

SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO DO PROCESSO DE ATENDIMENTO EM EMPRESA DE VAREJO

Luiz Paulo da Cruz Scarp*
Álvaro Augusto Viana Braga Torres**
Alexandre Navarro da Silva***

Resumo

Realizou-se a análise do processo de atendimento nos caixas de um supermercado, por meio da simulação, comparando os resultados obtidos pela simulação com a Teoria das Filas. As variáveis de entrada foram coletadas no sistema real (tempos dos intervalos entre as chegadas sucessivas de clientes nas filas e os tempos de atendimento dos caixas), sendo ajustadas funções de distribuição de probabilidade por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 15% de probabilidade. A simulação, quando comparada à Teoria das Filas, mostrou-se uma ferramenta com maior capacidade de representar a realidade, por considerar a variação aleatória dos dados de entrada com maior exatidão. O melhor cenário avaliado sugere a realização de treinamento dos funcionários dos caixas normais e a realocação de um atendente dos caixas normais do turno da manhã para o caixa rápido no turno da tarde, o que contribuiria para a minimização das filas e tempos de espera dos clientes. Os benefícios

* Engenheiro de Produção na Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Av. P. H. Rolfs, Viçosa, MG, 36570-000; luiz.scarp@ufv.br

** Engenheiro de Produção na Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Av. P. H. Rolfs, Viçosa, MG, 36570-000; alvaro.torres@ufv.br

*** Engenheiro de Produção; Mestre e Doutorando em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa; Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs, Viçosa, MG, 36570-000; alexandre.navarro@ufv.br

deste cenário implicam o aumento de eficiência no funcionamento do processo de atendimento, a maior satisfação dos clientes e o equilíbrio na taxa de utilização dos servidores.

Palavras-chave: Supermercado. Caixa de atendimento. Arena. Teoria das Filas.

1 INTRODUÇÃO

Uma pesquisa realizada na grande São Paulo pela Organon Marketing Consulting EAN Sistemas do Brasil em 1996 (MORABITO; LIMA, 2000) concluiu que o consumidor era fiel ao supermercado em que comprava, pois, de acordo com os entrevistados, o costume leva ao conhecimento do espaço físico, da distribuição dos produtos e dos horários menos congestionados. Os consumidores apontaram o elevado tempo de espera nas filas das caixas como o maior problema a ser atacado.

Os trabalhos de Carpenter (2008) e de Lombart e Louis (2012) mostram que os consumidores ainda podem ser fiéis aos varejistas, desde que haja comprometimento destes com os consumidores. Dessa maneira, uma preocupação dos gerentes de supermercados é como reduzir o tamanho e o tempo das filas nos caixas. Ao aumentar o número de caixas em operação, o gerente reduzirá o tempo médio de espera em fila, por outro lado, também aumentará os custos operacionais do sistema. Surge, então, um interessante *tradeoff* a ser analisado entre o nível de serviço a ser oferecido ao cliente e a escolha de capacidade do sistema de atendimento.

As filas, além de não serem agradáveis aos consumidores, do ponto de vista das empresas, podem representar um grande problema com a perda de negócios. Usualmente, a modelagem de sistemas pode ser feita por duas abordagens inteiramente diferentes

entre si, a Teoria das Filas e a simulação, sendo esta última mais utilizada e caracterizada por ser uma técnica que permite representar o funcionamento de um sistema real com maior exatidão (PRADO, 2004a).

Segundo Muniz, Guimarães e Campos (2009), a simulação oferece diversas vantagens que justificam sua utilização. Uma vez criado e validado o modelo, este pode ser utilizado inúmeras vezes para a análise de outros projetos e novas políticas. Os autores ainda asseguram que, ao se utilizar os modelos computacionais, tem-se melhor visão de como o processo opera, uma vez que dentro do sistema alguns detalhes importantes passam despercebidos.

Assim, objetivou-se neste estudo representar o sistema dos caixas de atendimento de um supermercado da cidade de Viçosa, MG, por meio da simulação, a fim de contribuir para a tomada de decisão referente à minimização das filas formadas e promover maior equilíbrio na utilização dos atendentes, permitindo obter melhora no nível de serviço oferecido ao cliente. Comparou-se a utilização da simulação com a Teoria das Filas, com a finalidade de verificar se uma ferramenta mais simples poderia ser utilizada em vez da simulação.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 ESTUDO DE FILAS

A abordagem matemática das filas iniciou no princípio do século XX (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. No entanto, foi somente a partir da Segunda Guerra Mundial que a Teoria foi aplicada a outros problemas de filas (PRADO, 2004a).

Com o propósito de analisar o problema de formação de filas nos caixas de atendimento de supermercados, Morabito e Lima (2000) fizeram uso da Teoria das Filas. O objetivo principal do estudo era estimar o tempo médio de espera em fila (nível de serviço), sendo desenvolvidos três modelos: representar o sistema por meio de um simples modelo $M/M/m$ de fila única, onde m é o número de caixas, representar o sistema por meio de modelos $M/M/1$ paralelos e independentes e representar o sistema por meio de um modelo Markoviano mais geral, no qual os dois modelos anteriores podem ser vistos como casos particulares.

Os autores admitem *a priori* que os intervalos de tempo entre as chegadas de clientes e os tempos de atendimento dos caixas sejam exponencialmente distribuídos. Os dois primeiros modelos são mais simplificados, porém, não representam satisfatoriamente a situação real do sistema dos caixas de atendimento. Já o terceiro modelo (Markoviano) foi o que mais se aproximou do sistema real, por considerar que a partir de certo número de clientes em cada caixa, os novos consumidores, ao chegarem, desistem de entrar na fila e saem do supermercado sem comprar. Além disso, considera-se um comportamento racional dos clientes, os quais optam pela menor fila, e, no caso de alguma fluir de maneira mais rápida e se tornar menor que a atual de determinado cliente, este mudaria instantaneamente para a fila menor.

Alencar et al. (2010) também utilizaram a Teoria das Filas para estudar o atendimento de clientes nos caixas de um supermercado. Nesse estudo, foram analisados somente os caixas rápidos. Para tanto, foram feitos testes de aderência sob os dados coletados, utilizando-se o teste do Qui-quadrado, de forma a confirmar se, de fato, estes se ajustavam a uma distribuição exponencial, para posterior aplicação das equações da Teoria das

Filas. A metodologia aplicada se mostrou uma ferramenta útil e não onerosa, fundamentando o processo de tomada de decisões.

