



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

IGOR ROCHA BARREIRA

**APLICAÇÃO DE ESTUDO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO DE
CENÁRIOS PARA ARRANJOS DE FILAS EM SUPERMERCADO**

FORTALEZA

2013

IGOR ROCHA BARREIRA

APLICAÇÃO DE ESTUDO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO DE
CENÁRIOS PARA ARRANJOS DE FILAS EM SUPERMERCADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B253a Barreira, Igor Rocha.

Aplicação de estudo de simulação : um estudo comparativo de cenários para arranjos de filas em supermercado / Igor Rocha Barreira. – 2013.
74 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2013.
Orientação: Prof. Me. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

1. Simulação. 2. Filas. 3. Arena. 4. OptQuest. I. Título.

CDD 658.5

IGOR ROCHA BARREIRA

APLICAÇÃO DE ESTUDO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO DE
CENÁRIOS PARA ARRANJOS DE FILAS EM SUPERMERCADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

Aprovada em: 18/12/2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sergio José Barbosa Elias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Belo Torres
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu agradecimento sincero:

Aos meus pais, pelo apoio, exemplo, orientação, presença, retidão, incentivo e criação; sem eles não estaria no mundo, muito menos chegaria a este ponto da vida;

Aos meus irmãos, pela ajuda e orientação nos obstáculos que a vida me impõe e que com eles como guias ficam mais fáceis de serem superados;

Às amigades que nunca falham nos incentivos;

Aos amigos dentro da faculdade, internos ou não ao Curso de Engenharia de Produção, pelo conhecimento compartilhado, sem isso a faculdade não vale a pena. Em especial ao amigo Ênio Frota (UFC), pela instigação e Luiz Américo (Auburn University) pelas histórias internacionais.

Ao professor Jeffrey Smith, Auburn University, que com profundo conhecimento em simulação fez o pontapé inicial deste estudo;

Ao Prof. Me. Anselmo Pitombeira, pela orientação na construção desse trabalho e pelas conversas e compartilhamento de opiniões, e a todos meus professores, indispensáveis na minha graduação como Engenheiro;

A todos que participaram da minha formação pessoal e acadêmica.

RESUMO

No ambiente de competitividade que é observado no panorama mundial atual, muitas empresas estão gastando parte de seu orçamento em projetos que visem algum ganho para a fidelização do cliente. Em um supermercado, as filas são uma das maiores aversões do consumidor, de modo que qualquer ganho em relação a estas é de interesse das lojas. Além das novas tecnologias, como o *self checkout* e o uso de etiquetas inteligentes para que não se tenha a necessidade de passar item a item as compras; o uso inteligente do espaço e arranjos de caixas pode gerar ganho significativo ao sistema de filas. Neste trabalho, cinco cenários de arranjos de caixas são testados em seus indicadores de tamanho de fila, tempo de fila, tempo de sistema e utilização do caixa. O teste ocorre por meio do uso do *software* de simulação *Arena Simulation* o que torna o processo bem menos dispendioso, já que seria quase proibitivo fazer o teste em um mercado real. O uso da simulação vem crescendo cada vez mais pelo poder de complexidade desta, podendo fazer desde sistemas simples a sistema robustos e de alta complexidade, incluindo falhas, tempos, custos entre outros. A ferramenta *OptQuest* ainda é usada de modo a ter a menor quantidade de caixas com uma restrição de tamanho de fila. De modo geral, os indicadores foram favoráveis aos cenários de fila única, com distinção ou não entre clientes. A maior utilidade do sistema nesse tipo de fila explica o efeito. Para a otimização, a utilização de fila única sem distinção de clientes apresentou um resultado mais favorável.

Palavras-chave: Simulação, Filas, *Arena*, *OptQuest*.

ABSTRACT

In the competitive environment that is observed in the current world scenario, companies are spending part of their budget on any project that aims to gain some customer loyalty. In a supermarket, the queues are the greater aversion to the customer, so any gain to reduce lines is of interest to the companies. In addition to new technologies, such as self-checkout and the use of smart tags in order to suppress the need to do an item by item checkout; clever use of space and arrangements of checkout stations can generate sensitive gain to the queuing system. In this study, five scenarios of checkout station arrangements are tested on their indicators: queue size, queue time, system time and occupation of the station. Testing occurs through the use of Arena Simulation Software which makes the process much less expensive, since it would be almost prohibitive to test in a real market. The use of simulation has been growing more and more because of the power of its complexity, once one can test from simple systems to robust and high complexity systems, including failures, times, costs, among others system characteristics. The OptQuest tool is also used to know the least amount of stations with a queue size restriction. In general, the indicators were favorable to scenarios with single queue, with or without distinction between customers. The greater utility of this type of queue system explains the effect. For optimization, the use of single line irrespective of clients had a more favorable outcome.

Key Words: *Simulation, Queue, Arena, OptQuest.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de simulação	22
Figura 2 - Módulo <i>Create</i>	32
Figura 3 - Módulo <i>Dispose</i>	33
Figura 4 - Módulo <i>Process</i>	33
Figura 5 - Módulo <i>Decide</i>	33
Figura 6 - Módulo <i>Assign</i>	34
Figura 7 - Fluxograma de estudo de modelo de simulação.....	36
Figura 8 - Tipos de arranjos de fila.....	37
Figura 9 - Aproximação do <i>Input Analyzer</i> para distribuição Triangular a partir do histograma de itens por cliente.....	40
Figura 10 - Aproximação do <i>Input Analyzer</i> para distribuição Normal a partir do histograma de itens por cliente divididos.....	41
Figura 11 - Aproximação do <i>Input Analyzer</i> para distribuição Normal a partir do histograma de itens por cliente divididos.....	41
Figura 12 - Fluxo do modelo matemático	43
Figura 13 - Fluxograma do modelo computacional	44
Figura 14 - Fluxograma do <i>Arena</i> da parte inicial comum aos cenários propostos...	47
Figura 15 - Fluxograma do <i>Arena</i> da parte final comum aos cenários propostos	51
Figura 16 - Resultado do <i>OptQuest</i> para o cenário 1	60
Figura 17 - Resultado do <i>OptQuest</i> para o cenário 2.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Soma dos custos de qualidade para definição de ponto ótimo.....	18
Gráfico 2 - Importância do tempo de <i>warm-up</i>	28
Gráfico 3 - Histograma do número de itens comprados por cliente.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do tempo de <i>warm-up</i>	29
----------------------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Efeito do número de replicações	30
Quadro 2 - Taxa horária de chegada das clientes dividida em intervalos de 30 minutos	38
Quadro 3 - Proporcionalidade do tipo de pagamento de acordo com o número de itens	42
Quadro 4 - Arranjos dos caixas de acordo com os cenários propostos	46
Quadro 5 - Clientes processadas por cenário	55
Quadro 6 - Tempos de fila médios e médios máximos por cenário por tipo de cliente	55
Quadro 7 - Tamanhos de fila médios e máximos médios por cenário por tipo de cliente	56
Quadro 8 - Tempos de sistema médios e máximos médios por cenário	56
Quadro 9 - Taxas de utilização dos caixas médias e máximas médias por cenário..	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização	11
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	13
1.4 Metodologia	13
1.5 Estrutura do trabalho	14
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	16
2.1 Qualidade de atendimento	16
2.2 Custos da qualidade	17
2.3 Psicologia de uma fila de espera	19
2.4 Pesquisa Operacional	20
2.5 <i>Software Arena Simulation</i>	31
3. MÉTODO	36
3.1 Formulação do problema	37
3.2 Coleta e Processamento de dados	38
3.3 Formulação do Modelo Matemático	43
3.4 Avaliação do Modelo	43
3.5 Formulação do Modelo Computacional	44
3.6 Validação	52
3.7 Projetos de Experiência	53
3.8 Análise dos Dados de Saída	54
4 RESULTADOS	55
4.1 <i>OptQuest</i> : Otimização	58
5 CONCLUSÃO	62
5.1 Recomendações para trabalhos futuros	62
REFÊRENCIAS	64
APÊNDICE A – TABELA COM AMOSTRA DO NÚMERO DE ITENS COMPRADOS PELAS CLIENTES	67
APÊNDICE B - TEXTO DA PRIMEIRA COMPETIÇÃO ANUAL ROCKWELL/ARENA	71
APÊNDICE C - RELATÓRIOS DO ARENA	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A força motriz nas organizações pode ser chamada de competitividade. Para se tornarem atrativas ao consumidor e gerarem lucro, as organizações devem sempre investir cada vez mais em melhorias nos seus mais diversos departamentos a fim de se gerarem mais valor que seus concorrentes, mas sem gerarem gastos excessivos.

Os gastos são o maior empecilho da competitividade. O *trade off* entre gasto e competitividade é a parte mais importante a ser analisada pelas organizações. Com isto em perspectiva, é necessário ser competitivo inclusive na busca de melhorias que gerem ganho à organização. Sendo assim cada vez mais necessário gerar mais valor por um menor custo.

Na área de serviços, os pilares do atendimento ao cliente são a rapidez, qualidade e confiabilidade no atendimento, fazendo com que o serviço seja eficaz e eficiente. Neste contexto, a organização deve ter alta capacidade de ajuste à demanda, seja ela previsível ou não. A flexibilidade está associada à capacidade de atendimento, à alteração de demanda e à velocidade com que o ajuste ocorre.

Nesta área, uma ferramenta de grande ajuda é a simulação.

Simulação é a imitação da operação de um processo ou sistema real no tempo. Simulação envolve a geração de um histórico artificial do sistema e a observação desse histórico para fazer inferências a respeito das características de operação do sistema real representado. (BANKS, 1998, p. 3, tradução nossa)¹

Há alguns anos, a simulação era pouco difundida pela dificuldade computacional, que não permitia espelhar com eficiência os detalhes do sistema. Contudo, a atual diminuição do preço do processamento computacional eletrônico, permite fazer uso dos princípios da simulação em *softwares* usando computadores cada vez mais robustos.

¹ Simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time. Simulation involves the generations of an artificial history of the system and the observation of that artificial history to draw inferences concerning the operating characteristics of the real system that is represented.

Simulações podem ser usadas para inferir características esperadas de operação do sistema em diferentes níveis de detalhes, que vai depender somente do nível computacional possuído e do nível de detalhe do modelo proposto.

Dois dos principais motivos de se usar a simulação são: a impossibilidade de fazer o sistema em escala real - como a simulação para previsão do tempo - e o custo de fazer testes em modelos reais - tanto financeiro como de tempo.

Nesse trabalho, foi realizada a simulação de diferentes modelos de caixa em supermercados, se enquadrando no segundo motivo: é quase inviável que se faça os diferentes experimentos em cenários reais para aquisição dos dados. Os resultados das simulações aqui feitas podem ser usados de diferentes formas: como manter menor custo ou nível de serviço mais alto. Ou ainda, para melhorar a qualidade de vida dos colaboradores ou até mudar radicalmente o uso dos caixas.

1.2 Justificativa

Com a difusão de técnicas de atendimento ao cliente, como compra pelo telefone ou Internet com entrega em domicilio, chegando a lista de compras mensais automática com data definida de entrega; os clientes estão se tornando cada vez mais exigentes quanto ao serviço prestado pelos supermercados no que tange a qualidade e velocidade de atendimento

Os supermercados, contudo, tem restrições de número de caixas, quantidade de caixas sendo usados e ainda a quantidade de caixas dedicados aos clientes com prioridade. Com isso, uma grande dúvida a ser resolvida pelos mercados está na alocação desses recursos durante o seu tempo de funcionamento.

Além de quantidade de caixas, tem-se a questão acerca das filas: como tratá-las? Aplica-se ou não a fila única? Alocam-se mais recursos a partir da observação momentânea do tamanho das filas e do uso de diferentes tipos de caixas especializados, com o uso de caixas-rápidos até 10 ou 20 itens, por exemplo?

Com o uso da simulação, pode-se observar com custo bastante pequeno como se comporta o sistema com diferentes modelos de fila e uso - e diferentes números de caixas. Algo economicamente inviável ao mercado praticar em exercícios reais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo entender como o arranjo dos caixas influencia os indicadores de nível de serviço, utilização e custos de caixas em um supermercado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar diferentes métodos de atendimento de caixa, buscando contemplar os diferentes tipos de clientes;
- Modelar os diferentes métodos no *software Arena Simulation*, utilizando um bom nível de detalhe a ponto de poder inferir sem grandes desvios mas que não inviabilize a modelagem;
- Analisar os dados de saída dos experimentos de simulação, observando em nível de serviço e em custo;
- Propor os melhores modelos de atendimento em supermercados, tentando atender a maioria dos casos.

1.4 Metodologia

Segundo Silva e Menezes (2005), o emprego de procedimentos científicos na busca de soluções para problemáticas ainda não solucionadas pode ser definido como processo de pesquisa. Uma pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, abordagem, objetivo e procedimentos técnicos.

Assim, quanto à sua natureza, esta pesquisa é classificada como Aplicada, ao contrário à Básica, já que é voltada para uma aplicação prática do conceito de simulação de eventos discretos e ao uso de ferramentas e técnicas associadas à solução de um problema específico.

