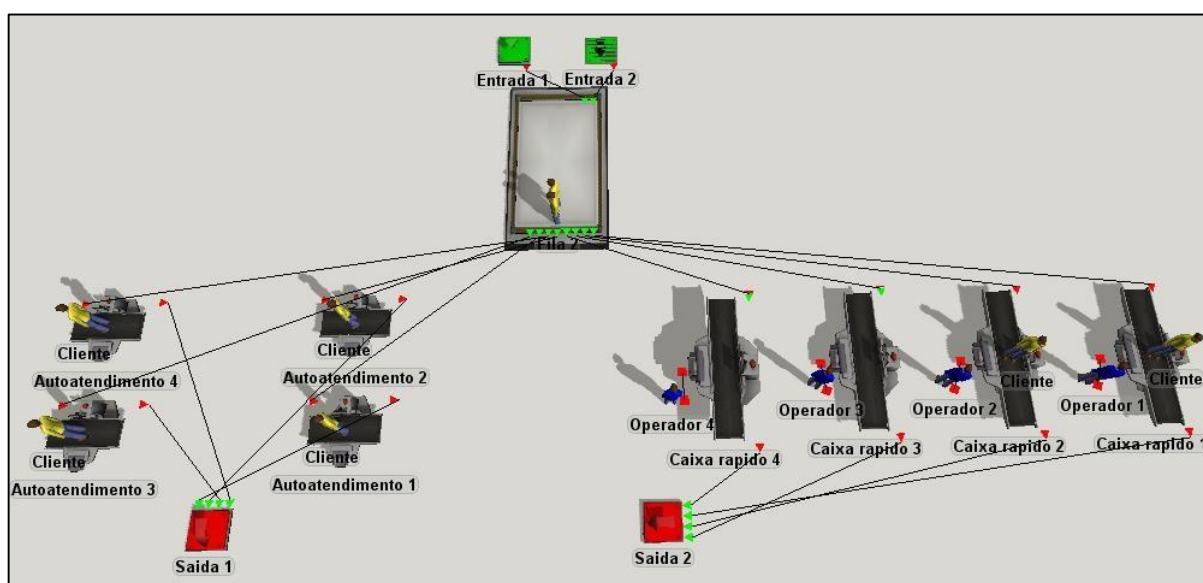


Figura 11: Modelo de simulação do cenário hipotético

Fonte: *Software FlexSIM*

Executada a simulação, os resultados gerados pelos sistemas estão apresentados na Tabela 18. O ritmo de chegada dos clientes foi considerado como sendo a média do ritmo de chegada dos dois sistemas.

Tabela 18: Dados referentes às filas

Variáveis	Cenário real		Cenário Hipotético
	Caixa-rápido	Autoatendimento	
Ritmo médio de chegadas ( $\lambda$ )	1,445 clientes/min	0,494 clientes/min	0,978 clientes/min
Número médio de clientes na fila (NF)	1,91	0,089	0,776
Tempo médio de permanência na fila (TF)	1 min 19 s	0 min 10 s	0 min 23 s

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

Ao analisar a Tabela 18, verifica-se uma redução do Número médio de clientes na fila do cenário hipotético em comparação com a fila do caixa-rápido do cenário real. Há também

uma redução expressiva do Tempo de permanência na fila, no cenário hipotético o tempo médio de espera passou a ser de 23 segundos, enquanto no caixa rápido era de 1 minuto e 19 segundos. Assim, havendo uma distribuição melhor dos clientes do caixa rápido, o tempo de espera na fila e o tamanho da fila reduzem.

Em relação ao processo de atendimento, comparou-se os dados do cenário real e do cenário hipotético na Tabela 19.

Tabela 19: Dados referentes ao processo de atendimento.

Variáveis	Cenário real		Cenário Hipotético	
	Caixa-rápido	Autoatendimento	Caixa-rápido	Autoatendimento
<b>Tempo médio de Atendimento (TA)</b>	1 min 44 s	3 min 52 s	1 min 42 s	3 min 45 s
<b>Número médio de clientes no atendimento (NA)</b>	2,443	1,835	1,844	3,177
<b>Taxa de utilização dos servidores (<math>\rho</math>)</b>	61,1 %	45,9 %	46,1 %	79,4 %
<b>Quantidade de pessoas atendidas</b>	168,7	57,4	126,9	101,1

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

Analisando o Número médio de clientes no atendimento e a taxa de utilização dos servidores, observa-se um aumento na utilização do autoatendimento. Como houve a redução da quantidade de clientes em fila, a taxa de utilização do caixa-rápido diminuiu pois não houve a necessidade de colocar em operação os caixas-rápidos 3 e 4. Ou seja, os caixas-rápidos 3 e 4 diminuíram sua taxa de utilização sendo supridos pelos caixas de autoatendimento. Por isso, a taxa de utilização do caixa de autoatendimento aumentou, pois não há restrição do número de clientes presentes na fila para entrar em funcionamento.

Em suma, ao observar a Tabela 20, temos que o tempo médio de permanência no sistema no cenário hipotético fica em torno de 3 minutos e 06 segundos. Dessa forma, o tempo gasto do cliente no sistema reduziu em relação ao caixa de autoatendimento e manteve-se o mesmo comparado com o tempo do caixa-rápido. Ao verificar que os clientes do caixa de autoatendimento precisam de auxílio de funcionário 41% das vezes, conclui-se que os clientes ainda não possuem prática com o novo sistema. Se os clientes aumentarem o uso do autoatendimento, é possível que, com a prática, diminuam a necessidade de auxílio de funcionário, e conseqüentemente o tempo de atendimento do sistema. Isso traria uma diminuição do congestionamento da fila do caixa rápido e do tempo em fila em todo o sistema.

Tabela 20: Dados referentes ao sistema

Variáveis	Cenário real		Cenário Hipotético
	Caixa-rápido	Autoatendimento	
<b>Número médio de clientes no sistema (NS)</b>	4,36	1,92	5,8
<b>Tempo médio de permanência no sistema (TS)</b>	3 min 03 s	4 min 02 s	3 min 06 s

Fonte: Adaptado do *software FlexSIM*.

## 6 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho, tal como as limitações encontradas e as propostas para trabalhos futuros.