Tratando de simulação de filas, Ferreira, Mendes Junior e Carnieri (2007) apontam a Teoria das Filas como uma metodologia adequada para o tratamento de problemas com filas em supermercados:

Os problemas de fila tiveram basicamente sua origem no trabalho de Erlang em telefonia no início do século. E, atualmente, a aplicação de teoria de fila na análise de performance de sistemas de computação, comunicações, produção industrial, transporte, manutenção, entre outros, tem estimulado muitas pesquisas aplicadas em aspectos computacionais de modelos de filas. Os modelos de filas são motivados por situações em que o processo de chegada a um serviço, ou o processo de serviço, ou ambos são probabilísticos, resultando possivelmente numa fila de espera. Desta forma pode-se imaginar várias situações da vida real onde existe um fluxo de clientes (pessoas, veículos, pedidos, transações, etc.) em busca de um serviço (caixas de banco ou supermercados, pedágios, estações de uma rede, distribuidora, banco de dados, etc.).

2.2 SIMULAÇÃO PARA O ESTUDO DE FILAS

Segundo Shabayek e Yeung (2002), a aplicação da simulação para a solução do problema de filas apresenta algumas vantagens, sendo uma ferramenta mais flexível que pode se adaptar a situações encontradas na realidade em que os métodos analíticos se mostram limitados. Além disso, ela pode ser feita com uma representação gráfica do sistema, o que facilita a análise e a interpretação dos resultados. Dessa forma, em seu estudo sobre filas portuárias, preferiram fazer uso da simulação de filas.

Ferreira, Mendes Junior e Carnieri (2007), com o objetivo de analisar alterações que diminuíssem o tempo de espera dos

navios, sem contudo reduzir significativamente o nível de utilização dos berços, desenvolveram um estudo de simulação para analisar o desempenho do segmento de granéis sólidos do porto de Paranaguá. Justificando a metodologia utilizada, os autores citam que com o modelo numérico desenvolvido, é possível avaliar o comportamento do sistema e testar novas políticas nos diversos componentes do sistema antes que elas sejam efetivamente implementadas. Portanto, como os efeitos de modificações em subsistemas são interpretados numericamente, o gerente portuário decidirá pela implantação ou não de políticas que tragam reais benefícios no desempenho do sistema e, conseqüentemente, melhorem sua eficiência.

Da mesma forma, Wanke (2011) utilizou técnicas de simulação e o *software* Arena, com a finalidade de reduzir custos de um sistema portuário. Como diferencial, este estudo apresenta uma abordagem da relação entre as políticas de alocação de ancoradouros e as prioridades nas filas de navios, além de quantificar seus principais efeitos, por meio de uma análise estatística multivariada.

Pérez e Riaño (2007), com o intuito de realizar uma análise a respeito das filas no restaurante de uma escola, também fizeram uso da simulação. A aplicação de técnicas de simulação para análises de diferentes cenários permitiu que fosse melhorado o desempenho do sistema, reduzindo o tempo de espera nas filas.

Fazendo uma análise semelhante, porém em outro setor, Miranda et al. (2010) realizaram um estudo de simulação para o sistema de *check-in* das companhias aéreas do aeroporto internacional Tancredo Neves, em Belo Horizonte. As etapas seguidas para a condução do trabalho, geralmente utilizadas em estudos de simulação, foram: formulação do problema e definição do objetivo, conceituação do modelo, coleta de dados, desenvolvimento do modelo computacional, verificação, validação,

experimentos computacionais e análise de resultados. Nesse estudo, o modelo também poderá ser utilizado como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão pelos gestores do aeroporto, de maneira a adequar as operações consideradas ao crescimento da demanda dentro de níveis de serviço aceitáveis.

Dessa forma, verifica-se que a simulação tem sido utilizada para resolver problemas de filas em diversas áreas de aplicação. Além das aplicações expostas ainda podem ser citados os seguintes trabalhos e aplicações: Lange, Samoilovich e Van Der Rhee (2013), que estudaram a redução de custos de segurança em aeroportos; Almodóvar e Gracia-Ródenas (2013), buscando otimizar o reagendamento de passageiros de trem em caso de emergência; e Fournier e Zaric (2013) que buscaram avaliar a capacidade de unidade de tratamento intensivo neonatal.

3 METODOLOGIA

Os sistemas reais geralmente apresentam alta complexidade em razão da sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e da sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias). O modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido as mesmas condições de contorno (CHWIF; MEDINA, 2007). A Figura 1 mostra o que deve ser realizado para a construção e utilização da simulação como ferramenta de tomada de decisão.

De acordo com Chung (2004), a realização de um estudo de simulação completo (ou minucioso) e seguro (idôneo) envolve a observância de alguns passos, que são consensuais na literatura sobre simulação. A ordem e a inter-relação entre estes passos

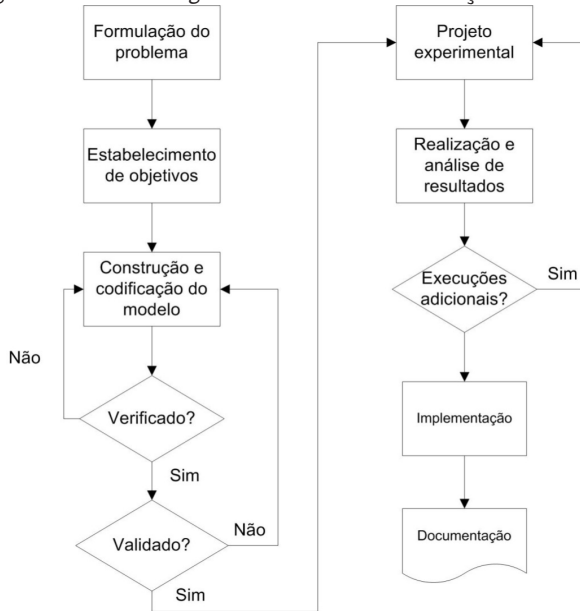
estão explicitados na Figura 1, que se inicia com a formulação do problema e estabelecimento dos objetivos que se desejam alcançar. Os próximos passos são a verificação e a validação do modelo, e, por fim, a análise dos resultados, visando alcançar um determinado nível de confiança estatística dos dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este projeto foi desenvolvido em um supermercado localizado na cidade de Viçosa, MG, que conta com 13 caixas de atendimento, sendo um preferencial para: gestantes, idosos, pessoas com criança de colo e deficientes físicos; quatro caixas rápidos, limitados a compras de no máximo 15 volumes; e os demais caixas de atendimento normal.

O estudo foi feito considerando-se a situação do supermercado de segunda a sexta-feira, em que o seu horário de funcionamento é das 8h às 20h30min. A configuração atual do sistema de caixas geralmente é feita da seguinte maneira: no turno da manhã funcionam cinco caixas normais e um rápido, enquanto no turno da tarde são sete caixas normais e dois caixas rápidos. Além disso, o funcionamento do caixa rápido se inicia às 9h.

Figura 1 – Diagrama da metodologia de um estudo de simulação



Fonte: adaptado de Chung (2004).