Quanto à abordagem, a pesquisa tenta, da melhor forma possível, quantificar e estruturar os dados fornecidos para que eles possam ser tratados e analisados estatisticamente, através de técnicas específicas, para ajustes das

distribuições teóricas, construção de um modelo de simulação e análise e comparação de cenários. Sendo assim, é classificada como uma Pesquisa Quantitativa.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa aqui apresentada pode ser classificada como explicativa, no que tange aos objetivos de estabelecer relações entre as diferentes variáveis de entrada e saída envolvidas, envolvendo levantamento bibliográfico e análise de exemplos.

Finalmente, com relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa é classificada como Experimental, pois define um objeto de estudo, visualiza as variáveis mais significativas para a análise de cenários, define formas de controle e de observação do efeito dessas variáveis através de um modelo de simulação.

Para realização deste estudo, foram seguidos alguns passos clássicos de pesquisa relacionados à construção de um modelo de simulação de acordo com Freitas (2008), resultado final de um processo de coleta de dados e modelização conceitual do sistema analisado. Os passos seguidos foram os seguintes:

- a) formulação e análise do problema;
- b) planejamento do projeto;
- c) formulação do modelo conceitual;
- d) coleta de macro informações e dados;
- e) tradução, verificação e validação do modelo;
- f) experimentação;
- g) interpretação e análise dos dados;
- h) comparação de sistemas e identificação das melhores soluções.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em capítulos para facilitação do entendimento dos conceitos levando aos resultados das análises, conforme segue:

O primeiro capítulo consiste na apresentação do problema da pesquisa, o objetivo geral e os específicos, a justificativa para a realização do trabalho e a metodologia utilizada durante o processo de pesquisa, análise e documentação dos resultados.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico para que os conceitos utilizados, referentes à simulação e uso estatístico de dados, sejam introduzidos e assimilados.

O terceiro capítulo refere-se ao método do estudo. Consiste no mapeamento do processo, na análise dos dados de entrada e das simulações, de modo a gerar relatórios com dados de interesse do estudo de comparação de diferentes cenários.

O quarto capítulo apresenta os resultados dos experimentos do terceiro capítulo, tabulando-os de modo a compilar e comparar os principais resultados.

Por último, o quinto capítulo mostra as conclusões do estudo, no que se refere aos objetivos do trabalho. Apresenta ainda as limitações encontradas e propostas de melhorias em trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Qualidade de atendimento

2.1.1 Cliente

De acordo com Moura (1997, p.57): “Clientes são todos aqueles que adquirem e fazem uso dos produtos das empresas”. Nesta ótica, os clientes são todas as entidades que fazem uso de produtos ou serviços proporcionados por outras entidades.

A ênfase da conquista do cliente está em saber, satisfazer as necessidades do cliente e posteriormente ter o valor da satisfação percebido por eles mesmos. De nada adianta satisfazer necessidades que o cliente não perceba o valor.

2.1.2 Necessidades do cliente

Para Herrington (1999) *apud* Dantas (2001), uma iniciativa de qualidade está condenada ao fracasso a menos que esteja intrinsecamente ligada a satisfação do cliente. Está aqui a necessidade da compreensão dos desejos do cliente. Quem define o sucesso das investidas da empresa é, de modo final, o cliente.

Como exemplo, pode-se ver as cinco primeiras necessidades da lista dos estudos da *Eastman Chemical Company*, citada por Herrington (1999) *apud* Dantas (2001), como *ranking* de necessidades:

1. Qualidade do produto;
2. Uniformidade do produto;
3. Integridade do fornecedor;
4. Entrega correta;
5. Política de preços;

Seguindo o conceito, as empresas atuais são voltadas ao cliente, de modo que “proporcionam uma alta qualidade do produto ou serviço, não de acordo com definições por elas próprias desenvolvidas, mas conforme o cliente define” (Whiteley, 1992, p.71) *apud* Dantas (2001).

2.1.3 Satisfação do cliente

Kotler (1998), discute o modo como os consumidores fazem suas escolhas, acreditando que estimam qual oferta lhes entregará maior valor. Segundo ele, os consumidores são “maximizadores de valor, limitados pelos custos, conhecimento, mobilidade e renda. Formam uma expectativa de valor e agem sobre ela. Sua satisfação e probabilidade de recompra depende dessa expectativa de valor ser ou não superada” Kotler (1998, p.55). Ainda segundo Kotler, valor entregue ao consumidor é a diferença do valor benefício esperado e seu custo.

Deste modo, satisfazer o cliente significa entregar mais benefícios por um menor custo a depender das suas expectativas. Logo, existe um balanço fino entre o preço, o valor e a expectativa do cliente que devem ser levados em conta como um conjunto e não individualmente.

Em diferentes faixas de preço, ter-se-á diferentes expectativas e são elas que devem ser atendidas.

2.2 Custos da qualidade

Em qualquer atividade produtiva que se execute, existem custos variáveis envolvidos. Porém, esse custo pode tornar-se maior se tal atividade não for executada de maneira correta pela primeira vez, seja essa atividade um processo de fabricação de um produto ou execução de um serviço.

Os custos da qualidade podem ser divididos em 3: Custos de prevenção, custos de avaliação, custos de falhas.

2.2.1 Custos de prevenção

Como custos de prevenção, Dale e Plunkett (1995) *apud* Pontel (2000) exemplificam como sendo os custos de qualquer ação com o objetivo de investigar, prevenir ou reduzir o risco de não conformidades. Robison (1997) *apud* Pontel (2000) ainda afirma que esses custos vitais são frequentemente pequenos em relação aos de falha. Para Juran e Gryna (1991) *apud* Pontel (2000) esses custos são os custos de planejamento.

2.2.2 Custos de avaliação

Segundo Robles (1994) *apud* Pontel (2000) estes custos são os gastos com atividades de identificação das não conformidades antes da remessa do produto ou prestação de serviço.

2.2.3 Custos de falhas

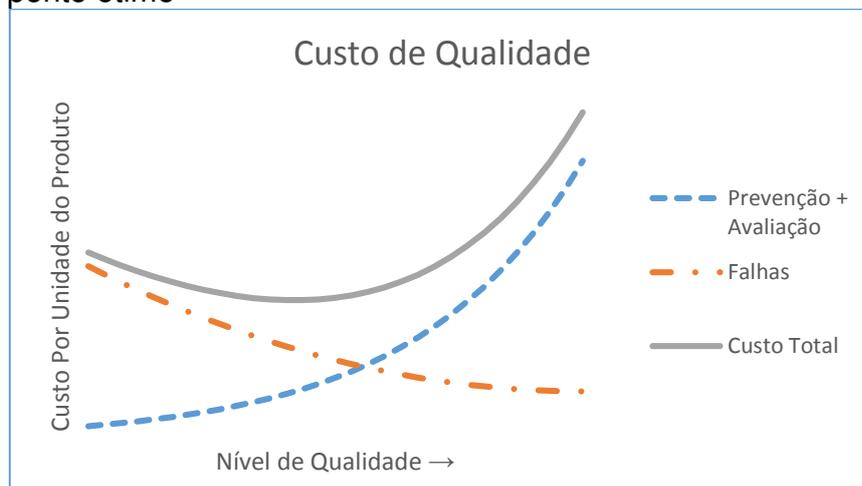
Podendo ser dividido entre falhas internas, as que ocorrem antes da entrega do produto ao cliente e externa, após a remessa, para Dale e Plunket (1995) *apud* Pontel (2000) esses são os custos de maiores consequências e o que apresenta maior custo para se corrigir.

As consequências das falhas externas podem chegar a perda do cliente e imagem da empresa, onde Miguel e Calarge (1997) *apud* Pontel (2000) mostram que segundo estudos, 90% dos clientes insatisfeitos evitam a compra futura.

Das definições, pode-se inferir que quando os custos de prevenção e avaliação forem zero, a tendência é que o custo de falhas seja alto. Contudo, quando esses aqueles custos aumentarem, consequentemente as falhas diminuirão, diminuindo assim o custo destas.

De modo sintético, a empresa deve procurar ter o melhor custo benefício entre os custos de falha e os de prevenção e avaliação. O gráfico 1 demonstra o efeito considerando o custo total.

Gráfico 1 - Soma dos custos de qualidade para definição de ponto ótimo



Fonte: Adaptado de Juran e Gryna(1991).

Como pode-se notar, à medida que o nível de qualidade é aumentado, o custo de falha diminui. Porém, o custo de prevenção e avaliação também aumentam, deste modo, deve-se buscar o ponto de equilíbrio. Este ponto não deve ser levado ao menor custo, pois o gráfico não demonstra por exemplo os efeitos das falhas para o lucro da empresa, como a perda de vendas por meio de clientes não fidelizados.

Como o custo de avaliação e prevenção cresce exponencialmente, deve ser levado em conta o custo marginal da qualidade, onde o observado é o incremento no custo e não o seu valor absoluto, o analista da qualidade deve fazer a inferência de quão bom o produto ou serviço deve ser de modo a que o custo de qualidade não supere o ganho obtido com a diminuição das falhas.

2.3 Psicologia de uma fila de espera

“A experiência de esperar em uma fila é influenciada pelo ambiente na sala de espera e a expectativa do tempo de espera. Imagine ficar esperando parado numa fila de espera pelo dentista por 20 minutos, sabendo que um paciente está gritando numa sala de atendimento. Agora imagine uma espera alternativa numa cadeira confortável, com acesso às mais modernas revistas com temas interessantes. Para seu filho de dez anos, existe uma máquina de vídeo game e a sala é à prova de som.

Muitas empresas (Disney é um exemplo) se tornaram espertas em entender a psicologia de esperar numa fila. Ficar numa fila de espera que tenha movimento é menos tedioso que numa fila de espera sem mover-se. Monitores de TV com imagens interessantes ajudam aos usuários a esquecer a hora no relógio.

Somado a isto se os usuários podem ver e escutar aos que completaram seu tempo de espera, a antecipação cresce e a espera parece que vale a pena. Se os usuários que ingressam na fila de espera são informados que têm que esperar 15 minutos, pelo menos eles podem decidir se ficam ou não. Se ficassem e a demora é menor que os 15 minutos, eles ficariam gratamente surpreendidos.

Outra dimensão da psicologia de esperar é o sentimento de justiça. Pode ser muito desagradável ver alguém chegar depois e ser atendido mais rápido. Istopoderia acontecer se existissem duas filas separadas. Você pode ficar parado quando o cliente que está sendo atendido demora muito. Como resultado, fica esperando mais tempo que na outra fila. Muitas empresas sabem disso e como resultado criam apenas uma fila para os clientes. Assim, qualquer pessoa, chegando depois, deve ficar atrás e deve ser atendida

somente depois que você termine de ser atendido.” (CHELST, 2006, p.84)
apud Carrión (2007)

2.4 Pesquisa Operacional

De acordo com a SOBRAPO, “A Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações.”

Duas das ferramentas da pesquisa operacional são a Teoria das Filas e a Simulação.

2.4.1 Teoria das filas

Segundo Abensur *et. al.* (2003) *apud* Carneiro (2012) a fila é consequência de um descompasso entre a capacidade de atendimento do serviço oferecido e a demanda de seus usuários. Embora seja geralmente associada a um efeito maléfico, a fila representa um importante papel na gestão de operações de serviços, pois em muitos casos seria impraticável a oferta de uma infraestrutura suficiente para atender a procura de todos os usuários.

“A teoria das Filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas.” (Prado, 2009, p.19). Ela foi iniciada no princípio do século XX com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas.

2.4.1.1 Elementos de uma fila

Como elementos de uma fila, Prado(2009) cita as entidades, que vindo de uma população externa esperam o atendimento pelos servidores. A esses conceitos, Sokolowski e Banks(2009) adicionam para o conceito de modelo de fila os atributos padrão de chegada e de atendimento, disciplina e capacidade da fila e número de servidores

2.4.1.1.1 Notação de Kendall – Lee

Para descrever as principais características do sistema de filas, segundo Araneles *et al.* (2007), a notação de Kendall – Lee foi criada com 6 características, 3 David George Kendall em 1953 e mais 3 por A. Lee em 1968:

$A / B / S / C / K / N$

Onde:

- a) (A) refere-se a distribuição de probabilidade do processo de chegadas, podendo ser (M) Markoviana, (E) de Erlang e (G) genérica;
- b) (B) refere-se a distribuição no processo de atendimento, podendo assumir as mesmas letras de (A);
- c) (S) indica o número de servidores em paralelo;
- d) (C) especifica qual a disciplina da fila: FIFO, LIFO, SIRO, GD;
- e) (K) indica o número máximo de usuários no sistema;
- f) (N) refere-se ao tamanho da população da fonte.

Na maioria dos casos, os dois últimos símbolos são omitidos, assumindo um valor infinito.

Por sua natureza analítica, para se fazer uso da Teoria das Filas a contento, o sistema a ser simulado deve ser estável. Isso significa que o fluxo médio de entrada e o ritmo médio de atendimento devem ser constantes, algo que dificilmente ocorre no mundo real. Outra exigência é que o ritmo de atendimento seja maior que o de chegada, de modo que a capacidade eventualmente supra a demanda. Isso não significa que não haverá filas, mas somente que elas podem ser vencidas, já que são valores médios e não constantes. Deste modo, parte-se para o uso da simulação computacional.