### 6.1 Considerações finais

Com a finalidade de comparar os sistemas de filas dos caixas de autoatendimento e dos caixas-rápidos de um supermercado, levantaram-se dados sobre o sistema e realizou-se uma simulação do cenário real encontrado. Analisando os resultados obtidos por meio dos cálculos da Teoria das Filas, concluiu-se a necessidade de realizar a simulação visto que as distribuições encontradas para as variáveis de chegada e de tempo de atendimento eram muito complexas para resolver o problema através de cálculos. Dessa forma, a simulação foi a melhor opção para a análise dos sistemas, pois, além de representar com fidelidade o cenário real, permitiu trabalhar com modelos hipotéticos do sistema.

O sistema de autoatendimento visa reduzir o tempo gasto de atendimento do cliente em filas. No entanto, ao analisar os resultados da simulação do cenário real, verificou-se que os caixas-rápidos são mais eficientes. O Tempo de espera na fila do caixa de autoatendimento foi praticamente zero enquanto o tempo de espera na fila do caixa-rápido foi de um pouco mais de um minuto. Ao comparar os tempos de atendimento, observou-se que o tempo do autoatendimento é de 90% maior que o tempo de atendimento gasto no caixa rápido. Tem-se que o tempo total gasto pelo cliente no sistema é a soma dos tempos em fila e no atendimento. Desse modo, o tempo médio gasto pelo cliente no sistema de autoatendimento é 32% maior que o tempo gasto no caixa-rápido.

Como no cenário real observou-se que a fila no caixa de autoatendimento possuía uma quantidade insuficiente de clientes e a fila do caixa-rápido possuía um número elevado de clientes, o modelo hipotético foi montado para melhorar o desempenho das filas dos sistemas. Esse cenário determina que apenas uma fila serviria os dois sistemas de caixas, sendo o fluxo de clientes de acordo com a demanda do caixa. Dessa forma, não há fatores influenciando a escolha do cliente sobre qual tipo de caixa utilizar. Ao realizar a simulação, os resultados demonstram que distribuindo a quantidade de clientes da fila do caixa-rápido para o caixa de autoatendimento, o tempo de fila diminui consideravelmente. A taxa de utilização do sistema

de autoatendimento aumentou e a taxa de utilização dos caixas-rápidos diminuiu. Este último por causa da diminuição do número de clientes em espera na fila, assim, os caixas-rápidos 3 e 4 quase não foram necessários entrar em funcionamento.

Apesar da diferença entre os resultados, o tempo total gasto nos sistemas são consideravelmente baixos. O caixa de autoatendimento pode atingir a finalidade de reduzir custo e agilizar as filas se os clientes aumentarem a frequência de uso. É possível que, com a prática, os clientes diminuam a necessidade de auxílio de funcionário, e conseqüentemente o tempo de atendimento do sistema.

## **6.2 Limitações do trabalho**

No decorrer do estudo de caso, houve limitações durante a coleta de dados. As liberações para coleta dos dados foram restritas apenas para os dias apresentados no estudo. Isso impossibilita uma conclusão mais precisa do processo como um todo, e restringe a conclusão apenas para os horários observados.

## **6.3 Proposta de trabalhos futuros**

Observado durante a coleta de dados e depois representado na simulação, o sistema de caixas de autoatendimento não apresentou filas por causa do insuficiente número de clientes presentes no sistema. Muitos fatores influenciam nessa preferência do cliente pelo caixa rápido, como por exemplo, o tipo de pagamento. Os caixas de autoatendimento só atendem clientes que pretendem pagar com cartão enquanto os caixas-rápidos aceitam pagamento em cartão e dinheiro. Observou-se que o prolongado tempo de atendimento dos caixas de autoatendimento foi relevantemente determinado pela falta de experiência dos clientes com o sistema. A quantidade de clientes que precisaram de auxílio do funcionário por algum erro do sistema ou por falta de prática nesse tipo de caixa foi de 41%. Para melhor entender os fatores que influenciaram os resultados dessa pesquisa, sugere-se realizar um estudo mais profundo, envolvendo dados qualitativos que afetam o sistema.

Um dos benefícios em trocar o caixa-rápido pelo de autoatendimento está também na redução dos gastos, principalmente com funcionários. Há outros fatores que também influenciam os custos, como os gastos com o *software* do novo sistema. O presente trabalho não aprofundou os custos que cada sistema possui. Desse modo, propõem-se uma pesquisa mais

detalhada dos fatores que influenciam o custo e com isso, a possibilidade de identificar o quanto o novo sistema gera de economia para os supermercados.



## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional – métodos e modelos para análise de decisão**. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1998.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BANKS, J. *et al.* **Discrete-event system simulation**. 4. ed. Nova Jersey: Prendice-Hall, 2005.
- BEAVERSTOCK., M. et al. **Applied Simulation: Modeling and Analysis Using FlexSIM**. 2. ed. USA: FlexSIM Software Products, Inc., 2012.
- CHIAVENATO, I. **Introdução À teoria geral da administração: Uma visão abrangente da moderna administração das organizações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos - teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Elsevier Editora, 2010.
- DA SILVA, C. G. B.; MAGALHAES, M. B. **Simulação do atendimento dos caixas em agências bancárias**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2005.
- DABHOLKAR, P. A.; BOBBITT, L. M.; LEE, E. J. Understanding consumer motivation and behavior related to self-scanning in retailing: implications for strategy and research on technology-based self-service. **International Journal of Service Industry Management**, v. 14, n. 1, p. 59-95, 2013.
- DOILE, L. F. P. **Teoria de filas – analisando o fluxo de atendimento e o número de atendentes em um supermercado**. UFRGS. Porto Alegre. 2010.
- FREITAS, P. J. D. Filho. **Introdução a modelagem e simulação de sistemas 0 com aplicação em Arena**. Florianópolis - SC: Visual Books, 2001.
- GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.
- LAW, A. M. **How expertfit distribution-fitting software can make your simulation models more valid**. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference. Tucson (USA): Averill M. Law & Associates. 2011. p. 169-174.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modelling and Analysis**. 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1991.

MARZOCCHI, G. L.; ZAMMIT, A. Self-scanning technologies in retail: Determinants of adoption. **The service Industries Journal**, Bologna, v. 26, n. 6, p. 651-669, Janeiro 2006. ISSN 10.1080/02642060600850790.