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é a etapa em que são mensuradas e registradas as variáveis de entrada necessárias ao funcionamento do modelo. Por meio da observação do comportamento do sistema foram determinadas quais as variáveis de entrada utilizadas, além dos intervalos de tempo em que estas seriam coletadas.

Para tanto, foram coletados *in loco* os tempos de intervalos entre chegadas de clientes nas filas e os tempos de atendimento, para diferentes dias e horários, pois ocorre uma variação considerável no fluxo de pessoas no supermercado, variação considerada pelo modelo elaborado para a simulação do sistema. Dessa forma, são verificados os horários de maior e menor fluxo no sistema. A definição de quais seriam as variáveis coletadas foi feita tomando como base a metodologia apresentada por Chwif e Medina (2007);

estas duas variáveis já fornecem as informações necessárias para a análise do desempenho do sistema.

A princípio foram coletados os intervalos de chegada de clientes nos caixas normais para todas as horas do dia, determinando-se os horários de maior movimento e separando-os em grupos de horários semelhantes, os quais foram utilizados na coleta dos intervalos de chegada de clientes nos caixas rápidos. Os tempos de atendimento foram coletados separadamente no turno da manhã e da tarde, já que ocorre a troca dos atendentes entre 14h e 15h. Essa segregação foi utilizada para construir a lógica de controle no modelo de simulação.

Segundo Vincent (1998) e Chwif e Medina (2007), o tamanho da amostra deve estar entre 100 e 200 observações para a grande parte dos estudos em simulação. Amostras menores, após passarem pelo devido tratamento estatístico, podem comprometer a identificação do melhor modelo probabilístico e amostras maiores não trazem ganhos significativos ao estudo. Assim, para cada um dos grupos de horários estabelecidos para as variáveis de entrada, foi coletada uma amostra dentro desse intervalo especificado.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

3.3.1 Identificação de *outliers*

Outliers são valores não usuais da amostra, geralmente ocasionados por erros na coleta dos dados ou pela ocorrência de eventos raros. Segundo Chwif e Medina (2007), a presença destes valores pode distorcer os níveis de significância dos testes estatísticos realizados e prejudicar a estimativa da distribuição de probabilidade adequada à variável analisada, o que pode levar a conclusões equivocadas sobre o fenômeno em estudo. Assim, geralmente é interessante removê-los da amostra.

Porém, no caso específico do estudo realizado, não foram retirados os dados muito baixos ou muito altos, considerados como possíveis *outliers* da amostra, pois estes não ocorreram em razão de erros na coleta ou eventos raros, mas da natureza aleatória do sistema. Além disso, foi verificado que a retirada destes dados tornou o modelo inválido. De acordo com Chwif e Medina (2007): “[...] normalmente, devemos retirar da amostra todos os outliers encontrados, contudo, este nem sempre é o procedimento mais correto, pois, às vezes, trata-se de um valor que não podemos desprezar ou de uma característica própria do fenômeno.”

3.3.2 Análise de correlação

Nessa etapa foi verificada a hipótese de independência dos dados. Para tanto, foi analisado o coeficiente R^2 do diagrama de dispersão que representa os valores coletados, na ordem em que a coleta foi feita, em função dos valores. A finalidade desta análise é garantir que, caso não exista correlação, possa ser feita uma inferência estatística a partir dos dados, a fim de determinar qual distribuição de probabilidade eles melhor se ajustam. Essa garantia ocorre em decorrência do fato de que se não existe correlação entre as observações da amostra, a variação entre seus valores é causada apenas por fatores aleatórios, não havendo nenhuma causa especial de variação. A verificação da existência da correlação ocorre por meio de uma análise visual do gráfico construído (CHWIF; MEDINA, 2007).

3.3.3 Testes de aderência

A partir dos números de classes obtidos na inferência dos dados, foi utilizado o *Input Analyzer* do *software Arena*, com a

finalidade de se determinar qual distribuição de probabilidade se ajusta melhor a cada variável de entrada. O *Input Analyzer* permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles (PRADO, 2004b). Essa análise foi feita com base no teste de Kolmogorov-Smirnov, considerando a análise do p-valor. De acordo com Montgomery e Runger (2008), o p-valor é o menor nível de significância que conduz à rejeição da hipótese de aderência dos dados a uma determinada distribuição, ou seja, no caso do p-valor ser menor ou igual ao nível de significância estabelecido, a hipótese de aderência é rejeitada; caso contrário, ela não será rejeitada ao nível de significância escolhido. O critério de classificação do p-valor é usualmente estabelecido de acordo com a Tabela 1. No presente estudo foi adotado o nível de significância de 10%.

Tabela 1 – Critérios usuais para a classificação do p-valor

Valor	Critério
$p\text{-valor} < 0,01$	Evidência fortíssima contra a hipótese de aderência.
$0,01 \leq p\text{-valor} < 0,05$	Evidência forte contra a hipótese de aderência.
$0,05 \leq p\text{-valor} < 0,10$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência.
$0,10 \leq p\text{-valor}$	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência.

Fonte: adaptado de Chwif e Medina (2007).

3.3.4 Comparação dos caixas

Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2004), o objetivo da Análise de Variância (Anova) é realizar um teste para verificar se há diferenças significativas entre as médias de pelo menos dois grupos de observações, sendo cada grupo formado pelos resultados de um tratamento.

Foi realizada uma Análise de Variância a fim de verificar se diferentes caixas (tratamentos), que constituem a fonte de variação da Anova, apresentam diferentes tempos de atendimento. Com um resultado significativo para o teste F, foi utilizado o teste de Tukey para verificar quais caixas diferem entre si para o tempo de atendimento. Estes testes foram realizados de forma separada para dois grupos: caixas comuns e caixas rápidos. Realizou-se esta divisão em razão de existir o limite de 15 volumes por compra para os caixas rápidos, o que tende a gerar um menor tempo de atendimento dos clientes. Para ambos os testes foi utilizado um nível de significância de 5%.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo foi implementado com o uso do *software* de simulação *Arena*. Segundo Prado (2004b), o *Arena* possui um conjunto de módulos que funcionam como comandos de uma linguagem de programação, facilitando muito a tarefa de implementação. Além disso, ele utiliza uma Interface Gráfica para Usuário ou *Graphical User Interface* (GUI), que em muito automatiza o processo e reduz a necessidade de teclado, pois o *mouse* é a ferramenta utilizada.

A implementação do modelo se realizou com base no processo observado e nas distribuições de probabilidade identificadas para as variáveis de entrada.

Além disso, foi construída uma representação gráfica para o modelo, de forma a facilitar a visualização e o entendimento da dinâmica do sistema.