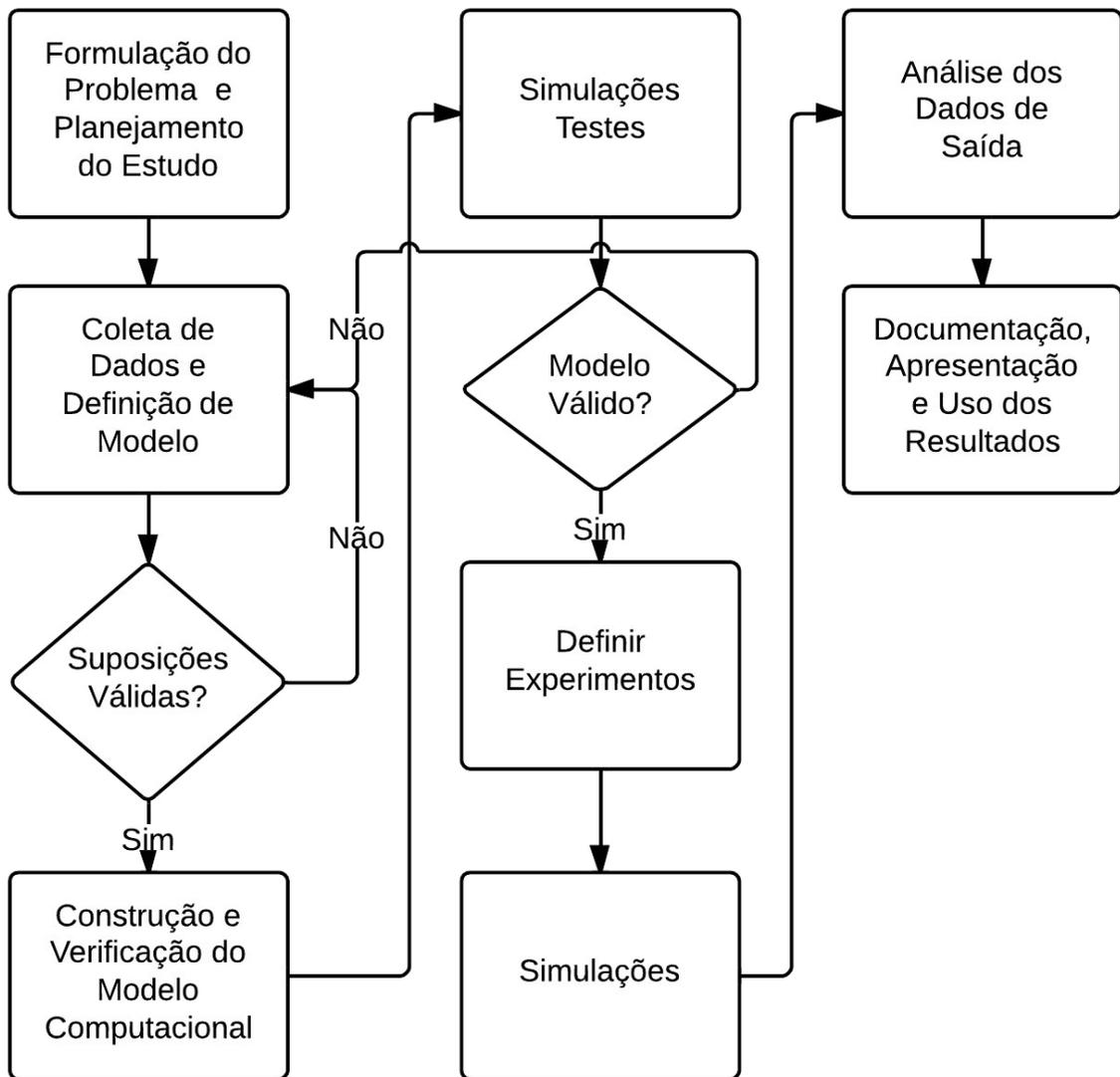
2.4.2 Simulação

Prado(2009) define simulação como sendo a técnica de solução de problemas pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital. Pegden(1999) já afirma que simulação não somente é

uma ferramenta de solução de problemas, mas principalmente de previsão de comportamento.

Law(2007) define 10 passos para um estudo em simulação:

Figura 1 - Fluxograma de simulação



Fonte: Adaptado de Law (2007).

Com suas características:

Deve-se ter cuidado na Formulação do problema, para tê-lo em corretamente e em termos quantitativos. Reuniões devem ser feitas para decidir-se: Objetivos gerais, questões específicas a serem respondidas e medidas de performance.

A coleta de dados deve ser feita para especificar os parâmetros do modelo e as probabilidades das entradas. A coleta da performance do modelo real ajuda a validar o modelo computacional. A definição dos detalhes do modelo deve ser feita levando em consideração os objetivos, as medidas de desempenhos desejadas, a disponibilidade de dados e as restrições de recursos.

A validação do modelo deve ser feita antes da programação computacional e deve ser feita passo a passo.

A construção do modelo computacional pode ser feita em linguagem de programação genérica ou em programas de simulação, sendo a primeira opção mais barata de programar e com mais controle e a segunda opção tendo um tempo menor de programação, o que resulta num projeto mais barato. A verificação deve ser feita na lógica do programa.

Os testes de simulação devem ser feitos para a validação. A validação do modelo pode ser feita comparando-se os parâmetros de performance com os reais. Uma análise de sensibilidade deve ser conduzida de modo a saber quais aspectos do modelo detalhar.

A definição dos experimentos diz respeito ao tempo do experimento, tempo do *warm-up* e número de replicações para construção dos intervalos de confiança,

A análise dos dados de saída devem ser feita de modo a satisfazer os objetivos e responder as perguntas específicas elaboradas na fase de formulação do problema.

2.4.2.1 Formulação do problema

Na fase de formulação do problema, Banks(1998) realça o conhecimento acerca do problema a ser estudado. Primeiramente o problema deve ser bem definido e o trabalho deve ser orientado para a solução desse problema, “nada é menos produtivo que achar a solução correta ao problema errado” (Banks, 1998, p.724, tradução nossa)². Banks(1998) continua explicando a importância de se fazer as perguntas certas a quem dirige o sistema real de modo a focar corretamente o modelo.

² Nothing is less productive than finding the right solution for the wrong problem.

A comunicação aberta com o gerente do sistema também se traduz numa melhor formulação do problema.

2.4.2.2 Modelagem Conceitual

Sokolowski e Banks(2009) definem modelo como sendo uma representação de um evento ou coisas que são reais, pode ser uma representação de um sistema real. Pode ser algo usado no lugar da coisa real para melhor entender um aspecto dessa coisa

Banks(1998) diz que a modelagem conceitual deve seguir um procedimento que surge a partir da formulação do problema. Deve-se, a partir do objetivo, listar as perguntas a serem respondidas, ranqueá-las por importância e quantificar o ganho de cada uma.

Após a identificação das perguntas, segue a definição da saída que é necessária para responder tais perguntas. Definir o escopo do modelo e restringir os detalhes é importante para que o modelo foque o problema e não exista o detalhamento demasiado a ponto de inviabilizar o modelo ou tornar a simulação muito dispendiosa. Modelos menos detalhados muitas vezes dão uma visão melhor acerca do que deve ser retratado do que modelos complexos. Finalmente, os requisitos de entrada, físicas e lógicas, devem ser especificados.

2.4.2.3 Modelagem Computacional

Como passo inicial para a construção computacional do modelo, Banks(1998) cita o começar simples. Um dos maiores problemas nesse passo é o detalhamento excessivo do modelo inicial. Com isso, perde-se muito tempo construindo, verificando e tentando-se entender o modelo em vez de gastar esse tempo com a resolução do problema.

Tendo como foco sempre o modelo conceitual, o começo com uma construção básica para depois aumentar a complexidade é o proposto. O modelo inicial deve ser apenas a essência do sistema, sendo uma parte deste ou uma simplificação.

Após um modelo básico verificado e validado, deve-se aumentar a complexidade, sempre verificando e validando o mesmo, em um *loop*. Esse

incremento de complexidade ajuda a entender melhor como as coisas estão funcionando e fica certamente mais fácil corrigir um problema de lógica.

2.4.2.4 Verificação

A verificação do modelo tem a ver com a passagem do modelo conceitual para a linguagem de programação ou programa específico. A verificação do modelo, como apresentado anteriormente, deve ser feita passo a passo. Isso é feito de modo a verificar se a lógica do modelo conceitual foi corretamente traduzida para o modelo computacional. Verifica-se também se o fluxo está correto e se o programa não apresenta *bug* que pode alterar o resultado final e fazer produzir inferências incorretas.

A verificação deve ser feita, como a construção, em cima das premissas do modelo. Deve-se verificar o comportamento das entidades, dos processos e das filas; além de verificar se tempos estão sendo alocados em atividades como movimentação e carregamento e descarregamento.

2.4.2.5 Validação

Uma vez que o sistema foi modelado e foi verificado, ou seja, todos os erros de programação foram eliminados, o programa estará em condições de rodar sem problemas. O próximo procedimento será a validação do modelo. A validação vem a ser uma avaliação de quanto o modelo construído é semelhante ao sistema real que se pretendeu simular, no aspecto de se questionar se esse modelo atende ou não as finalidades para as quais foi construído, ou seja, se está dando resposta conveniente ao problema que foi levantado ao se iniciar o projeto de simulação.

Segundo Sargent (2004) *apud* Brighenti (2006), determinar a absoluta validade de um modelo para o que ele é proposto a fazer é quase sempre um trabalho lento e de alto custo. Ao invés disto o autor propõe que os testes de validação sejam conduzidos até o modelo produza resultados que sejam confiáveis suficientemente para a sua aceitação.

Desta forma, mesmo que não houvesse limite de tempo disponível, bem como de recursos para se trabalhar na modelagem, e mesmo que os trabalhos de simulação tenham sido bem conduzidos, não há possibilidade de validação absoluta,

ou seja, existem circunstâncias do sistema real, que podem acontecer e que não foram previstas no simulador.

Segundo Law e Kelton (1982) *apud* Brighenti (2006), é preferível se considerar o quanto o modelo está de acordo com o sistema modelado, do que se referir à sua absoluta validade ou invalidade.

Desta forma, nessa etapa de validação, não se pode perder de vista os objetivos do estudo da simulação. Uma vez que esses objetivos podem ser cumpridos com o modelo existente, a etapa de validação está terminada. De acordo com a importante observação de Carson *apud* Kleindorfer et al. (1998) *apud* Brighenti (2006), é necessário que o trabalho de validação não seja feito somente pelo modelador, mas que haja participação do usuário para que o mesmo ganhe credibilidade.

Apesar de não haver uma metodologia que garanta a hipótese de que o sistema seja válido para os objetos propostos, existem algumas propostas que ajudam na tomada de decisão e podem reduzir as probabilidades de que se esteja tomando a decisão errada, validando um modelo que vai gerar resultados não confiáveis, ou invalidando um modelo bom, ocasionando perda inútil de tempo. Essas propostas estão enumeradas a seguir.

2.4.2.5.1 Mudança dos parâmetros de entrada

Segundo Harrel et al. (1996), um teste que pode ser feito para validação do modelo é o de mudar os dados de entrada e verificar se as respostas que serão fornecidas serão próximas às respostas que o sistema real daria. A recomendação é de que se varie somente os dados de entrada que serão avaliados, os demais deverão permanecer constantes. Este teste também vai realizar uma análise de sensibilidade, de modo a indicar ao modelador quais são os parâmetros para os quais se deve dar maior atenção na coleta de dados, tendo em vista o seu nível de influência nas saídas do programa.

2.4.2.5.2 Turing test

De acordo com a sugestão de Harrel et al. (1996), pode ser realizado o chamado Turing test. Nesse teste as respostas dadas pelo modelo e as respostas que são dadas pelo sistema modelado, são ambas entregues a pessoas que conheçam o

sistema. A essas pessoas não é dito quais são as respostas do sistema e do modelo, para que não sejam influenciadas em sua opinião. Caso essas pessoas consigam distinguir entre os dois conjuntos de dados, elas devem explicar ao modelador que distinção encontraram.

2.4.2.5.3 Recorrer a especialistas

Em muitas circunstâncias, não se tem o sistema a ser modelado, neste caso, segundo Harrel et al. (1996), o modelador poderá recorrer ao auxílio de pessoas que conheçam um sistema similar, ou mesmo dos fornecedores de equipamentos.

É normal que os fornecedores de equipamentos possuam dados que possam ajudar na modelagem. Um fornecedor de torno CNC, por exemplo, pode até mesmo realizar uma determinada operação para que se obtenham os tempos de troca e operação. Um fornecedor de fornos de tratamento térmico pode fornecer, através dos dados a respeito da peça a ser tratada, qual o rendimento de uma determinada operação.

A validade nesses casos pode até mesmo ser verificada através de outros sistemas similares existentes, ou mesmo que não se tenha o sistema todo, mas apenas uma parte deste, a validação através da comparação com o sistema real poderia ser feita somente para aquele determinado módulo que se tem.