MCCLAIN, J. O. **Steady State Queuing Models**, Ithaca, NY, 2007. Disponível em: <[http://www.kellogg.northwestern.edu/course/opns430/modules/capacity\\_management/Queue.xls](http://www.kellogg.northwestern.edu/course/opns430/modules/capacity_management/Queue.xls)>. Acesso em: 29 Janeiro 2016.

MENNER, W. Introduction to Modeling and Simulation. **Johns Hopkins APL Technical Digest**, v. 16, n. 1, p. 17, 1995.

MORABITO, R. E. L. F. C. R. D. Um modelo para analisar o problema de filas em caixas de supermercados: um estudo de caso. **Revista Eletrônica da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 59-71, Outubro 2000. ISSN 1678-5142.

NCR CORPORATION. Self-Checkout: a global consumer perspective. **NCR Corporation**, Georgia, p. 1-18, 2014. Disponível em: <[http://www.ncr.com/wp-content/uploads/RET\\_SCO\\_wp.pdf](http://www.ncr.com/wp-content/uploads/RET_SCO_wp.pdf)>. Acesso em: 29 Novembro 2015.

OPARA-NADI, G. **Electronic self-checkout system versus cashier operated system: a performance based comparative analysis**. Capella University. Minneapolis. 2005.

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1990.

PRADO, D. **Teoria das Filas e da Simulação**. 2<sup>a</sup>. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços LTDA., v. 2, 2004.

RBR London. **Global EPOS and Self-Checkout 2015**, London, 2014. Disponível em: <[http://www.rbrlondon.com/retail/RBR\\_EPOS\\_Press%20Release\\_231214.docx](http://www.rbrlondon.com/retail/RBR_EPOS_Press%20Release_231214.docx)>. Acesso em: 19 Novembro 2015.

RINALDI, J. G. S.; MORABITO, R.; TACHIBANA, V. M. A importância da rapidez de atendimento em supermercados: um estudo de caso. **Gestão Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 1-14, Janeiro-Março 2009.

SAMPAIO, P. G. V.; OLIVEIRA, S. D. **Estudo de Modelagem e simulação de filas num supermercado associado à análise de cenários**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: [s.n.]. 2013. p. 33.

SOARES, M. N. M.. et al. **Estudo de simulação para a minimização das filas em uma agência dos correios do município de viçosa**. IV simpósio acadêmico de engenharia de produção. Viçosa: [s.n.]. 2008.

SPARVOLI, R. Supermercado investe para mostrar que self-checkout pode dar certo no Brasil. **ESPM Nucleo de estudos do varejo**, 2013. Disponível em: <<http://varejo.espm.br/6710/muffato-investe-para-mostrar-que-self-checkout-pode-dar-certo-no-brasil>>. Acesso em: 11 Novembro 2015.

TAHA, H. A. **Operations Research: an Introduction**. 7. ed. Saddle River (USA): Pearson Education Inc., 2003.

VINCENT, S. Input Data Analysis. In: BANKS, J. **Handbook of Simulation**. USA: John Wileys & Sons Inc., 1998. Cap. 3, p. 53-91.

W.A., M. **Introduction to modelling and simulation**. 1. ed. [S.l.]: Johns Hopkins Apl Technical Digest, v. 16, 1995.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## ANEXO A – Dados Coletados