3.5 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

A verificação consiste em avaliar se o modelo computacional realmente representa o que se espera ao implementá-lo, ou seja, se a lógica de programação reflete a lógica do processo real. Já a validação trata da comparação entre o modelo implementado e o que ocorre na realidade no sistema. Ambas foram realizadas de acordo com técnicas sugeridas por Chwif e Medina (2007).

A verificação ocorreu por meio de duas técnicas de análise. A primeira consiste em tomar os valores médios de cada distribuição e considerar estes valores como constantes e determinísticos, de forma a realizar uma avaliação determinística, sendo possível realizar o cálculo das variáveis de saída à mão, os quais podem ser comparados com as saídas do modelo. A segunda técnica utilizada é a animação gráfica, a qual permite observar se o que está acontecendo na simulação é realmente o que era esperado ou não.

Para validar o modelo, este foi apresentado ao gerente do supermercado. Dessa forma, ele pôde observar o comportamento do sistema ao longo do tempo apresentado pelo modelo e compará-lo com o observado em seu dia a dia de trabalho. Além disso, foi feito um gráfico mostrando o número de pessoas nas filas de caixas normais e rápidos no decorrer do funcionamento do supermercado, para que o gerente pudesse observar o modelo como um todo de forma mais simples.

3.6 REPLICAÇÕES DO MODELO

Depois da etapa de validação, o modelo de simulação pode fornecer informações válidas e reais sobre os diversos cenários que poderão ser implementados. No entanto, entradas de dados

aleatórias implicam saídas de dados também aleatórias; assim, não se pode obter conclusões a partir de uma simulação com uma única replicação. Segundo Chwif e Medina (2007), uma replicação é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e os mesmos parâmetros de entrada, mas uma semente de geração dos números aleatórios diferentes. No caso do sistema simulado, cada replicação representa um dia completo de trabalho no supermercado. Com a definição do número de replicações a serem simuladas, será alcançado um nível preestabelecido de confiança estatística dos dados.

Foi calculado o número ideal de replicações, de forma que a medida de desempenho escolhida foi estimada de acordo com uma precisão desejada. A medida de desempenho escolhida para a análise dos resultados foi o número de pessoas na fila. Seguindo como base a metodologia de Chwif e Medina (2007), foi realizada uma amostra piloto, e, em seguida, calculado o número de replicações pela seguinte expressão representada pela Equação 1.

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil \quad (1)$$

Em que:

$\lceil x \rceil$ corresponde ao arredondamento para o primeiro número inteiro superior a x ;

n é o número de dados da amostra inicial;

$h = t_{n1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} h = t_{n1,\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do intervalo de confiança, denominada de precisão;

$t_{n-1, \alpha/2}$ é o $(1-\alpha/2)$ percentil da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade;
 s é o desvio padrão da amostra;
 h^* é a precisão desejada.

O intervalo de confiança $100(1-\alpha)\%$ para a média (μ) de uma população é construído por meio da Equação 2.

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad (2)$$

Em que:

\bar{x} é a média da amostra.

Assim, foram realizadas duas amostras de 10 dados: uma para o número médio de pessoas nas filas do caixa normal e uma para o número de pessoas nas filas dos caixas rápidos. O nível de significância utilizado foi $\alpha = 0,05$, o que resulta em um nível de confiança de 95%.

Enquanto a precisão h do intervalo não for menor do que a precisão desejada h^* , o número de replicações necessárias é calculado novamente, até que se encontre um valor de $h < h^*$. A precisão desejada para os caixas normais foi de 0,25 e para os caixas rápidos foi de 0,50. Esses valores foram estimados com base na média do número de pessoas na fila para os dois casos.

3.7 COMPARAÇÃO COM A TEORIA DAS FILAS

A Teoria das Filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas (PRADO, 2004a). Para

tanto, são utilizadas como variáveis de entrada o ritmo médio de chegada de clientes (λ), que quantifica o número médio de clientes o qual chega ao sistema em um dado intervalo de tempo; e o ritmo médio de atendimento (μ), que representa o número médio de clientes atendidos por determinado caixa em um dado intervalo de tempo. A aplicação da Teoria das Filas somente é possível nos casos em que estas variáveis apresentem determinadas distribuições conhecidas, como Exponencial ou Erlang.

Nem todos os dados coletados de ritmos de chegadas de clientes nas filas e ritmos de atendimento assumiram distribuições exponenciais. Porém, foi considerado que tais dados pudessem assumir distribuições exponenciais a fim de se fazer um estudo utilizando Teoria das Filas, já que, dessa forma, este poderia ser feito com a utilização de equações menos complexas.

Com base no valor médio dos ritmos de chegadas nas filas e no valor médio dos ritmos de atendimentos nos caixas foi possível, por meio das equações utilizadas pela Teoria das Filas, estimar o tempo médio de permanência na fila e o número médio de clientes nesta. Prado (2004b) aponta que uma vantagem da simulação sobre métodos analíticos, como a Teoria das Filas é o fato de poder utilizar qualquer curva de probabilidade que o problema exija. Essa comparação permitiu verificar se, para esse caso específico, essa vantagem da simulação resulta em uma diferença prática nos resultados do modelo.

As equações utilizadas para os caixas comuns e o caixa preferencial, em que existe fila individual para cada caixa, são as do modelo de filas M/M/1, as quais são representadas pelas Equações 3 a 7 (PRADO, 2004a). Estas equações foram utilizadas para determinar os seguintes parâmetros: número médio de clientes na fila (NF), tempo médio de espera na fila (TF), intervalo médio entre chegadas

(IC), tempo médio de atendimento (TA) e taxa de utilização dos atendentes (ρ).

$$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (3)$$

$$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

$$IC = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

$$TA = \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (7)$$

Em que:

λ é o ritmo médio de chegada de clientes;

μ é o ritmo médio de atendimento.

Já para os quatro caixas rápidos, os quais possuem uma fila única, as equações são fornecidas pelo modelo de filas M/M/c, em que c é o número de atendentes do sistema; no caso deste estudo o valor é igual a 4. Essas variáveis estão representadas pelas Equações 8 a 12 (GROSS et al., 2008).

$$NF = \frac{P_{\geq c} \rho}{(1 - \rho)} \quad (8)$$

$$TF = \frac{NF}{\lambda} = \frac{P_{\geq c}}{c\mu - \lambda} \quad (9)$$

$$P_{\geq c} = \frac{(c\rho)^c P_0}{c!(1-\rho)} \quad (10)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^i}{i!} + \frac{(c\rho)^c}{c!(1-\rho)}} \quad (11)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (12)$$

Em que:

$P_{\geq c}P_{\geq c}$ é a probabilidade de que em um dado momento se encontrem “c” ou mais clientes no sistema;

P_0P_0 é a probabilidade de não haver nenhum cliente no sistema.