2.4.2.6 Definição de experimentos

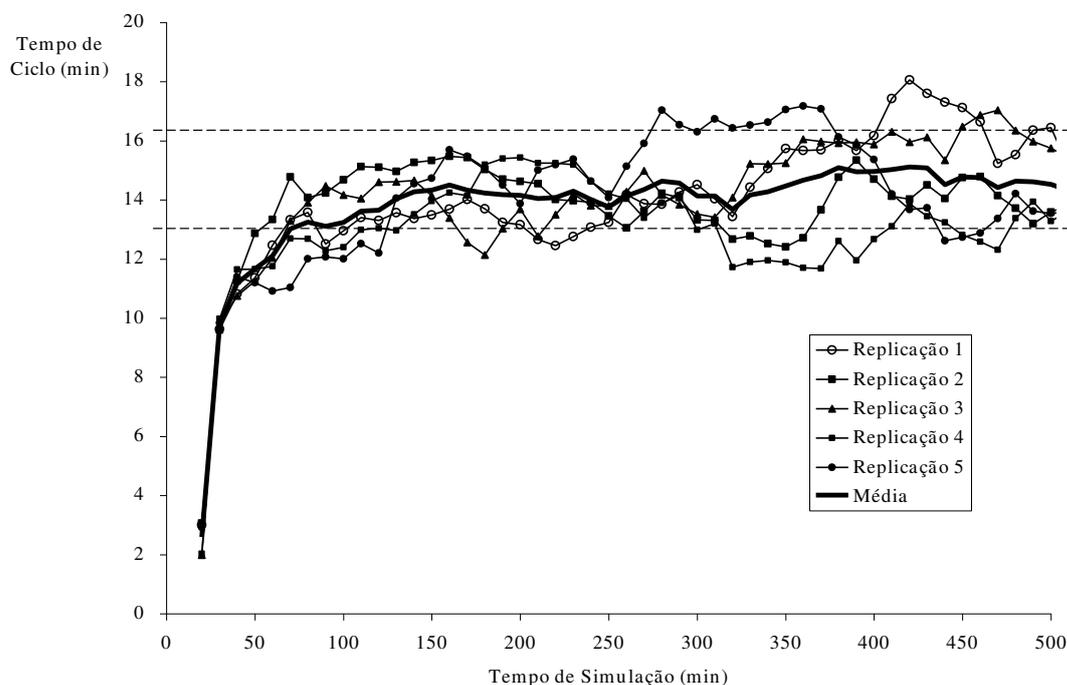
A definição dos experimentos passa pela definição do tempo de simulação, do tempo de *warm-up* e da quantidade de replicações.

O tempo de simulação diz respeito a como o modelo real se comporta. Para Kelton et al.(2011) deve-se considerar como o sistema se comporta no mundo real e traduzi-lo para o modelo computacional. Diferentes atividades vão exigir tempos diferentes e terminações diferentes. Uma fábrica funciona por uma quantidade de horas específicas porém, um banco, por exemplo, recebe os clientes até um horário específico, mas continua processando-os até que o último que entrou seja atendido. Chwif e Medina(2006) apresenta os conceitos de simulação terminal e não terminal:

- a) simulação terminal: a simulação roda por um tempo exato e após este tempo acaba. (Ex. simulação de um que pub abre às 12:00 horas e fecha, pelas leis inglesas, pontualmente às 23:00 horas).
- b) a simulação não possui um tempo exato para terminar. Somente há interesse de estudar uma simulação não terminal para o período em que a simulação está em regime estável (Ex. simulação de uma usina siderúrgica que opera 24 horas por dia, 7 dias por semana).

O período de *warm-up* deve ser pensado de modo a estabelecer o estado estável do sistema. Geralmente quando se executa um modelo de simulação que inclui filas ou rede de filas, o modelo inicia em um estado vazio e desocupado. Considere o sistema de servidor único, o primeiro da fila será imediatamente processado ao chegar, similar ao segundo que terá provavelmente um tempo menor que o centésimo, por exemplo. Dependendo do sistema modelado, o tempo de espera das primeiras entidades são bastante diferentes das entidades quando o sistema assume um estado estável. Este estado se traduz em um tempo em que o efeito do estado inicial vazio e desocupado perde o valor, o tempo entre o início da simulação e o estado estável chama-se período transiente inicial. A duração do *warm-up* deve ser maior que esse tempo.

Gráfico 2 - Importância do tempo de *warm-up*



Adaptado de Chwif e Medina(2006)

Tabela 1 - Efeito do tempo de *warm-up*

Tempo de simulação (min)	Tempo médio de produção (min)					Média
	Replicações					
	1	2	3	4	5	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	3.00	3.06	1.98	2.03	2.92	2.60
30	9.62	9.60	9.79	9.98	9.84	9.76
40	10.82	11.26	10.75	11.64	11.39	11.17
50	11.37	12.87	11.26	11.66	11.19	11.67
60	12.47	13.34	12.04	11.76	10.91	12.10
70	13.33	14.78	13.29	12.70	11.03	13.03
80	13.57	14.08	13.91	12.68	12.00	13.25
90	12.51	14.23	14.47	12.28	12.07	13.11
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
580	15.47	14.71	15.07	15.79	13.79	14.97
590	15.26	14.87	15.82	16.60	13.17	15.14
600	15.08	14.61	15.99	16.97	12.85	15.10

Adaptado de: Chwif e Medina(2006)

Do gráfico 2 e tabela 1, pode-se notar que o tempo médio de produção se estabiliza perto de 100 minutos, ou seja, o sistema tem um período transiente inicial de 100 minutos.

O que ele faz é não fazer a aquisição inicial de dados. Isso se traduz em executar o modelo mas somente pegar informações de saída a partir de um determinado tempo, tirando o desequilíbrio do estado inicial.

O problema dele é a demanda de tempo, como fator limitante, caso se aumente o tempo de *warm-up* diminui-se o tempo de aquisição de dados, o que resulta numa menor quantidade de dados e consequente diminuição da confiabilidade nestes. Logo, o indicado é aumentar o tempo de *warm-up* juntamente com o tamanho da simulação e o número de replicações, sempre respeitando as restrições de projeto.

Existem casos porém em que o tempo de *warm-up* não deve ser incluído, já que é uma característica do sistema o fato que os primeiros clientes serão atendidos imediatamente, como em um banco.

Uma replicação é uma execução do modelo com um conjunto específico de condições iniciais e finais usando uma sequência específica e sem sobreposições de números aleatórios, as distribuições usadas no modelo.

Ao fazer diferentes replicações deve-se usar diferentes sementes de números aleatórios, do contrário as replicações terão saídas iguais. O número de replicações acertado ajuda a ter uma confiabilidade maior, este número pode ser tão grande quanto se queira, mas para que não se desperdice recursos computacionais e tempo, alguns métodos podem ser usados baseando-se em confiança e intervalos de confiança.

Segundo Chwif e Medina (2006), intervalo de confiança é o intervalo de valores que contém a média da população com uma certa probabilidade, a esta probabilidade, chama-se de confiança. A confiança tem valores usuais de 99%, 95% e 90%.

Usando um simples exemplo como o jogar de uma moeda ve-se as proporções de cada resultado no quadro:

Quadro 1 - Efeito do número de replicações

Repetições	Resultados Cara/Coroa	Proporção Cara
1	1/0	100%
10	4/6	40%
25	9/16	36%
100	47/53	47%
500	242/258	48,4%
5000	2496/2504	49,92%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se facilmente ver que quanto menos replicações, maior é o erro, já que o valor esperado seria de 50%. Porém, a partir de certo número de replicações, o gasto de recursos pode não ser superior ao ganho de credibilidade, como no caso entre 500 e 5000 replicações ter um ganho pouco maior que 1%, executando um número 10 vezes maior de replicações.

Um método para estimar o número de replicações é fazer um teste piloto com um número pequeno e daí partir para um aumento até que se atinja o nível de confiança desejado.

Tendo-se:

$$IC = \bar{x} \pm h \quad (1)$$

onde:

IC = Intervalo de confiança

\bar{x} = Média Amostral

h = Precisão

E

$$h = t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

onde:

$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$ = Distribuição de Student

S_x = Desvio Padrão Amostral

n = número de replicações

Além dessas duas formulas, uma outra mostra-se bastante útil:

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right) \right\rceil \quad (3)$$

onde:

n^* = Novo número de replicações

n = Número de replicações usado

h = Precisão obtida

h^* = Precisão requerida

Assim, pode-se estimar o número de replicações requeridas a partir de uma amostra piloto e da precisão que quer-se.

2.5 Software Arena Simulation

O *Arena* é, ao mesmo tempo, uma linguagem de simulação e um ambiente de trabalho e experimentação, que pode ser usado para testar o modelo e fazer a apresentação de seus resultados, através de avançados recursos de animação. Para modelar o sistema, o programa usa de linguagem semelhante a fluxograma, fazendo com que seja fácil explicar ao programa o que deve ser feito.

2.5.1 Elementos de Modelagem

Para a construção do modelo dentro do *Arena* são usados os elementos disponíveis em *templates* no *Project bar*. Os *templates* são: *Advanced transfer*, *advanced process*, *basic process flow process* e *packaging*.

Aos elementos são dados o nome de módulos, que podem ser de dois tipos:

- a) Módulo de Fluxograma: usados para construir o fluxograma dentro da lógica do modelo a ser simulado, podem ser usados repetidas vezes. A edição do módulo se dá por meio de caixa de diálogo ou planilha, apresentada logo abaixo da área de trabalho. Esta planilha lista todos os módulos daquele gênero (*process*, *decide*, etc.) e muda de acordo com o módulo selecionado
- b) Módulo de Dados: estes módulos não são usados para fazer o fluxograma da lógica e sim para armazenagem de dados. Por exemplo: *entity*, *attribute*, *schedule*.

O modelo simulado no *Arena* deve possuir as regras de trabalho (decisões, procedimentos, tempos de processo), recursos (representação de máquinas, processos, pessoas e postos de trabalho) e a parte circulante do sistema (peças, pessoas e outros).

2.5.2 O Template Basic Process

Este *template*, como diz o próprio nome, reúne os módulos básicos de um modelo de simulação. Os principais elementos são:

2.5.2.1 Create

Figura 2 - Módulo *Create*



Fonte: Adaptada de Arena Simulation (2012).

Este módulo de fluxograma serve para introduzir as entidades no modelo segundo intervalos de tempo definidos.

2.5.2.2 Dispose

Figura 3 - Módulo *Dispose*



Fonte: Adaptada de Arena Simulation (2012).

Este módulo de fluxograma tem função inversa à do elemento *Create*. Ele tem a função de retirar as entidades do sistema.

2.5.2.3 Process

Figura 4 - Módulo *Process*

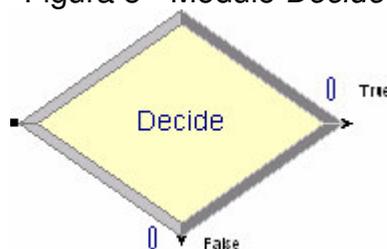


Fonte: Adaptada de Arena Simulation (2012).

O módulo de fluxograma *Process* tem a função de representar qualquer ação dentro do sistema que leve um tempo para ser cumprida. Também é capaz de representar a ocupação de uma máquina ou operador (recurso).

2.5.2.4 Decide

Figura 5 - Módulo *Decide*



Fonte: Adaptada de Arena Simulation (2012).

O módulo de fluxograma Decide representa uma ramificação no fluxo do processo. Ele serve para alterar o rumo das entidades baseado em uma condição do sistema ou de um percentual probabilístico.

2.5.2.5 Assign

Figura 6 - Módulo *Assign*



Fonte: Adaptada de Arena Simulation (2012).

O módulo *Assign* serve para alterar ou associar valores a variáveis, atributos de entidades, alterar a figura das entidades e outros parâmetros ou variáveis do sistema.

2.5.2.6 Entity

O módulo de dados *Entity* reúne as definições e parâmetros referentes a todos os tipos de entidades usados pelo modelo. A entrada de dados é realizada através da área de planilha ou de uma caixa de diálogo.

2.5.2.7 Resource

O módulo de dados *Resource* relaciona todos os recursos usados no modelo. Por recursos, entende-se uma estrutura que será usada pela entidade, a qual irá depender uma certa quantidade de tempo neste processo. Um recurso, então, poderia ser uma máquina onde a peça sofre um processo, um caixa bancário que atende a um cliente ou uma mesa de cirurgia por onde passa o paciente. Do mesmo modo que o módulo *Entity*, seus dados podem ser editados pela planilha ou pela caixa de diálogo.

2.5.3 Input Analyzer

Em um modelo de simulação, são inseridos dados para que ele represente com precisão o sistema em estudo. Porém muitos dados são indeterminados, ou seja, não podem ser bem representados por sua média, pois são processos dinâmicos. Este valor médio é utilizado, normalmente, em simulações estáticas e folhas de processos. Para a simulação dinâmica, têm-se a opção de inserir distribuições estatísticas dos números.

Para se conseguir a distribuição estatística do tempo de um evento, por exemplo, são coletadas várias amostras deste tempo e um histograma é feito a partir da frequência com que os valores aparecem. A partir de então, pode-se aproximar uma distribuição estatística a esse histograma.

O Arena possui a ferramenta *Input Analyzer* que tem várias opções para o tratamento dos dados de entrada. A principal função desta ferramenta é achar uma distribuição que melhor acomode os dados coletados. O *Input Analyzer* usa testes como o Chi-Quadrado e o Kolmogorov-Smirnov para achar a distribuição que mais se ajusta aos dados introduzidos.