Tabela 21: Dados do tempo de atendimento do caixa-rápido

Tempo de Atendimento - Caixa-rápido										
00:02:47	00:01:46	00:03:10	00:01:48	00:01:23	00:00:49	00:00:59	00:00:43	00:03:31	00:02:06	00:01:09
00:01:31	00:01:51	00:01:34	00:00:59	00:01:45	00:00:41	00:01:22	00:01:57	00:00:29	00:03:19	00:02:12
00:00:34	00:01:21	00:01:21	00:01:12	00:04:50	00:02:26	00:02:11	00:01:06	00:01:32	00:03:24	00:03:28
00:00:05	00:01:32	00:01:19	00:01:55	00:01:39	00:02:12	00:01:08	00:00:38	00:01:03	00:02:50	00:01:47
00:00:57	00:00:41	00:03:03	00:02:37	00:02:28	00:01:55	00:02:04	00:02:03	00:01:33	00:02:31	00:01:51
00:01:22	00:02:08	00:00:45	00:03:17	00:00:50	00:01:28	00:01:23	00:02:00	00:02:52	00:02:10	00:02:21
00:01:21	00:00:23	00:00:40	00:00:44	00:01:08	00:01:04	00:01:49	00:00:54	00:02:32	00:02:43	00:01:05
00:01:33	00:00:29	00:00:41	00:00:39	00:01:29	00:01:44	00:00:27	00:01:45	00:01:54	00:02:24	00:01:59
00:00:46	00:01:45	00:00:54	00:01:10	00:01:35	00:01:38	00:01:16	00:01:05	00:02:03	00:05:04	00:02:54
00:00:39	00:01:36	00:02:20	00:02:01	00:00:43	00:01:54	00:01:23	00:02:57	00:01:43	00:01:54	00:02:19
00:01:04	00:02:29	00:01:15	00:02:46	00:00:53	00:01:28	00:02:19	00:01:28	00:00:59	00:01:01	00:02:13
00:02:05	00:01:15	00:00:50	00:00:44	00:00:34	00:01:12	00:03:29	00:01:43	00:01:37	00:00:14	00:01:30
00:01:09	00:01:14	00:01:50	00:01:02	00:02:05	00:00:46	00:01:02	00:00:42	00:01:47	00:01:09	00:01:42
00:00:53	00:01:39	00:00:58	00:02:22	00:02:58	00:03:29	00:00:58	00:00:38	00:02:10	00:03:46	00:01:16
00:01:59	00:02:18	00:01:00	00:02:08	00:02:09	00:01:10	00:00:58	00:03:32	00:02:11	00:03:25	00:01:12
00:00:55	00:01:56	00:03:25	00:00:31	00:03:39	00:00:33	00:00:58	00:04:53	00:02:11	00:01:25	00:02:23
00:02:11	00:00:50	00:01:24	00:02:29	00:03:11	00:01:00	00:00:29	00:00:44	00:00:16	00:02:09	00:00:52
00:00:15	00:01:04	00:02:03	00:01:10	00:02:14	00:02:23	00:00:51	00:00:23	00:01:30	00:01:54	00:01:58
00:00:24	00:00:53	00:02:21	00:02:16	00:01:12	00:01:12	00:01:36	00:02:21	00:03:23	00:01:22	
00:03:40	00:01:29	00:01:49	00:01:37	00:01:31	00:03:29	00:00:20	00:02:10	00:01:36	00:01:04	
00:01:30	00:01:15	00:03:04	00:02:40	00:00:29	00:01:35	00:00:43	00:02:04	00:02:00	00:02:16	
00:02:07	00:02:44	00:01:41	00:01:32	00:01:54	00:05:29	00:00:53	00:02:19	00:02:21	00:01:53	
00:02:07	00:01:45	00:02:10	00:03:58	00:01:48	00:01:13	00:01:28	00:02:45	00:01:24	00:00:58	
00:02:16	00:01:37	00:01:38	00:00:52	00:00:32	00:01:15	00:02:01	00:01:56	00:03:20	00:01:27	
00:01:54	00:01:17	00:00:29	00:01:14	00:01:59	00:00:29	00:00:40	00:02:02	00:01:53	00:01:43	
00:00:58	00:01:46	00:01:20	00:02:00	00:00:53	00:01:37	00:00:40	00:00:56	00:02:52	00:00:57	
00:00:53	00:01:32	00:01:46	00:01:40	00:02:25	00:01:12	00:02:29	00:02:27	00:02:43	00:00:54	
00:02:15	00:01:55	00:00:46	00:00:48	00:01:50	00:03:04	00:01:54	00:01:37	00:02:26	00:02:56	
00:02:44	00:00:06	00:01:24	00:01:13	00:01:46	00:01:00	00:01:08	00:02:07	00:02:35	00:01:06	
00:02:24	00:00:30	00:01:01	00:00:23	00:01:00	00:02:06	00:04:58	00:02:03	00:02:03	00:03:08	
00:02:07	00:01:12	00:02:48	00:01:39	00:02:08	00:01:16	00:00:55	00:00:40	00:01:44	00:00:52	
00:01:12	00:02:02	00:01:59	00:03:57	00:03:23	00:00:58	00:00:38	00:01:28	00:01:08	00:03:30	
00:00:52	00:00:59	00:01:47	00:00:33	00:00:38	00:00:47	00:02:05	00:02:42	00:00:46	00:01:37	
00:01:09	00:01:02	00:02:21	00:01:20	00:00:49	00:03:54	00:00:38	00:01:54	00:03:13	00:00:59	
00:00:25	00:01:08	00:00:47	00:02:12	00:01:07	00:01:33	00:02:43	00:01:47	00:02:51	00:01:31	
00:01:44	00:00:46	00:02:32	00:01:31	00:01:17	00:01:01	00:01:15	00:02:04	00:01:01	00:02:42	
00:01:08	00:02:51	00:01:18	00:02:14	00:01:16	00:01:28	00:01:40	00:00:59	00:02:05	00:00:55	
00:01:04	00:00:31	00:01:26	00:00:43	00:01:05	00:03:32	00:01:23	00:00:33	00:00:52	00:02:17	
00:01:52	00:00:58	00:00:43	00:02:28	00:01:53	00:01:02	00:04:47	00:01:37	00:01:05	00:02:09	
00:02:46	00:06:21	00:01:16	00:02:19	00:01:22	00:02:07	00:01:05	00:00:55	00:01:16	00:02:50	
00:01:41	00:01:33	00:01:11	00:00:57	00:02:33	00:00:54	00:01:20	00:01:35	00:01:49	00:01:59	
00:01:40	00:02:19	00:01:34	00:01:58	00:01:40	00:01:11	00:01:26	00:02:20	00:01:32	00:03:37	
00:02:38	00:00:51	00:01:35	00:00:57	00:01:35	00:00:51	00:03:04	00:01:51	00:02:42	00:02:17	
00:02:18	00:00:35	00:01:30	00:01:42	00:01:39	00:00:46	00:00:56	00:02:41	00:01:57	00:00:45	
00:01:34	00:01:25	00:02:33	00:01:48	00:01:43	00:01:34	00:01:23	00:01:51	00:01:03	00:02:24	
00:00:25	00:00:07	00:03:15	00:02:21	00:00:58	00:03:35	00:02:40	00:02:41	00:00:43	00:00:55	
00:04:13	00:03:01	00:02:14	00:00:54	00:02:19	00:03:48	00:02:05	00:01:06	00:03:25	00:01:39	
00:00:22	00:01:47	00:01:19	00:02:19	00:02:23	00:01:24	00:02:13	00:00:25	00:01:19	00:04:19	