Os resultados obtidos por meio da Teoria das Filas foram comparados com os resultados obtidos por meio da simulação, a fim de verificar se ambos apresentam ou possibilitam estas conclusões. Assim, pode-se determinar qual solução representa de forma fidedigna o funcionamento do sistema e apresenta resultados mais próximos à realidade.

3.8 MONTAGEM DOS CENÁRIOS PARA A TOMADA DE DECISÃO

A execução do modelo permitiu observar se os desejos da gerência são alcançados, com destaque para a redução do número de pessoas e o tempo de espera nas filas nos horários críticos entre 18h

e 20h. Alterações no modelo foram feitas a fim de testar se outros cenários possíveis conseguiriam resolver o problema das filas nos horários críticos.

Foram testados cinco cenários além do cenário um, que representa o modelo real do sistema. No cenário dois foi realocado um funcionário do turno da manhã para o turno da tarde nos caixas normais. Já no cenário três, foi realocado um funcionário do turno da manhã nos caixas normais para o turno da tarde nos caixas rápidos. Os cenários quatro, cinco e seis representam os cenários um, dois e três, respectivamente, com a diferença de apresentarem treinamento aos atendentes dos caixas normais. A condição de treinamento dos atendentes foi feita considerando-se o tempo de atendimento de todos os caixas normais como iguais à média dos tempos de atendimentos dos caixas, que foram enquadrados no grupo de tempos baixos pelo teste de Tukey. A Tabela 2 apresenta as configurações desses diferentes cenários.

Tabela 2 – Cenários analisados por meio do modelo

Cenário	Atendentes nos caixas normais		Atendentes nos caixas rápidos		Treinamento?
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	
1 (Real)	5	7	1	2	Não
2	4	8	1	2	Não
3	4	7	1	3	Não
4	5	7	1	2	Sim
5	4	8	1	2	Sim
6	4	7	1	3	Sim

Fonte: os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

4.1.1 Análise de correlação

A análise de correlação foi realizada com base no coeficiente de determinação (R^2), fornecido pelo coeficiente de correlação ao quadrado para o intervalo entre chegadas de clientes e tempo de atendimento nos caixas normais e rápidos (Tabela 3). Como os valores de R^2 são pequenos, verifica-se que não há correlação entre os valores coletados e a ordem de coleta. Ou seja, não existe uma tendência de aumento ou queda dos valores ao longo do tempo, sendo os diferentes tratamentos e o resíduo aleatório as únicas fontes de variação dos dados. Esse resultado permitiu que fossem feitas as análises estatísticas que se sucederam, além de utilizar o modelo de simulação proposto.

4.1.2 Testes de aderência

A aderência das distribuições de probabilidade aos dados foi realizada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com o intuito de identificar a adequação das distribuições de probabilidade a cada um dos conjuntos de dados de entrada. Utilizando o Input Analyzer do *software* Arena, verifica-se que foi encontrada uma distribuição que represente de forma satisfatória cada variável, uma vez que para todas estas se obteve p-valor elevado ($>0,15$), o que demonstra boa aderência da distribuição escolhida.

Para alguns conjuntos de dados não foi possível aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov, por restrições computacionais; para

estes foi realizado o teste qui-quadrado. A estatística do teste e o p-valor dessas amostras estão marcados com um asterisco na Tabela 4, por se tratarem de um teste diferente.

Tabela 3 – Valores de R² para a análise de correlação de todas as variáveis de entrada

Variável	Horário/Atendente	R ²
IC - caixas normais	8:00-9:00	2,8%
	9:00-10:00	0,6%
	10:00-11:00	0,7%
	11:00-12:00	7,9%
	12:00-13:00	0,6%
	13:00-14:00	2,6%
	14:00-15:00	0,2%
	15:00-16:00	0,4%
	16:00-17:00	1,5%
	17:00-18:00	0,6%
	18:00-19:00	0,2%
	19:00-20:00	0%
	20:00-20:30	2,3%
	Grupo 1 (8:00-9:00, 10:00-13:00, 14:00-15:00, 20:00-20:30)	3,5%
	Grupo 2 (13:00-14:00)	4,9%
IC - caixas rápidos	Grupo 3 (9:00-10:00)	0,6%
	Grupo 4 (15:00-18:00 e 19:00-20:00)	0,4%
	Grupo 5 (18:00-19:00)	1,7%
TA - caixas normais (Manhã)	Atendente A	0,00%
	Atendente B	15%
	Atendente C	1,5%
	Atendente D	1,1%
TA - caixas normais (Tarde)	Atendente E	1,3%
	Atendente F	1,4%
	Atendente G	0,8%
	Atendente H	3,6%
TA - caixas rápidos (Manhã)	Atendente A	2,3%
	Atendente B	0,2%
TA - caixas rápidos (Tarde)	Atendente C	2,4%
	Atendente D	1,4%

Fonte: os autores.

Como exposto por Gross et al. (2008) e Vincent (1998), os tempos referentes ao intervalo entre chegada de clientes na fila devem seguir uma distribuição exponencial, corroborando o que foi encontrado no presente estudo.

Tabela 4 – Distribuições estatísticas mais adequadas e os respectivos resultados dos testes de aderência para as variáveis de entrada

Variável	Horário/Turno	Expressão	Estatística do teste	p-valor
IC - caixas normais	8:00-9:00	0.999 + EXPO(32.3)	0,0937	> 0,15
	9:00-10:00	0.5 + 75 * BETA(1.07, 2.25)	2,79*	0,44*
	10:00-11:00	0.999 + EXPO(32.3)	0,0622	> 0,15
	11:00-12:00	0.999 + EXPO(32.3)	0,0839	> 0,15
	12:00-13:00	0.999 + EXPO(32.3)	0,0487	> 0,15
	13:00-14:00	0.999 + EXPO(25.6)	0,0782	> 0,15
	14:00-15:00	0.999 + EXPO(32.3)	0,0559	> 0,15
	15:00-16:00	0.999 + EXPO(17.4)	3,87*	0,16*
	16:00-17:00	0.999 + EXPO(17.4)	1,08*	0,595*
	17:00-18:00	0.999 + EXPO(17.4)	0,0675	> 0,15
	18:00-19:00	0.5 + 49 * BETA(0.593, 1.75)	3,81*	0,165*
	19:00-20:00	0.999 + EXPO(17.4)	0,0765	> 0,15
20:00-20:30	0.999 + EXPO(32.3)	0,0736	> 0,15	
IC - caixas rápidos	Grupo 1	4 + EXPO(107)	0,0947	> 0,15
	Grupo 2	5 + EXPO(81.6)	0,0898	> 0,15
	Grupo 3	3 + EXPO(95.3)	0,0368	> 0,15
	Grupo 4	0.5 + EXPO(27.5)	2,97*	0,234*
	Grupo 5	0.999 + EXPO(27.6)	0,05	> 0,15
TA - caixas normais	Manhã	16 + EXPO(96.4)	0,089	> 0,15
	Tarde	15 + EXPO(85.3)	0,074	> 0,15
TA - caixas rápidos	Manhã	14 + WEIB(57.3, 1.41)	0,0692	> 0,15
	Tarde	13 + WEIB(52, 1.54)	0,0463	> 0,15

Fonte: os autores.