2.5.3 OptQuest

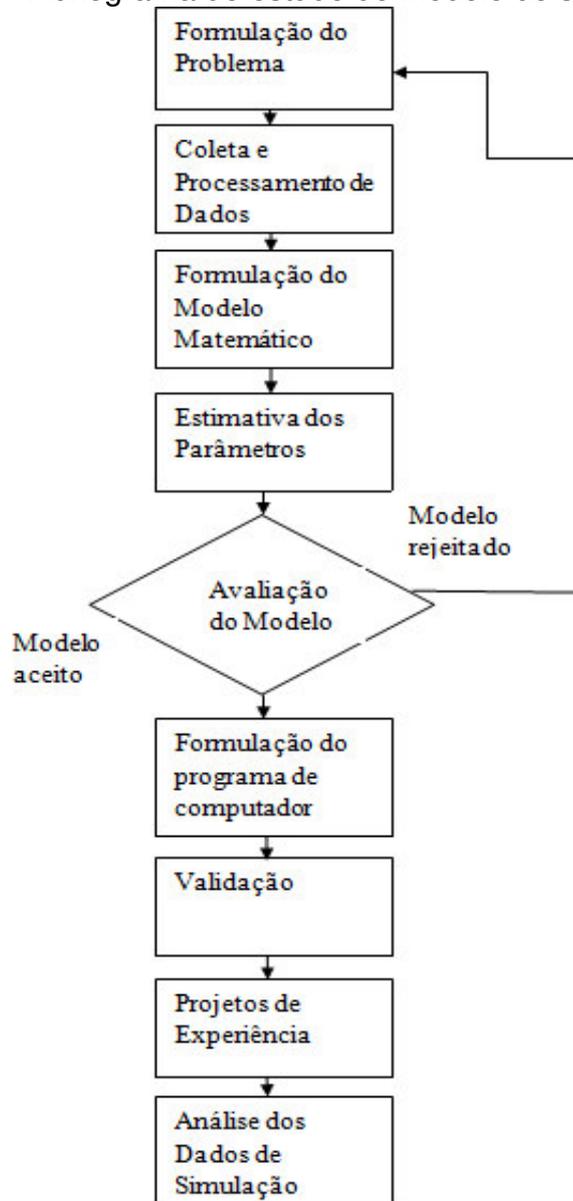
O *Optquest* é uma ferramenta de otimização que pode ser usada com o Arena. Baseado em gerar diferentes cenários a serem simulados, o *Optquest* testa valores de acordo com o desejo do usuário para que se chegue ao objetivo em questão. O que ele faz é testar vários valores para as variáveis de controle definidas pelo usuário de modo a minimizar a expressão objetivo, sempre respeitando as restrições impostas.

Por exemplo, em um banco, pode-se querer minimizar o tempo de espera, mudando o número de caixas. A restrição pode ser o número máximo de caixas que podem ser usados. Outro exemplo é minimizar o número de caixas mas com a restrição de o tamanho da fila não ultrapassar determinado valor.

3. MÉTODO

Para o estudo em simulação, seguira-se o fluxo seguinte, sugerido por Naylor et al.(1971) *apud* Ventura(2013):

Figura 7 - Fluxograma de estudo de modelo de simulação



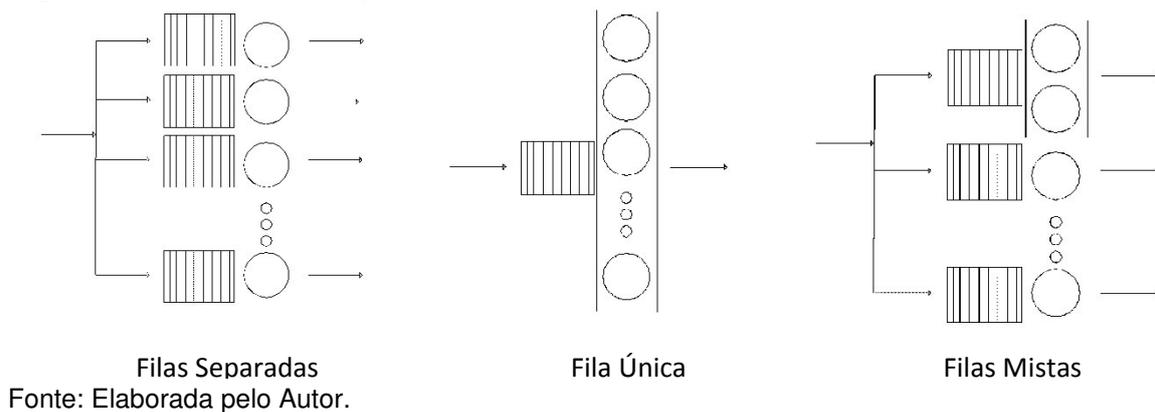
Fonte: Adaptado Naylor *et al.*(1971).

3.1 Formulação do problema

A partir de observações cotidianas, é notado que diferentes lojas e mercados utilizam diferentes tipos alocação de caixas. As Lojas Americanas, por exemplo, utilizam o conceito de fila única. O Pão de Açúcar utiliza caixas de filas individuais, contando com parte dos caixas para cliente preferenciais: deficientes, idosos, gestantes e crianças de colo; e parte dos caixas para clientes com poucos produtos, conhecido como caixas expressos, onde os clientes podem ter um número máximo de produtos. O Carrefour por sua vez utiliza uma mescla dos conceitos, com parte dos caixas do tipo expresso e com fila única e parte dos caixas gerais, com filas individuais.

A partir da observação dos tipos de arranjo, é de se esperar a curiosidade de qual sistema de filas tem o menor tempo de espera e melhor utilização dos caixas, considerando tempos ociosos.

Figura 8 - Tipos de arranjos de fila



A partir da curiosidade, o trabalho proposto consiste em comparar cenários construídos no *software Arena Simulation* de modo que se possa comparar as características de atendimento de cada um.

O *Arena Simulation* foi utilizado levando em conta sua facilidade de uso e sua disponibilidade para uso na Universidade Federal do Ceará.

3.2 Coleta e Processamento de dados

Tendo o problema em mente, criação de cenários para comparação, segue-se a aquisição de dados. A Rockwell Automation, empresa criadora do Arena promove, já há 15 edições, um desafio universitário válido para todo o mundo.

O tema do primeiro desafio foi como fazer a melhor política de recursos humanos para atender a demanda de um supermercado. Ele pode ser acessado a partir do site da empresa: (http://www.arenasimulation.com/academics_student_competition.aspx). Os dados de entrada eram especificados e os alunos deveriam, através de simulação, gerar um relatório do melhor uso dos caixas, assim como o melhor jeito de alocar os recursos, operadores de caixa e tempo, dentro das restrições impostas.

Como o trabalho aqui proposto trata da comparação entre cenários fictícios, o uso dos dados de entrada especificados na competição é válida, já que devem refletir a realidade. Outro motivo pelo qual serão usados os dados de entrada da competição é que os dados disponíveis dos cenários reais não são suficientes para geração de modelos complexos o suficiente para a simulação.

3.2.1 Intervalo de chegada

Apesar de grande variabilidade, a conclusão sobre os intervalos de chegada são os seguintes:

Quadro 2 - Taxa horária de chegada das entidades dividida em intervalos de 30 minutos

Hora	Chegadas/Hora	Hora	Chegadas/Hora
2:00 – 2:30	95	6:00 – 6:30	105
2:30 – 3:00	100	6:30 – 7:00	95
3:00 – 3:30	120	7:00 – 7:30	125
3:30 – 4:00	150	7:30 – 8:00	150
4:00 – 4:30	160	8:00 – 8:30	155
4:30 – 5:00	150	8:30 – 9:00	95
5:00 – 5:30	160	9:00 – 9:30	70
5:30 – 6:00	110	9:30 – 10:00	60

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para se fazer uso desses dados, como é dito sobre uma grande variabilidade, o uso de distribuições exponenciais com as médias informadas é um bom método para modelagem das chegadas. O uso do módulo *schedule* do Arena se faz útil uma vez que pode-se usar diferentes distribuições exponenciais para diferentes horas do dia.

3.2.2 Tempo de Compra

Para os tempos de compra, o texto diz que se demora 42 segundos/item se o número de itens for inferior a 10 e 34 segundos/item se o número de itens superar 10. Contudo, o tempo mínimo de compra é de 3 minutos, que é o tempo necessário para andar pela loja.

3.2.3 Número de Caixas

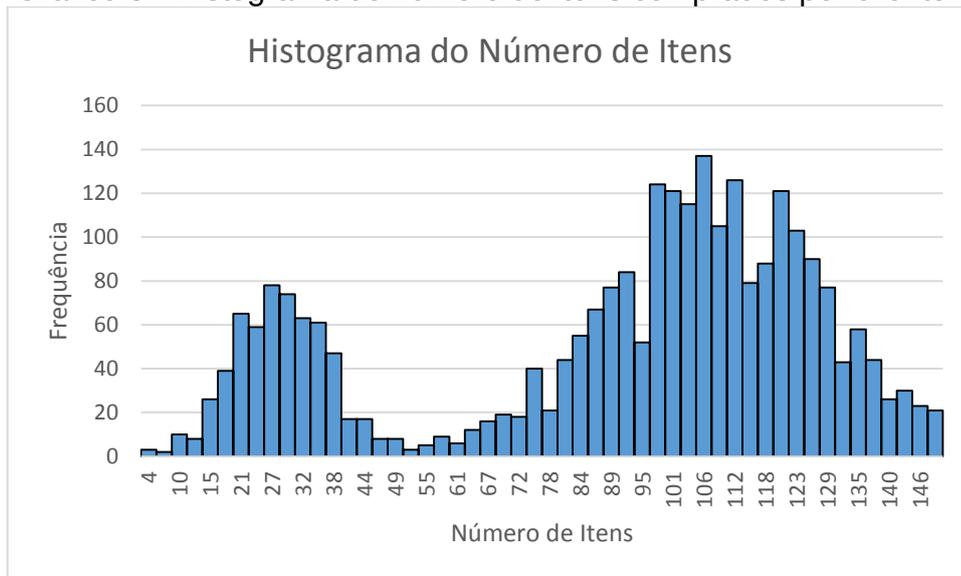
O problema instrui o uso de 20 caixas que estão disponíveis na loja. Os resultados apresentados serão todos baseados no uso de todos os caixas disponíveis. Posteriormente será usado o *OptQuest* para saber o número mínimo de caixas necessários para atender restrições de tempo em fila.

3.2.4 Número de Itens

Uma das maiores dificuldades em usar dados reais seria a de conseguir o número de itens por cliente. Essa informação é de grande importância para o uso de caixas expressos, pois permite dimensionar o limite máximo desse tipo de caixa, além de saber quanto da população realmente deve utilizá-los

Para se chegar ao número de itens por cliente, uma grande amostra da quantidade de itens por cliente foi obtida através dos recibos. A lista contém 2.644 números variando de 4 a 149, estes são o número de itens comprado por cada cliente. Aqui os dados do campeonato tiveram que ser analisados pelo autor. A amostra foi classificada no Microsoft Excel e feito um histograma.

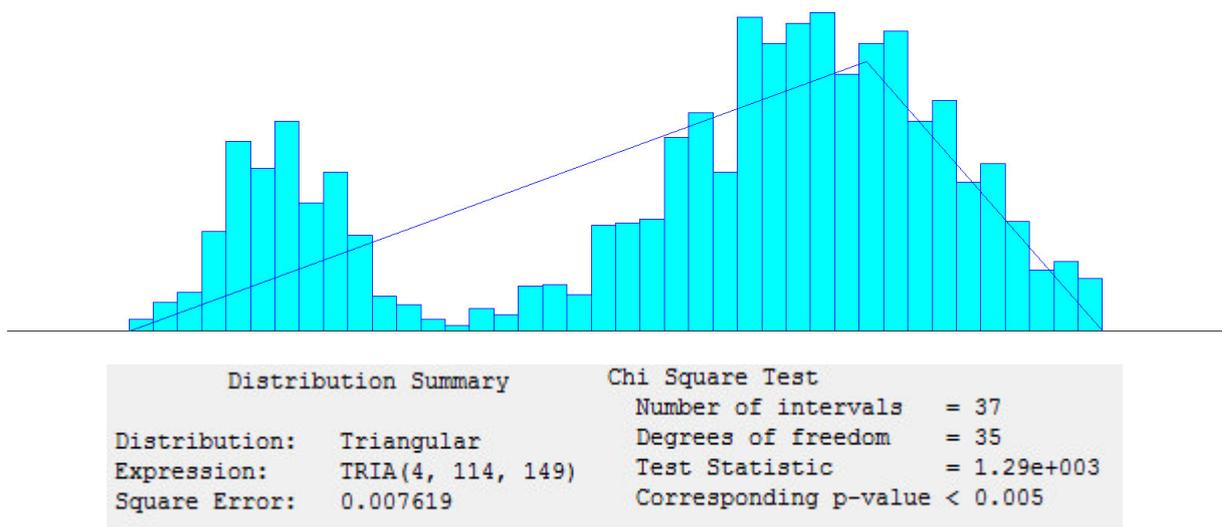
Gráfico 3 - Histograma do número de itens comprados por cliente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste caso, o *Input Analyzer* é 'enganado' por tentar aproximar toda a amostra a uma única distribuição. A ferramenta dá a seguinte distribuição como sendo a de melhor acomodamento dos dados:

Figura 9 - Aproximação do *Input Analyzer* para distribuição Triangular a partir do histograma de itens por cliente

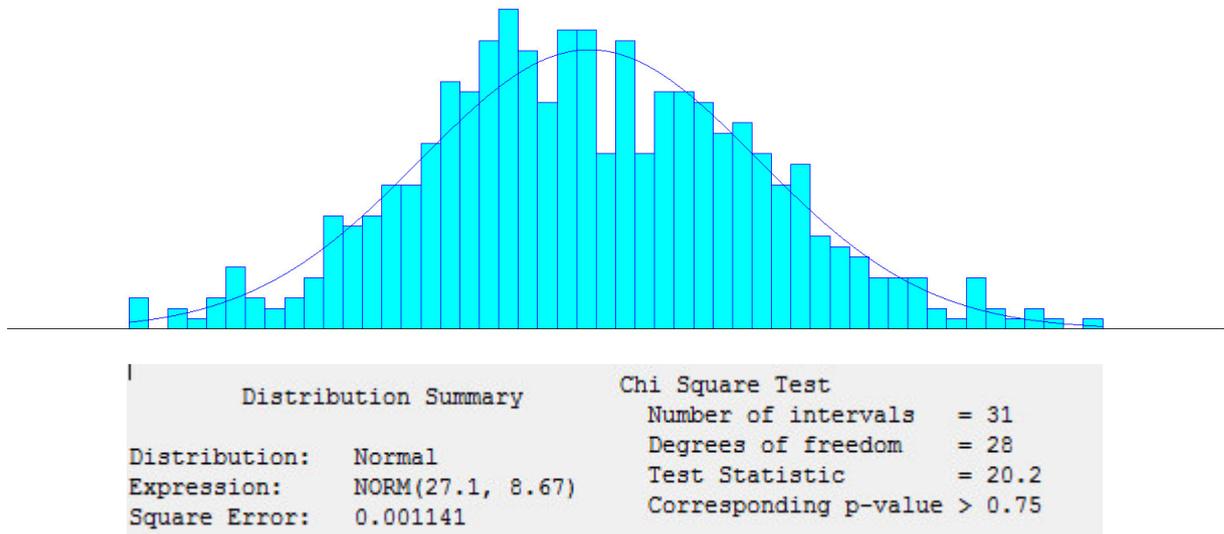


Fonte: Adaptado de *Arena Simulation* (2012).

Pode-se notar a partir da análise visual e do teste Chi Quadrado que esta não é uma aproximação útil. Para a obtenção de uma distribuição condizente com os dados, a partir o histograma, a amostra foi separada em duas, uma parte com até 53 itens, correspondendo a 27% do tamanho da amostra, e outra até o final da sequência,

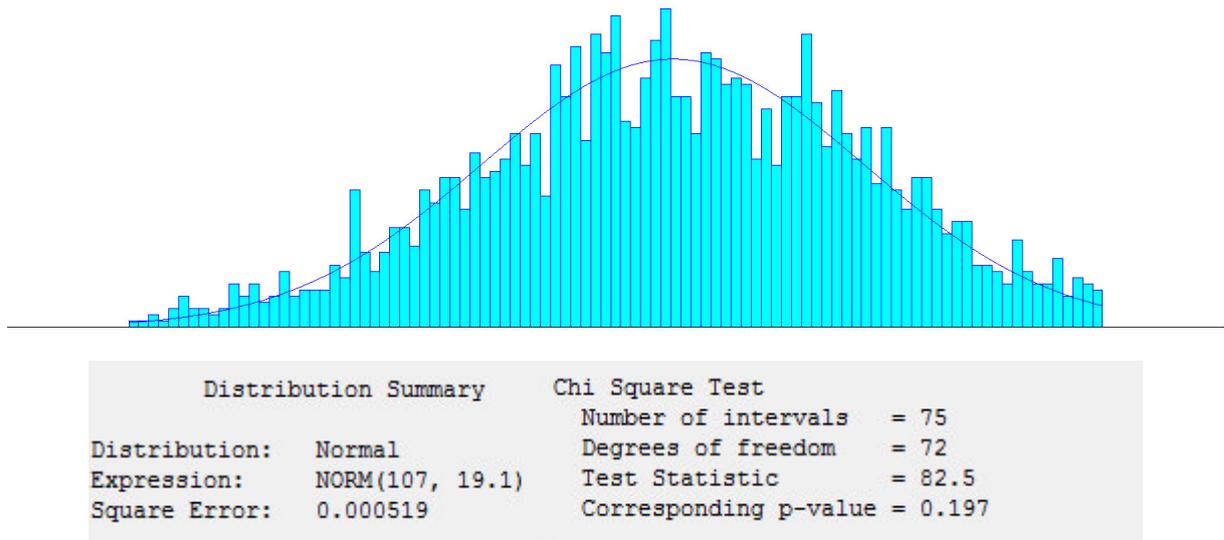
73% da amostra. Após o uso do *Input Analyzer* e do *Fit All* nas duas distribuições de modo separado, obtém-se o seguinte resultado:

Figura 10 - Aproximação do Input Analyzer para distribuição Normal a partir do histograma de itens por cliente divididos



Fonte: Adaptado de *Arena Simulation* (2012).

Figura 11 - Aproximação do Input Analyzer para distribuição Normal a partir do histograma de itens por cliente divididos



Fonte: Adaptado de *Arena Simulation* (2012).

Logo, feita uma aproximação de duas distribuições, uma distribuição normal $N(27,1; 8,67)$ para 27% dos clientes e $N(107; 19,1)$ para os outros 73%.

3.2.5 Tempo de Caixa

Ainda de acordo com os dados fornecidos, o tempo médio de passagem pelo caixa é de 3 segundos/item, variando 25%. Do total, 1,3% dos itens precisarão de uma checagem de preço ou de reposição no caixa, o que leva um tempo adicional de 2,2 min. Para o modelo, isso representa uma distribuição triangular $Tria(0,0375; 0,05; 0,0625)$ em minutos.

3.2.6 Tempo de Pagamento

Neste aspecto, houve uma simplificação dos dados, uma vez que nos dados apresentados incluía-se o pagamento através de cheques com uma ferramenta chamada *CheckCard*, não usada no Brasil. Deste modo, usou-se apenas os tempos para pagamento com cartão e com dinheiro, fazendo a redistribuição da escolha do cheque entre as duas opções restantes usando a proporcionalidade.

De acordo com os dados, a escolha entre o uso de cartão ou dinheiro depende do número de itens comprados, o que parece bastante lógico já que com uma compra maior, é mais fácil a compra ser efetuada em cartão, pela segurança e comodidade.

Os tempos de pagamento de acordo com o tipo de pagamento segue:

a) dinheiro: $N(0,95; 0,17)$ minutos;

b) cartão: $N(1,24; 0,21)$ minutos.

A escolha do tipo de pagamento se dá segundo:

Quadro 3 - Proporcionalidade do tipo de pagamento de acordo com o número de itens

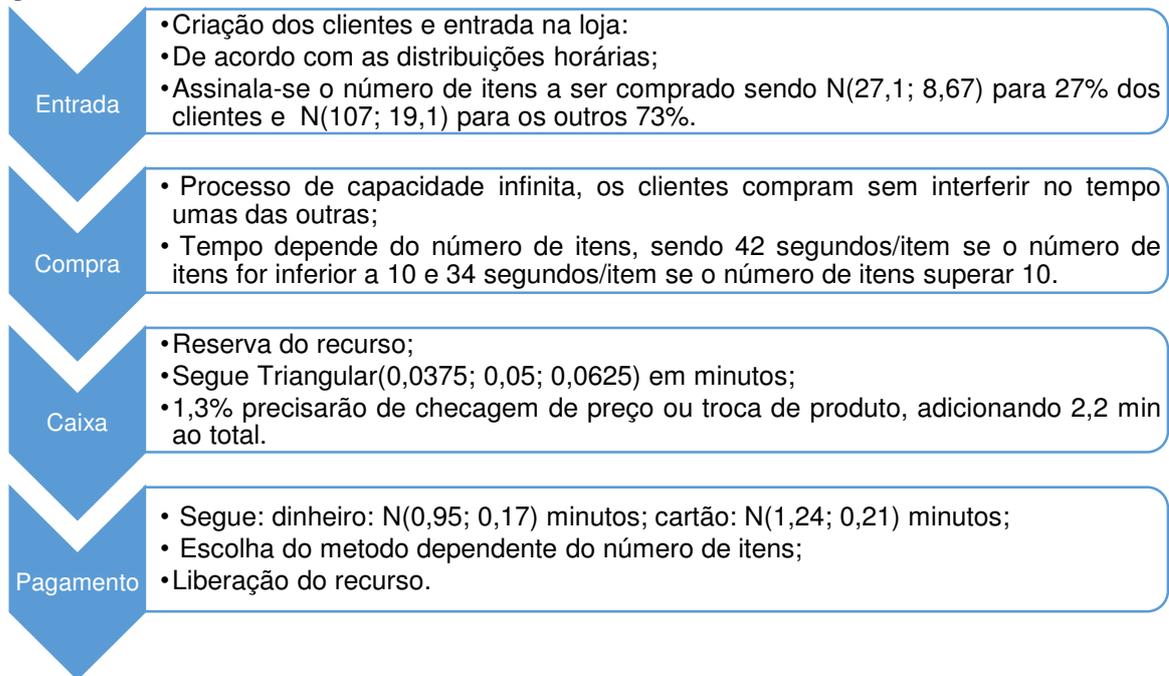
Número de itens	Menos de 20	Mais de 20
Dinheiro	64,28%	36,36%
Cartão	35,72%	63,64%

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 Formulação do Modelo Matemático

Após o processamento dos dados, os modelos matemáticos se fazem através das relações existentes entre os processos. O processamento dos clientes se darão da forma mostrada na figura 12, sempre adicionando os tempos, já que não há sobreposição dos processos - um só começa quando o anterior chega ao fim.

Figura 12 - Fluxo do modelo matemático



Fonte: Elaborada pelo autor.

Todos os modelos computacionais seguirão esse modelo lógico, adicionando o tempo uns aos outros, mais os tempos de espera, onde o recurso, operador de caixa, será reservado ao cliente em atendimento no momento que esta entra no caixa, sendo liberado após a finalização do pagamento.

3.4 Avaliação do Modelo

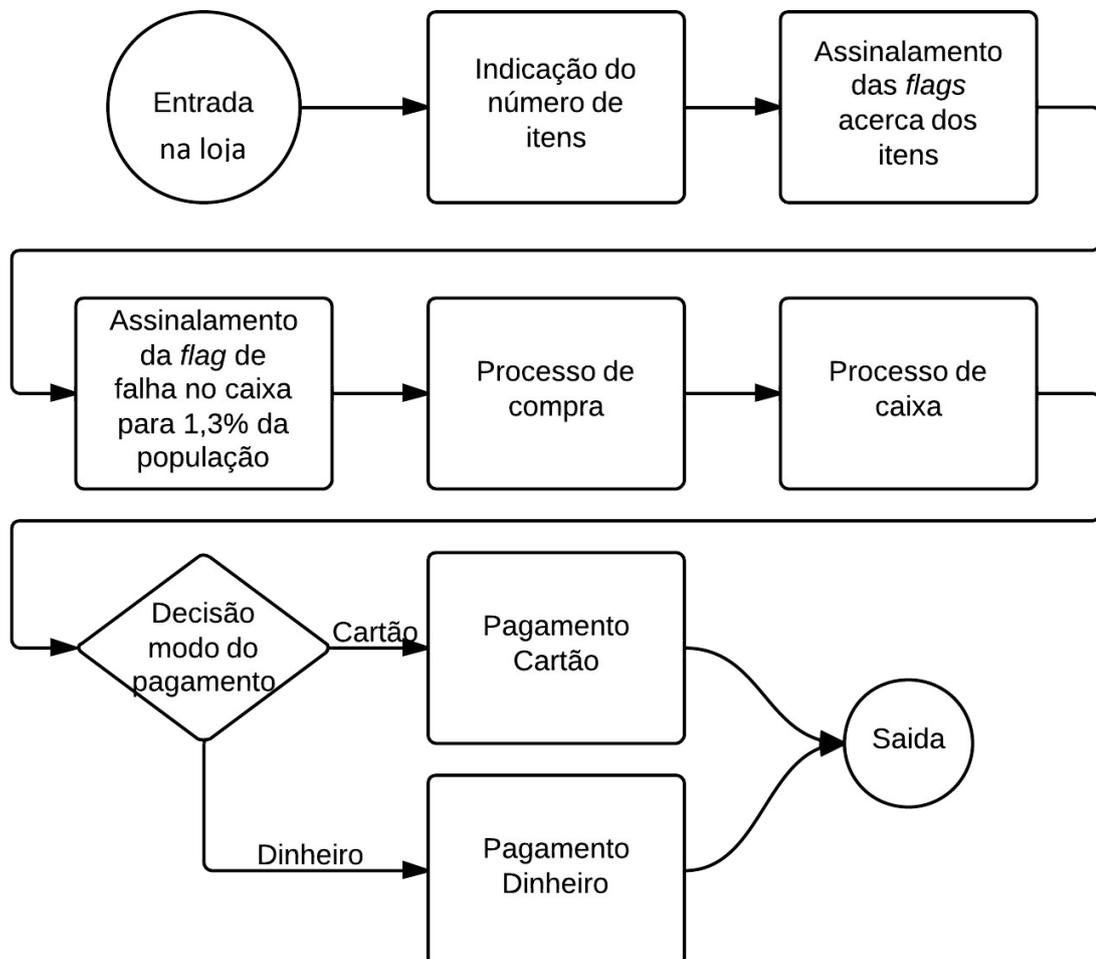
Por se tratar de um modelo relativamente simples do ponto de vista matemático, onde não há sobreposições de processos ou retrabalhos, o modelo sugerido é de aproximação suficiente ao real, com simplificações lógicas, não perdendo a correspondência com o real.