Tabela 22: Dados do Intervalo de chegada do caixa-rápido

Intervalo de Chegada - Caixa-rápido										
00:00:09	00:00:12	00:01:35	00:01:18	00:00:23	00:00:31	00:01:17	00:00:24	00:00:16	00:00:38	00:00:15
00:00:03	00:02:30	00:00:09	00:00:31	00:00:30	00:00:05	00:01:30	00:00:02	00:00:38	00:00:38	00:00:47
00:01:08	00:00:05	00:00:28	00:02:00	00:00:04	00:00:47	00:00:11	00:00:26	00:01:24	00:00:13	00:01:09
00:00:42	00:00:06	00:00:10	00:00:49	00:00:05	00:00:33	00:00:16	00:00:30	00:01:32	00:00:13	00:00:37
00:00:02	00:00:01	00:00:09	00:00:20	00:04:50	00:02:22	00:00:38	00:00:05	00:00:08	00:01:51	00:00:55
00:01:05	00:00:03	00:00:05	00:00:49	00:00:10	00:00:18	00:00:49	00:00:25	00:00:46	00:00:05	00:04:30
00:00:01	00:00:12	00:00:19	00:00:35	00:02:00	00:00:03	00:00:23	00:00:20	00:00:16	00:00:30	00:01:02
00:00:06	00:00:53	00:00:59	00:02:50	00:00:19	00:00:36	00:00:12	00:00:05	00:00:02	00:00:20	00:00:49
00:00:05	00:00:17	00:00:39	00:02:07	00:00:21	00:00:08	00:00:38	00:00:30	00:00:46	00:01:20	00:01:43
00:00:37	00:00:26	00:01:03	00:00:39	00:00:31	00:00:07	00:00:38	00:00:35	00:00:04	00:00:19	00:03:25
00:00:47	00:00:22	00:00:56	00:00:47	00:00:45	00:00:22	00:00:13	00:00:10	00:00:27	00:00:44	00:01:29
00:00:35	00:02:02	00:01:02	00:01:13	00:00:21	00:00:38	00:00:13	00:00:13	00:00:38	00:00:23	00:00:38
00:00:05	00:00:06	00:00:18	00:00:56	00:00:07	00:00:07	00:01:51	00:00:47	00:00:32	00:00:10	00:01:46
00:01:59	00:00:04	00:00:35	00:00:30	00:00:40	00:00:48	00:00:05	00:00:26	00:00:22	00:00:38	00:01:48
00:00:02	00:00:06	00:01:11	00:00:13	00:00:06	00:01:55	00:00:30	00:00:19	00:00:44	00:00:46	00:01:20
00:01:28	00:00:52	00:02:03	00:00:01	00:00:40	00:00:13	00:00:20	00:00:26	00:00:40	00:00:23	00:00:56
00:00:30	00:00:05	00:01:33	00:01:38	00:00:06	00:00:03	00:01:20	00:00:50	00:00:21	00:01:18	00:00:15
00:00:18	00:00:05	00:01:44	00:00:06	00:00:40	00:00:40	00:00:19	00:00:36	00:00:13	00:01:02	00:00:55
00:00:50	00:00:08	00:01:50	00:01:08	00:00:06	00:01:10	00:00:18	00:00:12	00:02:27	00:00:58	00:00:45
00:00:05	00:00:34	00:01:36	00:00:15	00:01:08	00:00:38	00:00:31	00:00:05	00:00:34	00:01:58	00:00:50
00:00:23	00:01:02	00:00:01	00:00:06	00:00:07	00:00:32	00:00:29	00:00:08	00:00:50	00:00:59	00:00:05
00:00:06	00:00:47	00:00:01	00:01:44	00:00:04	00:00:22	00:00:26	00:00:03	00:00:30	00:01:17	00:00:21
00:00:15	00:00:16	00:00:05	00:00:22	00:00:16	00:00:44	00:01:41	00:00:26	00:01:15	00:00:52	00:00:48
00:00:03	00:00:19	00:00:30	00:00:34	00:00:13	00:00:40	00:01:14	00:01:16	00:00:20	00:01:07	00:00:29
00:00:31	00:00:31	00:00:31	00:00:18	00:00:17	00:00:21	00:00:08	00:00:31	00:01:20	00:00:43	00:01:10
00:00:41	00:00:09	00:00:14	00:00:07	00:01:19	00:00:13	00:00:20	00:00:32	00:00:55	00:03:26	00:00:35
00:00:31	00:00:21	00:00:26	00:01:25	00:00:26	00:02:27	00:01:40	00:00:07	00:00:42	00:00:11	00:01:33
00:00:01	00:01:12	00:00:08	00:00:27	00:00:04	00:00:34	00:00:10	00:00:12	00:00:16	00:00:39	00:00:38
00:00:13	00:00:59	00:01:20	00:00:09	00:00:03	00:00:50	00:00:01	00:00:33	00:00:32	00:00:11	00:01:33
00:01:03	00:00:17	00:00:05	00:00:53	00:00:27	00:00:30	00:01:25	00:01:29	00:00:56	00:01:07	00:01:06
00:00:22	00:00:23	00:00:07	00:00:04	00:00:05	00:01:15	00:00:22	00:01:32	00:01:31	00:02:27	00:01:08
00:00:22	00:00:07	00:00:26	00:00:08	00:00:01	00:00:20	00:02:13	00:01:44	00:00:13	00:00:25	00:01:41
00:01:34	00:00:26	00:00:01	00:00:25	00:00:33	00:01:20	00:00:43	00:00:45	00:00:40	00:00:30	00:01:11
00:03:44	00:00:01	00:00:17	00:00:03	00:00:26	00:00:55	00:00:49	00:00:29	00:01:10	00:00:14	00:01:53
00:00:23	00:00:03	00:00:01	00:00:02	00:00:15	00:00:42	00:00:21	00:00:28	00:00:40	00:01:31	00:01:25
00:00:04	00:01:11	00:00:06	00:00:24	00:00:12	00:00:16	00:00:19	00:00:31	00:00:29	00:00:38	
00:00:01	00:01:17	00:01:17	00:00:11	00:00:05	00:00:32	00:00:36	00:01:14	00:01:31	00:00:06	
00:01:28	00:01:42	00:00:01	00:00:02	00:00:43	00:00:56	00:00:51	00:00:24	00:00:07	00:01:24	
00:00:39	00:00:12	00:00:53	00:00:36	00:00:38	00:01:31	00:00:11	00:01:15	00:01:24	00:01:02	
00:00:08	00:00:36	00:03:19	00:01:39	00:01:35	00:00:13	00:00:03	00:00:15	00:00:35	00:02:22	
00:00:01	00:00:05	00:00:27	00:01:25	00:00:27	00:00:40	00:01:23	00:00:16	00:01:17	00:00:20	
00:01:01	00:00:04	00:01:18	00:00:29	00:02:06	00:01:10	00:01:33	00:01:35	00:01:30	00:00:35	
00:00:12	00:00:05	00:00:03	00:00:19	00:00:05	00:00:40	00:01:14	00:00:08	00:00:11	00:00:19	
00:00:01	00:00:03	00:00:19	00:00:05	00:00:57	00:00:29	00:00:09	00:00:53	00:00:16	00:00:32	
00:00:04	00:00:25	00:01:50	00:00:04	00:00:45	00:01:31	00:00:32	00:00:25	00:00:38	00:00:32	
00:00:45	00:00:07	00:02:27	00:00:23	00:00:12	00:00:07	00:01:00	00:00:35	00:00:49	00:00:09	
00:00:10	00:00:34	00:00:37	00:00:21	00:00:27	00:01:24	00:00:45	00:00:35	00:00:23	00:01:23	
00:01:31	00:01:03	00:00:03	00:01:11	00:00:58	00:00:35	00:01:24	00:00:35	00:00:12	00:01:19	