*Nota: Análise realizada pelo teste de qui-quadrado

4.1.3 Comparação dos caixas

A fim de verificar diferenças entre os tempos de atendimento entre os atendentes dos caixas, foi realizada Anova com fonte de variação única (atendentes). A Tabela 5 apresenta a Anova realizada para os diferentes atendentes dos caixas normais e rápidos. Observa-se que para os caixas normais resultou em um p-valor muito baixo (p-valor = 0,0004), sugerindo a rejeição da hipótese de que o tempo de atendimento de todos os caixas é igual. Em contrapartida, para os caixas rápidos não há evidência sobre a existência de diferença entre seus tempos de atendimento (p-valor = 0,4429).

Uma vez que o teste F identificou que há diferença entre os tempos de atendimento dos atendentes para os caixas normais, procedeu-se ao teste de comparação de médias de Tukey (Tabela 6), detalhando a diferença entre tempos de atendimento apontados pela Anova. Para essa análise, foi adotado que atendentes presentes em um mesmo grupo apresentam tempos de atendimento estatisticamente iguais entre si, para um nível de significância de 5%.

Tabela 5 – Anova comparando diferentes atendentes nos caixas normais e caixas rápidos

Tipo de caixa	Fonte da variação	SQ	GL	F	p-valor
Caixa normal	Tratamento (atendentes)	396045	7	3,96637	0,0004
	Resíduo	3309340	232		
	Total	3705386	239		
Caixa rápido	Tratamento (atendentes)	2808,08	3	0,89798	0,4429
	Resíduo	245999	236		
	Total	248807	239		

Fonte: os autores.

SQ: Soma de Quadrados; GL: Graus de Liberdade; F: Estatística F de Fischer.

Os atendentes A e H apresentam um desempenho abaixo do obtido pelo atendente E, o qual não apresenta diferença para

os demais. Esse resultado indica que existe a possibilidade de se reduzir os tempos de atendimento dos atendentes A e H, caso estes se igualem aos demais. A diferença apontada pela Anova e pelo teste de Tukey sugere que o treinamento dos atendentes A e H reduziria seus tempos de atendimento, conseqüentemente diminuindo as filas do supermercado e também suas taxas de utilização, o que permite maior balanceamento das atividades desses trabalhadores ao longo do dia.

Tabela 6 – Teste de Tukey para os atendentes dos caixas normais. Letras iguais mostram médias iguais ao nível de 5% de significância

Atendente	Média	Grupos		
E	50,8333	a		
F	64,6667	a	b	
B	78,4667	a	b	
D	99,0667	a	b	c
G	108,567	a	b	c
C	116,2	a	b	c
A	155,833		b	c
H	177,067			c

Fonte: os autores.

*Nota: Letras iguais indicam médias com diferença não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

A partir da lógica elaborada para a representação do sistema real, foi realizada a programação do modelo no *Arena*. O modelo final consiste na criação de entidades que representam os clientes dos caixas normais e rápidos, separadamente. Estas entidades são criadas de acordo com as distribuições obtidas para o intervalo de chegada de clientes em cada tipo de caixa. Para os caixas normais, foi implementado um módulo de decisão em que os clientes escolhem a menor fila, dentre aqueles que estão operando, enquanto os clientes dos caixas rápidos se organizam em fila única. Os tempos

de atendimento são determinados pelas distribuições estatísticas obtidas para o tempo de atendimento para os dois tipos de caixas e para cada turno de trabalho dos atendentes (manhã e tarde).

Para representar a variação existente no intervalo entre chegadas de clientes e tempos de atendimento entre os turnos, foi necessária a programação de lógicas de controle por meio da utilização de sucessivos módulos *Assign* e *Delay*. Essa sequência visa alterar as expressões que determinam o intervalo de chegada de clientes durante os diferentes horários do dia e o tempo de atendimento nas duas turmas (manhã e tarde). Além disso, foi utilizado o módulo *Schedule* para alterar o número e o horário de atendentes no decorrer do tempo de funcionamento do supermercado durante o dia.

Para facilitar a visualização dos resultados da simulação, foi utilizada, no modelo, a representação gráfica do sistema apresentada na Figura 2.

4.3 REPLICAÇÃO DO MODELO

Utilizando uma amostra piloto de 10 replicações, foi obtido o número médio de pessoas nas filas dos caixas normais com intervalo de confiança de $0,674 \pm 0,2$ pessoa, com 95% de probabilidade. Como se desejava uma precisão de 0,25 pessoa, a amostra piloto de 10 replicações já se mostrou suficiente para proceder à análise dos resultados.

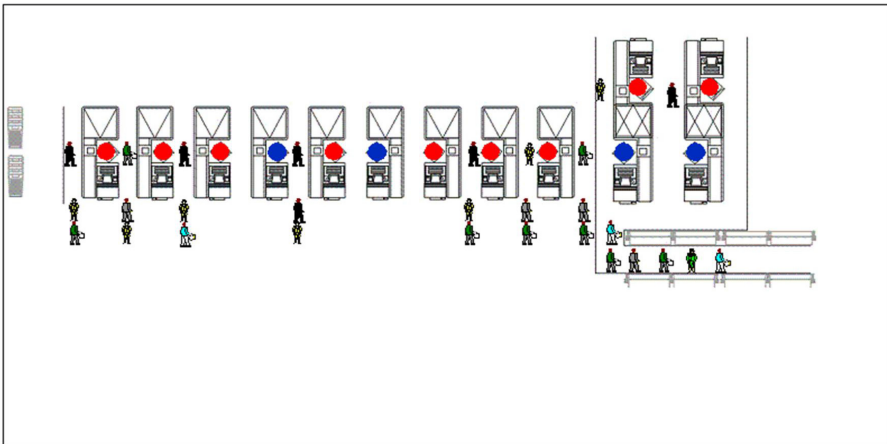
Já para os caixas rápidos, a amostra piloto não foi suficiente. Com os dados obtidos, foi determinado o intervalo de confiança de $2,241 \pm 0,621$ pessoa, com 95% de probabilidade. Desejava-se uma precisão de 0,5, maior que a estipulada para os caixas normais por se tratar de uma fila única, com média de pessoas na fila consideravelmente maior. Logo, foi estimado que, para tal precisão, seriam necessárias 16 replicações, por meio da Equação 2. Fazendo

uso deste novo número de replicações, obteve-se o intervalo de confiança de $2,138 \pm 0,472$ pessoa, com a mesma probabilidade.