Uma simplificação é a ocultação do tempo de carregamento dos itens entre o carrinho e a esteira do caixa. Apesar de ele existir, o que se observa é que esse tempo é bem menor que o tempo que o caixa passa os itens, como são processos simultâneos, esse ocultamento simplifica o modelo em dois estágios, tempo e superposição de processo, sem perder sua eficácia.

3.5 Formulação do Modelo Computacional

O modelo computacional segue o seguinte fluxograma:

Figura 13 - Fluxograma do modelo computacional



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5.1 Cenários

Para simular os diferentes sistemas de filas, foram criados 5 cenários, cada um com um tipo de fila (única ou individual) e um tipo de especialização (diferenciação ou não entre caixas geral e expresso).

3.5.1.1 Cenário 1

O primeiro cenário apresenta o tipo de fila única, com nenhuma especialização entre os caixas, todos os servidores recebem os clientes de uma única fila. Este cenário é usado em lojas como as Lojas Americanas.

3.5.1.2 Cenário 2

O cenário 2 permanece sem a diferenciação dos caixas quanto a quantidade de itens, mas conta com filas separadas. Isto é, cada servidor tem sua própria fila mas atende a qualquer tipo de cliente. É normalmente usado em mercados de pequeno porte.

3.5.1.3 Cenário 3

O cenário 3 traz a diferenciação entre os clientes. Apesar de ter filas separadas por caixas, clientes com menos itens tem caixas exclusivos para atendê-los. É o modelo usado pelo Pão de Açúcar.

3.5.1.4 Cenário 4

O Cenário 4 usa a mesma ideia do 3, porém faz com que todos os caixas rápidos recebam os clientes de uma única fila, enquanto os caixas gerais tem cada uma sua fila. Este é o modelo usado pelo Carrefour.

3.5.1.5 Cenário 5

O último cenário é como o primeiro, fila única, porém conta com a separação dos clientes. Ou seja, os caixas gerais todos recebem os clientes de uma única fila, e existe outra fila somente para os caixas rápidos.

Um resumo dos cenários pode ser encontrado no quadro 4:

Quadro 4 - Arranjos dos caixas de acordo com os cenários propostos

Cenário	Especialização de Caixas	Tipo de Fila
1	Nenhuma	Única
2	Nenhuma	Separadas
3	Caixa Geral Expresso	Separadas Separadas
4	Caixa Geral Expresso	Separadas Única
5	Caixa Geral Expresso	Única Única

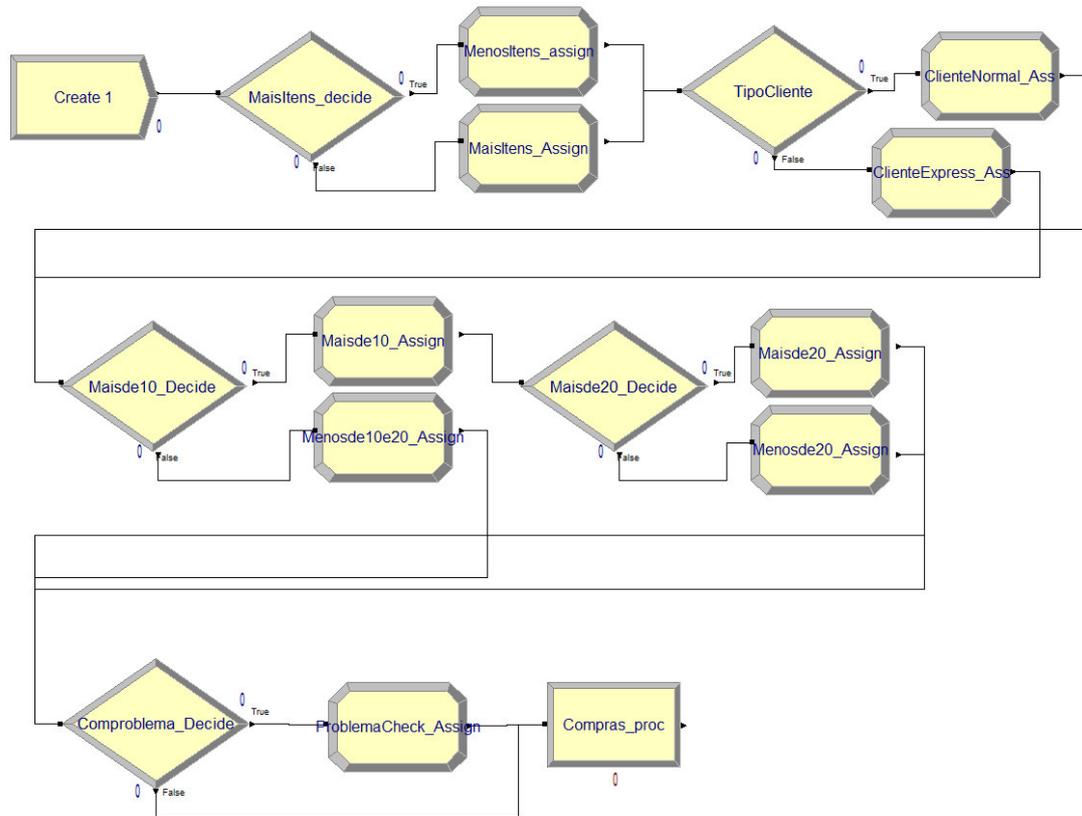
Fonte: Elaborada pelo autor.

A diferença entre os diversos cenários se dará no tipo de fila, se única ou separadas, e na especialização dos caixas, geral e expresso. Logo, as 5 primeiras tarefas do fluxo, da entrada até a finalização do processo de compra, serão iguais em todos os cenários.

3.5.2 Parte Inicial Comum Aos Modelos

A primeira parte do modelo, até o processo de compras, se dará da seguinte forma no *software Arena*:

Figura 14 - Fluxograma do Arena da parte inicial comum aos cenários propostos



Fonte: Adaptado de *Arena Simulation* (2012).

3.5.2.1 Create

O módulo *Create* vai gerar as entidades, ou seja, os clientes, seguindo o *Schedule* de nome chegada, esta é configurada de acordo com a entrada de dados do problema, quadro 2.

3.5.2.1 Dedice

No primeiro *Decide*, *Maisltens_decide*, as entidades são separadas na proporção 27%/73% para que sejam alocadas diferentes distribuições nos *assigns* seguintes.

No *Decide*, *tipoCliente*, é feita a separação entre os clientes expressos e os não expressos, de modo que sejam duas entidades diferentes.

Maisde10_Decide separa as entidades pela número de itens, ele compara o atributo *Numdeltens_att*. Se maior, verdadeiro, ou menor, falso, que 10 itens para

que a população tenha os atributos `Menosde10_att`, `Menosde20_att` e `Maisde10_att` assinalados.

Analogamente, o *decide* `Maisde20_Decide`, separa a população para os assinalação dos atributos `Maisde20_att` e `Menosde20_att`.

No problema proposto, 1,3% das vezes é necessário que ocorra uma checagem de preço ou troca de produto. Para isso, o *Decide* `Comproblema_Decide` separa a população proporcionalmente, levando 1,3% desta até o *Assign* `ProblemaCheck_Assign`.

3.5.2.2 Assign

Os *Assigns* são usados para assinalar os atributos e/ou mudar o tipo de entidade para diferenciação entre os clientes com mais ou menos produtos.

Os *Assigns* `Menosltens_Assign` e `Maisltens_Assign` atribuem diferentes distribuições a diferentes proporções da população, separada no *decide* prévio. A atribuição se dá no atributo `Numdeltens_att`, atribuindo o número de itens alocados em cada distribuição. Este número é o principal argumento dos cálculos usados, já que todas as distribuições de tempo são dependentes do número de itens comprados, tempo de compra, tempo de caixa e escolha do tipo de pagamento. Vale ressaltar que esse atributo é a principal dificuldade na aquisição de dados caso fosse usados dados primários.

Os *Assigns* `ClienteExpresso_Assign` e `ClienteNormal_Assign` mudam os tipos de entidades. O que isso faz é, a partir da separação das entidades no *decide* anterior, mudar a entidade para que os dados coletados sejam agrupados para os dois tipos de cliente separadamente.

Os *Assigns* `Maisde10_Assign`, `Menosde10e20_Assign`, `Maisde20_Assign` e `Menosde20_Assign`, assinalam respectivamente os atributos: `Maisde20_Att`, `Menosde20_Att`, `Maisde10_Att`, `Menosde10_Att`. Estes são usados nos *decides* posteriores ao pagamento, onde precisa-se saber se o cliente comprou mais ou menos que esses limites de itens.

Finalmente o *Comproblema_Assign* assinala o atributo `ProblemaCheck_Att`, este funciona como um *flag* no cálculo do tempo de caixa, multiplicando um tempo de 2,2 minutos.

3.5.2.3 Process

O *process* Compras_proc segue a seguinte expressão, dando apenas um *delay* nas unidades, ou seja, como não há a reserva de recursos, a capacidade do processo é infinita e não existe fila para o mesmo. A expressão usada é: $MX(180, (Maisde10_Att * 34 + Menosde10_Att * 42) * Numdeltens_Att)$, em segundos. O que ela faz é adicionar, ao tempo do cliente, o valor máximo entre 180 segundos (tempo mínimo para andar pela loja), e uma multiplicação entre o número de itens e o tempo (34 segundos ou 42 segundos) necessário para cada um a partir da separação de acordo com o item 3.2.2.

Os atributos Maisde10_Att e Menosde10_Att, excludentes, são usados como *flags*, uma vez que multiplicam o tempo para cada tipo de cliente. O uso dos atributos faz com que apenas 34 ou 42 seja multiplicado pelo número de itens, já que Maisde10_Att ou Menosde10_Att será zero, sendo o outro 1.

3.5.3 Processo de caixa

Como o que diferencia os cenários é o arranjo dos caixas, tanto em especificidade quanto em tipo de fila, estas são as grandes mudanças traduzidas para os modelos. A expressão para o caixa, a mesma em todos os modelos é a que segue: $Numdeltens_Att * TRIA(0,0375; 0,05; 0,0625) + 2,2 * ProblemaCheck_Att$. O que ela faz é atribuir um valor dentro de uma distribuição triangular com os limites citados multiplicado pelo número de itens e adiciona a isso 2,2 minutos caso o atributo ProblemaCheck_Att seja 1, ou seja, a entidade faça parte dos 1,3% da população que teve esse atributo modificado para representar a checagem do preço ou a substituição de um produto.

3.5.3.1 Cenário 1

No modelo 1, é usado apenas um processo Caixa_proc. Este processo, do tipo *seize delay*, faz a reserva de uma unidade do recurso Caixa_R, a cada entidade que passa por ele e adiciona o tempo de acordo com a expressão. Na falta dos recursos, uma única fila é formada para todos os caixas.

3.5.3.2 Cenário 2

Já no segundo modelo, cada caixa tem uma fila, logo, são criados processos CaixaGeral n _proc, também do tipo *seize delay*, para representar cada caixa, cada um alocando um recurso Caixa n e tendo um *assign* para assinalar um atributo Caixa n _att referente ao mesmo caixa, para uso no processo de liberação do recurso. A decisão de qual caixa a entidade usará é feito por um *decide* do tipo *n-by chance* logo antes da separação dos caixas, separando a população igualmente entre todos os caixas. Caso não haja disponibilidade do recurso, cada caixa terá uma fila.

3.5.3.3 Cenário 3

Para especialização dos caixas, usou-se os dados apresentados nos recibos. A partir da lista, ao contar as entidade com até 25 produtos, usuários do caixa expresso, estes serão 10% do total de entidades criadas. Como têm-se 20 caixas disponíveis, o valor de 10%, ou 2 caixas, foi utilizado. Todos os caixas tem filas separadas com seus recursos sendo alocados do mesmo modo do Cenário 2. Ou seja, a diferença primária entre Cenário 3 e Cenário 2 é a reserva de 2 caixas para pessoas com poucos produtos.

3.5.3.4 Cenário 4

Para este cenário, as duas filas do caixa rápido se unificam, fazendo com que possíveis problemas em um dos caixas não atrapalhe o andar da população. O restante do cenário continua igual ao anterior com os mesmos esquemas de reserva e liberação do caixa.