Tabela 23: Dados do Tempo de atendimento do autoatendimento

Tempo de Atendimento - Autoatendimento									
00:02:19	00:01:51	00:06:53	00:07:52	00:03:04	00:03:02	00:05:06	00:05:03	00:03:01	00:04:13
00:03:13	00:05:15	00:02:01	00:06:13	00:03:00	00:01:37	00:06:40	00:01:50	00:04:01	00:01:37
00:01:08	00:01:41	00:02:00	00:02:08	00:06:24	00:03:24	00:03:59	00:02:51	00:03:42	00:03:03
00:03:32	00:03:58	00:03:37	00:02:09	00:05:22	00:02:10	00:04:21	00:02:01	00:08:35	00:03:08
00:01:52	00:04:01	00:03:01	00:02:10	00:01:52	00:05:45	00:04:31	00:04:03	00:02:08	00:02:23
00:03:54	00:07:31	00:02:31	00:02:27	00:02:16	00:02:13	00:11:34	00:02:24	00:06:21	00:02:49
00:03:25	00:05:07	00:02:57	00:03:05	00:02:19	00:02:25	00:03:54	00:04:45	00:09:33	00:03:37
00:01:55	00:01:50	00:04:51	00:03:19	00:04:40	00:02:54	00:02:09	00:06:35	00:08:45	00:02:21
00:03:59	00:02:00	00:02:36	00:01:41	00:03:54	00:03:44	00:03:02	00:02:48	00:02:15	00:02:16
00:02:59	00:07:05	00:02:23	00:04:30	00:03:43	00:02:27	00:03:07	00:03:51	00:02:17	00:06:04
00:02:56	00:02:38	00:04:58	00:04:31	00:04:04	00:05:21	00:03:26	00:04:12	00:04:07	00:03:34
00:02:36	00:02:21	00:02:05	00:04:30	00:05:45	00:02:07	00:03:15	00:06:44	00:01:59	00:02:41
00:08:43	00:05:42	00:03:04	00:02:52	00:02:52	00:02:19	00:04:58	00:03:44	00:02:04	00:05:30
00:02:29	00:01:58	00:01:02	00:01:55	00:04:18	00:04:24	00:02:54	00:05:35	00:02:49	00:03:45
00:07:11	00:02:16	00:02:26	00:02:26	00:03:06	00:02:48	00:02:54	00:03:16	00:01:39	00:06:29
00:02:08	00:02:43	00:04:45	00:04:41	00:04:20	00:04:23	00:05:00	00:01:54	00:02:19	00:05:08
00:05:37	00:05:30	00:02:03	00:02:31	00:01:57	00:01:41	00:02:20	00:03:41	00:02:54	00:06:30
00:08:12	00:05:27	00:05:54	00:08:26	00:02:31	00:06:00	00:04:25	00:02:25	00:05:47	00:03:56

Tabela 24: Dados do Intervalo de chegada do autoatendimento

Intervalo de chegada - Autoatendimento									
00:05:53	00:02:06	00:00:42	00:01:53	00:02:05	00:01:06	00:01:30	00:01:34	00:05:18	00:02:29
00:00:15	00:06:48	00:00:53	00:01:39	00:00:55	00:01:34	00:02:13	00:01:43	00:02:41	00:04:01
00:00:08	00:00:55	00:02:09	00:01:34	00:01:23	00:01:43	00:05:08	00:02:14	00:00:05	00:00:30
00:00:05	00:00:05	00:00:56	00:01:01	00:01:11	00:00:29	00:00:15	00:01:17	00:04:46	00:01:18
00:01:07	00:00:01	00:01:33	00:03:07	00:05:15	00:01:55	00:02:32	00:00:17	00:01:12	00:00:43
00:05:03	00:01:31	00:01:13	00:00:45	00:00:51	00:00:49	00:01:43	00:00:18	00:00:48	00:00:54
00:00:05	00:02:38	00:00:52	00:01:18	00:01:50	00:00:58	00:00:18	00:04:05	00:01:45	00:04:06
00:06:19	00:02:13	00:01:23	00:00:17	00:01:34	00:00:35	00:04:47	00:01:25	00:02:42	00:04:04
00:01:21	00:01:36	00:01:32	00:01:29	00:01:36	00:00:57	00:04:13	00:00:29	00:02:23	00:00:18
00:00:15	00:01:12	00:03:18	00:00:08	00:02:29	00:01:04	00:09:58	00:00:39	00:00:53	00:02:23
00:04:07	00:06:56	00:09:58	00:01:20	00:01:02	00:01:01	00:01:56	00:05:07	00:01:10	00:02:09
00:01:50	00:02:05	00:00:56	00:00:30	00:01:04	00:06:52	00:00:44	00:00:50	00:00:04	00:03:01
00:01:04	00:01:15	00:01:23	00:00:57	00:03:41	00:02:51	00:00:23	00:03:22	00:00:56	00:02:51
00:02:24	00:01:49	00:01:19	00:01:33	00:12:36	00:00:48	00:02:41	00:03:09	00:02:09	00:01:13
00:01:25	00:02:12	00:01:32	00:00:05	00:00:46	00:01:44	00:01:41	00:00:38	00:00:36	00:00:40
00:00:42	00:05:39	00:01:04	00:01:34	00:00:09	00:03:02	00:03:05	00:00:19	00:00:47	00:04:31
00:02:14	00:00:15	00:03:59	00:00:31	00:00:42	00:02:12	00:01:29	00:00:51	00:00:30	
00:01:05	00:00:58	00:02:33	00:00:33	00:02:47	00:02:50	00:00:07	00:01:14	00:02:55	

## ANEXO B – Estatística dos Intervalos de Chegada

- Distribuições dos Intervalos de Chegadas

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	97.37	Lower endpoint	0.43715
		Upper endpoint	537.19797
		Shape #1	0.97289
		Shape #2	11.68072
2 - Weibull(E)	89.47	Location	0.11145
		Scale	42.32221
		Shape	1.05366
3 - Weibull	82.89	Location	0.00000
		Scale	42.54507
		Shape	1.06074

20 models are defined with scores between 1.32 and 97.37

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Beta**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Beta**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      -0.14547 = 0.35%

Figura 22: Distribuição do Intervalo de Chegada do caixa-rápido

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Pearson Type VI	97.06	Location	0.00000
		Scale	625.18262
		Shape #1	1.47470
		Shape #2	8.84958
2 - Gamma(E)	94.12	Location	7.33101 e -4
		Scale	91.74710
		Shape	1.28075
3 - Gamma	91.18	Location	0.00000
		Scale	91.74470
		Shape	1.28079

18 models are defined with scores between 1.47 and 97.06

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Pearson Type VI**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Pearson Type VI**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      0.05279 = 0.04%