Dessa forma, de acordo com o nível de significância e as precisões estabelecidas, o número ótimo de replicações para o modelo foi estipulado em 16. Para este novo número de replicações foi obtido um intervalo de confiança de $0,675 \pm 0,137$ para o número médio de clientes nas filas dos caixas normais, com 95% de probabilidade.

Figura 2 – Representação gráfica do modelo implementado

18:09:23



Fonte: os autores.

4.4 COMPARAÇÃO COM A TEORIA DAS FILAS

A Tabela 7 apresenta uma comparação entre as variáveis de saída do modelo de simulação e as mesmas variáveis calculadas utilizando as equações descritas para modelos de Teoria das Filas. Nesta comparação foi utilizada a configuração dos caixas observada no dia a dia do sistema.

Percebe-se que os resultados obtidos são consideravelmente diferentes. Isso pode ser explicado pelo fato de a simulação considerar o caráter aleatório das variáveis, fazendo uso de distribuições de

probabilidade, enquanto a Teoria das Filas se utiliza de valores constantes, apenas as médias das variáveis em seus cálculos. Além disso, a Teoria das Filas exige que as variáveis de entrada apresentem determinadas distribuições preestabelecidas, não possuindo a flexibilidade que a simulação oferece. Ou seja, apesar de ser uma técnica mais dispendiosa, a simulação consegue obter um resultado mais fiel à realidade, fornecendo maior confiança aos resultados obtidos. Gross et al. (2008) relatam que a utilização da Teoria das Filas se mostra importante para casos específicos em que há adequação às suas restrições; o resultado encontrado no presente trabalho corrobora tal afirmativa.

Tabela 7 – Comparação entre simulação e Teoria das Filas

Variável	Simulação	Teoria das Filas
Número médio de clientes na fila – Caixas normais	0,675	1,707
Tempo médio de espera na fila – Caixas normais (min)	1,567	4,282
Nível de utilização médio de atendentes – Caixa normal	0,743	0,707
Número médio de clientes na fila – Caixa rápido	2,138	0,978
Tempo médio de espera na fila – Caixa rápido (min)	2,66	1,232
Nível de utilização médio de atendentes – Caixa rápido	0,527	0,637

Fonte: os autores.

Com base neste resultado, decidiu-se por prosseguir com a análise de cenários apenas por meio da simulação, já que se observou que as equações da Teoria das Filas não seriam ferramentas de estudo adequadas para esse caso. Essa decisão foi baseada no fato de que o modelo de simulação foi validado, possibilitando utilizá-lo para avaliar modificações pertinentes nos cenários construídos.

4.5 ANÁLISE DE DIFERENTES CENÁRIOS

De posse dos resultados da simulação para o cenário real e os cinco cenários propostos, foi realizada Anova ao nível de significância de 5%, a fim de verificar se a diferença entre os valores observados era realmente causada pelas características de cada cenário ou por causas aleatórias. Os resultados dessas análises estatísticas são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da Anovas entre os seis cenários para as variáveis de saída do modelo

Variável	F	p-valor
Número médio de clientes na fila – Caixas normais	39,904	<0,0001
Tempo médio de espera na fila – Caixas normais	37,874	<0,0001
Nível de utilização médio de atendentes – Caixas normais	231,602	<0,0001
Número médio de clientes na fila – Caixas rápidos	10,874	<0,0001
Tempo médio de espera na fila – Caixas rápidos	12,389	<0,0001
Nível de utilização médio de atendentes – Caixas rápidos	111,749	<0,0001

Fonte: os autores.

Para todos os testes, obteve-se um p-valor muito pequeno, bem abaixo dos 5% de significância estipulados, indicando a existência de diferença real entre as variáveis de saída dos diferentes cenários. A Tabela 9 mostra os resultados da simulação dos diferentes cenários propostos, além do resultado dos testes de médias de Tukey aplicados. NF é o número médio de pessoas em cada fila, TF é o tempo médio que cada pessoa espera na fila, em minutos e NU é o nível de utilização de cada caixa.

Tabela 9 – Número médio de pessoas em cada fila (NF), tempo médio que cada pessoa espera na fila, em minutos (TF) e nível de utilização de cada caixa (NU) para cada cenário

Cenário	Caixas normais			Caixas rápidos		
	NF	TF (min)	NU	NF	TF (min)	NU
1 (Real)	0,675 b	1,567 b	0,743 c	2,138 c, d	2,66 b, c	0,527 b
2	1,006 b	2,392 c	0,746 c	2,31 c, d	2,82 b, c	0,522 b
3	1,461 c	3,163 c	0,816 d	0,368 a	0,456 a	0,387 a
4	0,208 a	0,47 a	0,619 a	1,798 b, c	2,229 b	0,528 b
5	0,148 a	0,341 a	0,608 a	3,195 d	3,792 c	0,526 b
6	0,287 a	0,6 a	0,67 b	0,457 a, b	0,562 a	0,389 a

Fonte: os autores.

*Nota: Letras iguais na coluna indicam diferença não significativa ao nível de probabilidade de 5% pelo teste de comparações de médias de Tukey. NF: número médio de pessoas em cada fila; TF: tempo médio que cada pessoa espera na fila; NU: nível de utilização de cada atendente.

Observa-se que a alteração proposta para o cenário dois não surtiu o efeito desejado. Apesar de o aumento do número de caixas normais no período da tarde auxiliar as atividades no horário de pico, este cenário deixa o turno da manhã com um número muito pequeno de caixas normais, de forma que o número médio de pessoas e o tempo médio de espera na fila não diminuam. O cenário três também não apresenta bons resultados, uma vez que promove a melhoria dos parâmetros dos caixas rápidos, mas reduz o desempenho dos caixas normais. Já nos cenários quatro, cinco e seis se observa uma diminuição nas filas dos caixas normais, apontando o treinamento como uma boa solução.

A alteração proposta no cenário três se mostrou eficaz no sentido de reduzir a fila dos caixas rápidos, porém, o atendente retirado dos caixas normais causa um aumento considerável no número de pessoas e no tempo de espera das filas destes caixas, fazendo com que este cenário não seja tão interessante. Contudo, unindo a proposta deste cenário com o treinamento dos caixas

normais, o qual se mostrou uma boa solução para a redução das filas destes, temos o cenário seis, em que se conseguiu reduzir as filas dos dois tipos de caixa.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra a aplicação da simulação como uma técnica que proporciona aos gerentes maior embasamento na tomada de decisões. Por meio da simulação é possível prever as consequências de certas alterações nos processos da empresa e, dessa forma, analisar a viabilidade destas sem ter de testá-las no sistema real, o que aumenta a probabilidade de se fazer a melhor escolha.