Figura 13: Distribuição do Intervalo de Chegada do autoatendimento

- Dados das distribuições para a simulação

Flexsim Representation of Model 1 - Beta	
Use:	
When using a picklist option:	
Distribution	Beta
Minimum	0.437147
Maximum	537.197968
Shape 1	0.972888
Shape 2	11.680724
When using code:	
beta( 0.437147, 537.197968, 0.972888, 11.680724, <stream>)	

Figura 14: Distribuição do Intervalo de Chegada do caixa-rápido

Flexsim Representation of Model 1 - Pearson Type VI	
Use:	
When using a picklist option:	
Distribution	Pearson Type 6
Location	0.000000
Scale	625.182621
Shape 1	1.474699
Shape 2	8.849585
When using code:	
pearson6( 0.000000, 625.182621, 1.474699, 8.849585, <stream>)	

Figura 15: Distribuição do Intervalo de Chegada do autoatendimento

- Testes de aderência

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Beta					
Sample size	515				
Normal test statistic	0.03387				
Modified test statistic	0.76863				
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.				
	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
Sample Size	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
515	1.132	1.217	1.351	1.472	1.619
Reject?	No				

Figura 16: Teste K-S para a distribuição *Beta* do caixa-rápido



Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Pearson Type VI					
Sample size	178				
Normal test statistic	0.05963				
Modified test statistic	0.79561				
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.				
Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
178	1.127	1.212	1.345	1.466	1.613
Reject?	No				

Figura 17: Teste K-S da distribuição *Pearson Type VI* do autoatendimento

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Beta						
Number of intervals	40					
Expected (model) count	12.875					
Test statistic	86.08738					
Warning:	The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.					
Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
39	0.000	44.539	48.126	50.660	54.572	62.428
	Reject?	Yes				

Figura 18: Teste *Qui-quadrado* da distribuição *Beta* do caixa-rápido

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Pearson Type VI						
Number of intervals	35					
Expected (model) count	5.08571					
Test statistic	40.65169					
Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
34	0.201	39.141	42.514	44.903	48.602	56.061
	Reject?	Yes	No			

Figura 19: Teste *Qui-quadrado* da distribuição *Pearson Type VI* do autoatendimento.

## ANEXO C – Estatística dos Tempos de Atendimento

- Distribuições dos Tempos de Atendimento

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Gamma	98.96	Location	0.00000
		Scale	29.98577
		Shape	3.45432
2 - Gamma(E)	94.79	Location	5.34790 e -4
		Scale	29.98605
		Shape	3.45427
3 - Beta	91.67	Lower endpoint	0.06570
		Upper endpoint	756.30854
		Shape #1	2.99463
		Shape #2	18.85818

25 models are defined with scores between 1.04 and 98.96

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Gamma**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Gamma**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      0

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Inverse Gaussian(E)	95.00	Location	39.94741
		Scale	185.51370
		Shape	463.79606
2 - Random Walk(E)	93.33	Location	45.53766
		Scale	0.00807
		Shape	0.01787
3 - Johnson SB	89.17	Lower endpoint	56.35305
		Upper endpoint	1,321.55545
		Shape #1	2.65244
		Shape #2	1.27902

31 models are defined with scores between 0.83 and 95.00

---

**Absolute Evaluation of Model 1 - Inverse Gaussian(E)**

Evaluation: Good  
 Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.  
 See Help for more information.

---

**Additional Information about Model 1 - Inverse Gaussian(E)**

"Error" in the model mean  
 relative to the sample mean                      0

Figura 21: Distribuição do Tempo de atendimento do autoatendimento

- Dados das distribuições para a simulação

**Flexsim Representation of Model 1 - Gamma**

Use:

When using a picklist option:

Distribution	Gamma
Location	0.000000
Scale	29.985766
Shape	3.454316

When using code:  
`gamma( 0.000000, 29.985766, 3.454316, <stream>)`

Figura 22: Distribuição do Tempo de atendimento do caixa rápido

**Flexsim Representation of Model 1 - Inverse Gaussian(E)**

Use:

When using a picklist option:

Distribution	Inverse Gaussian
Location	39.947406
Scale	185.513705
Shape	463.796057

When using code:  
`inversegaussian( 39.947406, 185.513705, 463.796057, <stream>)`

Figura 23: Distribuição do Tempo de atendimento do autoatendimento

- Testes de Aderência

**Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Inverse Gaussian(E)**

Sample size	180
Normal test statistic	0.04662
Modified test statistic	0.62551

Note: No critical values exist for this special case.  
The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
180	1.127	1.212	1.345	1.466	1.613
Reject?	No				

Figura 24: Teste K-S da distribuição *Gamma* do caixa-rápido

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Gamma					
Sample size	498				
Normal test statistic	0.02760				
Modified test statistic	0.61582				
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.				
Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
498	1.132	1.217	1.350	1.472	1.619
Reject?	No				

Figura 25: Teste K-S da distribuição *Inverse Gaussian* do autoatendimento

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Inverse Gaussian(E)						
Number of intervals	36					
Expected (model) count	5					
Test statistic	36.8					
Warning:	The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.					
Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
35	0.386	40.223	43.640	46.059	49.802	57.342
	Reject?	No				

Figura 26: Teste *Qui-quadrado* para a distribuição *Gamma* do caixa-rápido

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Gamma						
Number of intervals	40					
Expected (model) count	12.45					
Test statistic	34.20884					
Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
39	0.688	44.539	48.126	50.660	54.572	62.428
	Reject?	No				

Figura 27: Teste *Qui-quadrado* para a distribuição *Inverse Gaussian* do autoatendimento

## ANEXO D – Planilha de McClain (2007)

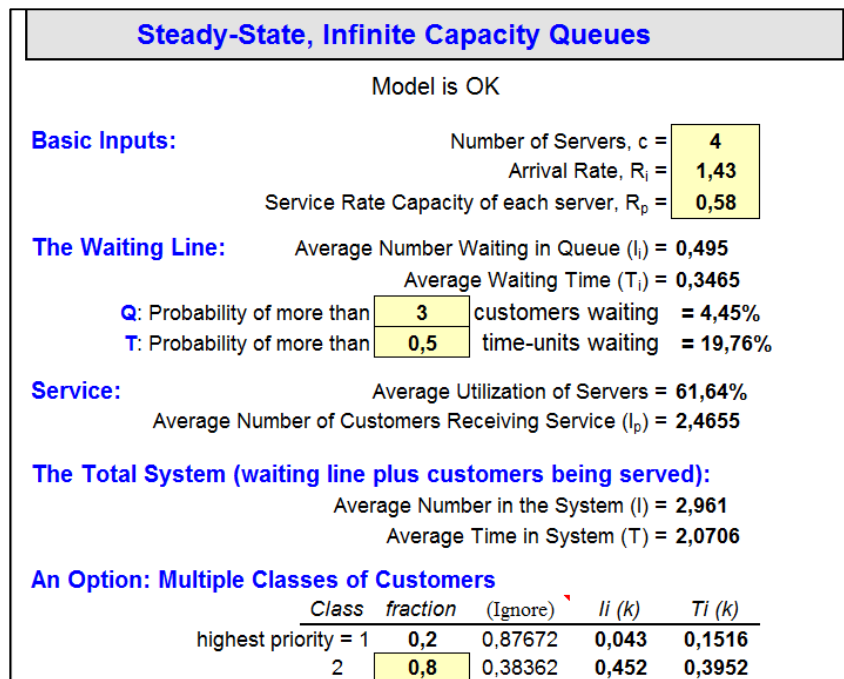


Figura 28: Planilha de McClain (2007) - caixa-rápido

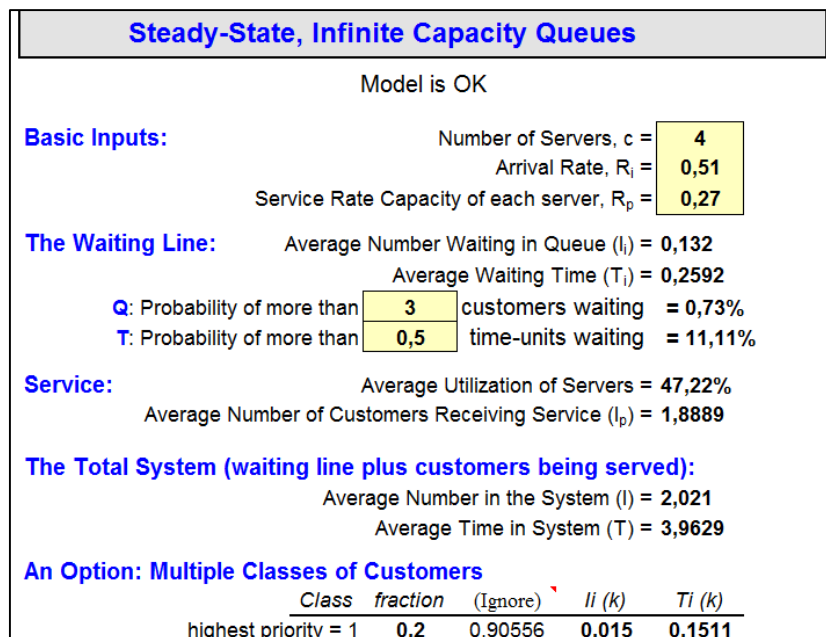


Figura 29: Planilha de McClain (2007) - autoatendimento

## ANEXO E – Resultados das replicações

- Cenário Real

Considerando que: Entrada 1 = Entrada da fila do autoatendimento

Entrada 2 = Entrada da fila do caixa-rápido

Fila 1 = Fila do autoatendimento

Fila 2 = Fila do caixa-rápido

Dados obtidos através da ferramenta *Experimenter* do *FlexSIM®*:

Ritmo de chegada - Entrada 1					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	0.470 < 0.494 < 0.519	0.068	0.400	0.717	

Ritmo de chegada - Entrada 2					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	1.400 < 1.445 < 1.491	0.127	1.158	1.642	

Tempo médio de atendimento- Autoatendimento - Average					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	226.0 < 232.0 < 238.0	16.8	186.8	260.6	

Tempo médio de atendimento - Caixa rapido - Average					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	102.2 < 103.6 < 105.1	4.1	94.7	111.2	

No. médio de clientes na fila - Fila 1 Average Content					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	0.044 < 0.089 < 0.134	0.126	0.000	0.419	

No. médio de clientes na fila - Fila 2 Average Content					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	1.74 < 1.91 < 2.08	0.47	1.12	2.97	

Tempo médio de permanência na fila - Fila 1 Average Staytime					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	5.0 < 10.4 < 15.8	15.1	0.0	52.9	

Tempo médio de permanência na fila - Fila 2 Average Staytime					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	73.8 < 79.0 < 84.2	14.5	55.2	113.3	

Taxa de utilização - Autoatendimento					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	43.5 < 45.9 < 48.3	6.7	37.2	62.6	

Taxa de utilização - Caixa rapido					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	59.1 < 61.1 < 63.1	5.6	49.8	69.3	

No. médio de clientes no atendimento - Autoatendimento					
	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	1.738 < 1.835 < 1.931	0.270	1.489	2.502	

<b>No. médio de clientes no atendimento - caixa rapido</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	2.363	< 2.443	< 2.523	0.224	1.994	2.772

<b>No. médio de clientes no sistema - Autoatendimento</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	1.80	< 1.92	< 2.05	0.34	1.49	2.61

<b>No. médio de clientes no sistema - caixa rapido</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	4.11	< 4.36	< 4.60	0.69	3.11	5.74

<b>Tempo médio de permanencia no sistema - Auto - Average</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	182.4	< 187.7	< 192.9	14.7	149.4	218.4

<b>Tempo médio de permanência no sistema - CR - Average</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	96.9	< 98.7	< 100.5	5.1	89.6	111.6

<b>Total de clientes atendidos - Saida 2</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	163.7	< 168.7	< 173.7	13.9	138.0	190.0

<b>Total de clientes atendidos - Saida 1</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	54.4	< 57.4	< 60.4	8.5	45.0	85.0

#### **No. médio de clientes na fila - Fila 2 Maximum Content**

<b>Summary</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	6.12	< 6.91	< 7.71	2.21	5.00	13.00

#### **No. médio de clientes na fila - Fila 1 Maximum Content**

<b>Summary</b>						
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	1.71	< 2.26	< 2.81	1.54	1.00	6.00

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Departamento de Engenharia de Produção**  
**Av. Colombo 5790, Maringá-PR CEP 87020-900**  
**Tel: (044) 3011-4196/3011-5833 Fax: (044) 3011-4196**