Verificou-se que os tempos de atendimento dos funcionários dos caixas normais apresentaram diferença significativa; dois atendentes (A e H) apresentaram desempenho abaixo do obtido pelo atendente E. Com esta diferença considerável entre os tempos de atendimento dos caixas de um mesmo grupo, constatou-se a existência de falta de treinamento de alguns, sendo uma das possíveis alternativas de melhoria do sistema.

O modelo implementado retrata de forma fidedigna o funcionamento do sistema, conforme verificado pelo gerente do supermercado. Foi possível, ainda, definir cenários que contribuem para a minimização das filas nos caixas de atendimento do supermercado, realocando atendentes do turno da manhã para o turno da tarde e dos caixas normais para os caixas rápidos, além de considerar o treinamento dos atendentes de caixas normais, os quais atenderiam os clientes em menor tempo.

Uma comparação dos resultados realizada entre a simulação e a Teoria das Filas mostrou uma diferença considerável entre eles, em que se concluiu que nesse sistema as equações da Teoria das

Filas não seriam ferramentas de estudo adequadas. A simulação se mostrou uma ferramenta com maior capacidade de representar a realidade, por considerar a variação aleatória dos dados de entrada do sistema.

Visando à melhoria no atendimento e minimização das filas, sugere-se que seja feito treinamento com os funcionários dos caixas normais. O treinamento em conjunto com a realocação de um funcionário do turno da manhã no caixa normal para o turno da tarde no caixa rápido se mostrou como a melhor alternativa para a solução da minimização das filas no supermercado. Esse cenário resultou em uma redução considerável no número médio de pessoas em cada fila e no tempo médio de espera nas filas, sem reduzir drasticamente o nível de utilização dos caixas, ou seja, promoveu equilíbrio na utilização dos colaboradores dessa atividade. Como resultado, essa modificação poderia proporcionar uma melhoria no nível de serviço oferecido, garantindo maior satisfação e fidelidade aos clientes do supermercado.

O modelo desenvolvido pode ser utilizado para qualquer outro sistema que se encaixe nas condições preestabelecidas, o que engloba a maior parte dos supermercados brasileiros. Também pode ser aumentado o seu escopo, de forma a permitir que todo o supermercado seja modelado e não somente os caixas de atendimento.

Use of simulation as a decision making tool in the customer service process of a retail store

Abstract

Was analyzed the process of customer service at the supermarket checkout, using simulation tools, considering the variability occurring throughout the

workday. Results from the simulation were also compared with the Queuing Theory. Input variables were collected from the real system (time intervals between successive arrivals of customers in the queues and service times at the checkout), where probability distribution functions were adjusted by means of Kolmogorov-Smirnov's test at 15% probability. The simulation, when compared with the Queuing Theory, showed to be a tool with greater ability to represent reality when considering random variation of the input data with greater accuracy. The best studied scenario suggests training of attendants at the normal checkouts and relocating one attendant from the normal checkout during the morning shift to the express checkout in the afternoon, which helped to minimize queues and wait times in checkout queues of the supermarket. The benefits of this scenario imply increased efficiency in customer service, increased customer satisfaction and balance in the utilization rate of the employees.

Keywords: Supermarket. Checkout. Arena. Queuing Theory.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, E. D. M. et al. Modelagem matemática fundamentada em teoria das filas: um estudo do desempenho do sistema de filas em caixas rápidos de supermercado. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2010, Bauru. **Anais...** Bauru: Unesp, 2010.

ALMODÓVAR, M.; GARCÍA-RÓDENAS, R. On-line re-schedule optimization for passenger railways in case of emergencies. **Computers & Operations Research**, v. 40, p. 725-736, 2013.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. São Paulo: Atlas, 2004.

CARPENTER, J. M. Consumer shopping value, satisfaction and loyalty in discount retailing. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 15, p. 358-363, 2008.

CHUNG, A. A. **Modeling Handbook: A practical approach**. Boca Raton: CRC Press, 2004. 573 p.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Bravarte, 2007. 254 p.

FERREIRA, M. A. M.; MENDES JUNIOR, R.; CARNIERI, C. Análise de desempenho de sistemas portuários usando simulação matemática e estatística. **Revista Produção On-Line**, v. 7, n. 3, 2007.

FOURNIER, D. L.; ZARIC, P. E. G. S. Simulating Neonatal Intensive Care Capacity in British Columbia. **Socio-Economic Planning Sciences**, 2013.

GROSS, D. et al. **Fundamentals of queuing theory**. 4. ed. New York: Wiley-Interscience, 2008. 528 p.

LANGE, R.; SAMOILOVICH, I.; VAN DER RHEE, B. Virtual queuing at airport security lanes. **European Journal of Operational Research**, v. 225, p. 153-165, 2013.

LOMBART, C.; LOUIS, D. Consumer satisfaction and loyalty: Two main consequences of retailer personality. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 19, p. 644-652, 2012.

MIRANDA, B. M. S. et al. Simulação do sistema de check-in de companhias aéreas do aeroporto internacional Tancredo Neves. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2010, Bauru. **Anais...** Bauru: Unesp, 2010.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para Engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 463 p.

MORABITO, R.; LIMA, F. C. R. Um modelo para analisar o problema de filas em caixas de supermercados: um estudo de caso. **Pesquisa Operacional**, v. 20, n. 1, p. 59-71, 2000.

MUNIZ, L. R.; GUIMARÃES, I. F. G.; CAMPOS, M. S. Aplicação da simulação computacional para análise do tráfego no cruzamento central da cidade histórica de Mariana – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador: **Anais...** Salvador, 2009.

PÉREZ, J. F.; RIAÑO, G. Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos. **Revista de Ingeniería**, v. 25, n. 1, p. 12-21, 2007.

PRADO, D. **Teoria das Filas e da Simulação**. 2. ed. Belo Horizonte: INDG TecS, 2004a. 125 p.

_____. **Usando o ARENA em simulação**. 2. ed. Belo Horizonte: INDG TecS, 2004b. 305 p.

SHABAYEK, A. A.; YEUNG, W.W. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. **European Journal of Operational Research**, v. 140, p. 1-11, 2002.

VINCENT, S. Input data analysis. In: BANKS, J. (Org.). **Handbook of Simulation**. New York: John Wiley and Sons, p. 55-91, 1998.

WANKE, P. Ship-berth link and demurrage costs: evaluating different allocation policies and queue priorities via simulation. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 113-134, 2011.

Recebido em 21 de outubro de 2012

Aceito em 20 de fevereiro de 2013