3.5.3.5 Cenário 5

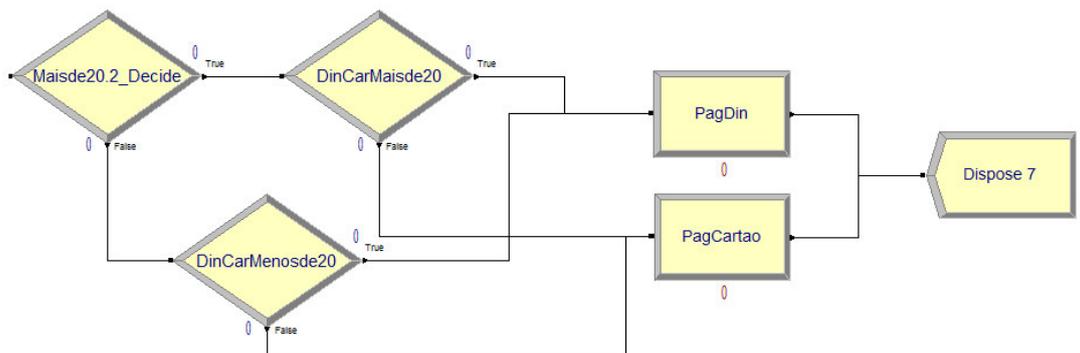
Para o último cenário foram alocados as mesmas porcentagens de exclusividades de caixas, 10% dos caixas para até 25 itens e o restante para os demais clientes. A mudança está no fato de serem duas filas únicas, uma para cada especialidade de caixa, onde algum problema ocorrido em um caixa não aumenta o

tempo total de algumas entidade enormemente. Visa-se com isso ter o benefício da fila única, citado, mas não afugentar os clientes de poucos itens.

3.5.4 Parte Final Comum Aos Modelos

Assim como a parte inicial é comum aos modelos, a parte final também é bem parecida, tendo algumas diferenças somente para a liberação do recurso.

Figura 15 - Fluxograma do *Arena* da parte final comum aos cenários propostos



Fonte: Adaptado de *Arena Simulation* (2012).

3.5.4.1 Decide

Aqui os *Decides* usados separam a população para o tipo certo de pagamento. *Maisde20.2_Decide*, separa a população pela condição de ter comprado mais ou menos de 20 itens, chegando o atributo *Maisde20_att*. *DinCarMaisde20* separa a população proporcionalmente entre pagadores a dinheiro e a cartão de acordo com a quadro 3.

3.5.4.2 Process

Os processos *PagDin* e *PagCartão* são do tipo *Delay Release*, cada um segue uma distribuição diferente para o *delay*, de acordo com as distribuições dadas no problema para dinheiro e cartão.

O que muda entre os cenários é como é feito o *release* do recurso. O Cenário 1, por ser de fila única, e apenas um tipo de caixa, tem apenas um tipo de

recurso, Caixa_R, que é liberada 1 unidade no *delay release* PagDin ou PagCartao. O Cenário 2, no entanto, já tem todas as suas filas separadas, o que quer dizer que se deve alocar um recurso diferente a cada uma e depois fazer a liberação somente deste recurso.

O *release* do arena, se constituído por mais de uma linha (liberando mais de um recurso a cada passagem de entidade) não faz distinção de qual recurso aquela entidade específica alocou previamente. Para resolver esse problema, atributos Caixa1_att, Caixa2_att até Caixa20_att foram criados e são assinalados logo após o processo de caixa. Na liberação do recurso, todos os recursos são liberados na quantidade que equivale a esse atributo. Por exemplo: uma entidade que passou pelo CaixaGeral2_proc, só reservará este recurso, já que na reserva os recursos são reservados especificadamente, passará por um *assign* para o atributo Caixa2_Att para 1, e após o pagamento passará pelo *release* que vai liberar tantas unidades de cada recurso Caixan quanto forem o valor dos *flags* Caixan_Att. Neste caso, só irá ser liberado apenas uma unidade do recurso Caixa2, já que é o único atributo com valor 1.

A mesma lógica é usada em todos os outros cenários. No cenário 3, usa-se os atributos CaixaRapidon_att, n de 1 a 2, e Caixan_att, n de 1 a 18, para fazer a liberação dos caixas. No cenário 4, CaixaRapido_att e Caixan_att, com n de 1 a 18, já que a fila do caixa rápido é única. Finalmente no último cenário, CaixaGeral_att e CaixaRapido_att fazem os papeis de *flags*.

3.6 Validação

Para validação dos dados, pode-se usar a comparação com sistemas reais. Isto se dá por meio da separação do sistema em módulos, mais fáceis de comparar que o sistema completo.

Dividindo-se os modelos em módulos, valida-se o processo de compra de capacidade infinita já que em um supermercado, os clientes pouco interferem uns nos outros. Esta interferência se dá primariamente em locomoções, mas, no sistema como um todo, é um tempo ínfimo.

O tempo de caixa é feito seguindo a distribuição de tempos dadas no campeonato, sendo reservada à entidade o recurso, que será liberado somente após

o pagamento. É o que ocorre também no sistema real, um cliente, após a espera na fila, é atendido por um caixa somente e o caixa atende a somente um cliente por vez. O caixa começa a atender o próximo cliente após o pagamento do cliente em atendimento, ou seja, o processo é sequencial.

Como já comentado, é de se esperar que o modo de pagamento dependa do valor da compra. Os cartões são soluções muito mais cômodas e seguras que carregar quantidade suficiente de dinheiro para compras maiores. Como o valor total das compras é usualmente proporcional ao número de itens, a divisão do método de pagamento pelo número de itens é verossímil.

3.7 Projetos de Experiência

Para a definição dos experimentos, precisa-se do tempo total de cada simulação, ou seja, o tempo que será simulado pelo modelo junto ao tempo de *warm-up*, tempo necessário para o sistema passar do estado transiente ao estado estável. O número de replicações também é definido nessa etapa, para que se tenha um nível de confiança dos dados de saída.

A definição errada de qualquer um desses itens pode ter como consequência uma análise errada do sistema, culminando, em último caso, em uma tomada de decisão errada. Como a correção exige grandes quantidade de recursos, econômicos, intelectuais e temporais, perde-se o sentido de usar a simulação.

A semelhança ao sistema real, com abertura em determinada hora e fechamento após o atendimento do último cliente, é usada para definição do tempo de simulação. Neste caso, a hora de abertura é 2:00h. No modelo, o instante inicial 00h é o instante de abertura do mercado e o instante final fica em aberto, de modo que as entidades são criadas entidades pelas próximas 8 horas e o sistema para quando a última entidade entra no *dispose*. No *Arena*, é marcada a opção de não repetir a *schedule* ao final desta, logo, nenhuma entidade é criada após a oitava hora de funcionamento.

O tempo de *warm-up* para o sistema simulado é zero. Isto é explicado pelo fato de que em um mercado não há o estado transiente, já que é real o fato de que os caixas estão vazios e desocupados no instante em que são abertos.

O número de replicações é feito de acordo com a precisão requerida. De um número pequeno de replicações pode-se tirar uma precisão inicial através da

equação (2) e logo após, usar a equação (3) de modo a chegar na precisão requerida. Usa-se a precisão de 5%, com intervalo de confiança de 95%. O Arena já entrega em seu relatório final a média e a precisão, *half width*, h , no seu relatório final. Neste caso, basta-se fazer replicações suficientes e verificar o relatório final de modo a ter a confiança necessária, 5%. A partir do modelo 1, fila única com 20 caixas e sem diferenciação entre os caixas, a execução de um número pequeno de replicações, no caso, 10, nos dá os seguintes dados. O *Software Arena* já entrega o valor de h no seu relatório:

Tempo médio Valor Agregado: 55,9736 minutos

Half Width = 0,76

Tem-se então, que para 10 replicações o h já é menor que os 5% requeridos (2,799). Para uma maior segurança quanto a confiança e a partir da premissa de uma rápida computação, 20 replicações serão usadas como base para todos os modelos, porém em cada um a estatística será vista, de modo a assegurar a precisão mínima.

3.8 Análise dos Dados de Saída

A análise dos dados de saída será feito comparando-se, modelo a modelo, os tempos totais, os tempos em fila e os tempos em processo. Será comparado também os tempos entre as duas populações: a que compra mais de 20 itens e a que compra até 20 itens. Isto é importante para que seja explícito se o usuário que vai ao mercado para fazer uma compra rápida, de poucos itens, realmente a faz em menos tempo. Outro dado a ser comparado é o tamanho da fila.

4 RESULTADOS

Para os resultados, foram usados os relatórios de saída dos modelos simulados no *Arena*. Quadros foram compiladas a partir do número de clientes processadas, tempo em fila, tempo em Caixa, número em fila e utilização.

Quadro 5 - Clientes processadas por cenário

Cenário		Clientes processadas
1	Fila única sem distinção expresso/geral	949
2	Filas separadas sem distinção expresso/geral	947
3	Fila separadas com distinção expresso/geral	951
4	Filas gerais separadas e expressa única	949
5	Fila geral única e expressa única	950

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo quadro 5 pode se notar que, como previsto que, com uma entrada semelhante, o número de atendimentos é o mesmo em todos os cenários.

Quadro 6 - Tempos de fila médios e médios máximos por cenário por tipo de cliente

Cenário		Tempo de fila médio (min)	Tipo de cliente	Média dos tempos de fila (min)	Média dos tempos máximos de fila (min)
1	Fila única sem distinção expresso/geral	0,77	Expresso	0,63	2,32
			Normal	0,78	2,99
2	Filas separadas sem distinção expresso/geral	12,6	Expresso	11,81	15,97
			Normal	13,64	20,12
3	Fila separadas com distinção expresso/geral	14,54	Expresso	2,30	3,92
			Normal	17,13	22,95
4	Filas gerais separadas e expressa única	14,43	Expresso	0,79	1,63
			Normal	16,16	19,62
5	Fila geral única e expressa única	1,26	Expresso	1,09	6,13
			Normal	1,44	3,12

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela quadro 6 de tempos em fila, pode-se notar a larga vantagem dos Cenários 1 e 5, em todos os quesitos são os de menor tempo. Isso pode ser explicado pela utilização das filas únicas, o que faz com que o tempo médio seja diluído por todo o sistema de caixas.

É interessante observar também os cenários 3 e 4, que exibem uma grande diferença entre os tipos de cliente, já que são separados em filas diferentes, enquanto que o cenário 2 tem tempos médios parecidos para ambos os tipos de clientes.

Quadro 7 - Tamanhos de fila médios e máximos médios por cenário por tipo de cliente

Cenário		Tamanho médio da fila	Tipo de cliente	Tamanho médio da fila	Média do tamanho máximo da fila
1	Fila única sem distinção expresso/geral	1,30	N/A	1,30	5,31
2	Filas separadas sem distinção expresso/geral	1,11	N/A	1,11	3,78
3	Fila separadas com distinção expresso/geral	1,26	Expresso	0,21	0,57
			Normal	1,37	4,94
4	Filas gerais separadas e expressa única	1,22	Expresso	0,14	0,33
			Normal	1,28	4,04
5	Fila geral única e expressa única	1,20	Expresso	0,22	4,94
			Normal	2,18	1,35

Fonte: Elaborada pelo autor.

O quadro 7, de tamanho de fila, tem o mesmo comportamento do de tempo. Lembrando que as filas dos Cenários 1 e 5 são únicas, é esperado que o valor seja maior que os outros, porém a fila média por caixa é bem inferior aos outros cenários.

Quadro 8 - Tempos de sistema médios e máximos médios por cenário

Cenário		Tempo Médio no sistema (min)	Tipo de cliente	Tempo Médio no sistema (min)	Média do tempo máximo no sistema (min)
1	Fila única sem distinção expresso/geral	38,81	Expresso	15,88	17,30
			Normal	61,75	65,04
2	Filas separadas sem distinção expresso/geral	51,00	Expresso	27,00	30,52
			Normal	75,00	83,14

Continua

Conclusão

Cenário		Tempo Médio no sistema (min)	Tipo de cliente	Tempo Médio no Sistema (min)	Média do tempo máximo no sistema (min)
3	Fila separadas com distinção expresso/geral	47,79	Expresso	17,46	19,37
			Normal	78,12	83,80
4	Filas gerais separadas e expressa única	46,69	Expresso	15,89	16,73
			Normal	77,48	81,58
5	Fila geral única e expressa única	39,48	Expresso	16,22	21,41
			Normal	62,74	64,66

Fonte: Elaborada pelo autor.

Finalmente, o quadro 8 de tempo total no sistema por tipo de cliente mostra novamente vantagem para os Cenários 1 e 5, o que nos leva a crer que o uso do sistema de fila única realmente gera um ganho significativo de eficiência ao sistema.

Quadro 9 - Taxas de utilização dos caixas médias e máximas médias por cenário

Cenário	Taxa de Utilização Média Total	Tipo de Caixa	Taxa de Utilização Média	Taxa de Utilização Máxima Média
1	0,640	N/A	0,640	0,698
2	0,628	N/A	0,628	0,815
3	0,616	Expresso	0,389	0,477
		Normal	0,642	0,813
4	0,624	Expresso	0,388	0,482
		Normal	0,637	0,800
5	0,540	Expresso	0,414	0,494
		Normal	0,667	0,705

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo quadro 9 de utilização, o que pode-se constatar é que os cenários 1 e 5 têm taxas de utilização médias próximas as suas taxas de utilização máximas médias, o que se traduz em constância na utilização dos recursos. A elevada

disparidade entre as taxas médias e máximas nos outros cenários denota que durante algum tempo os caixas estão muito ociosos e em outros muito ocupados. O balanceamento é sempre o procurado na companhia, já que nivela os gargalos. Em um supermercado que usa sistema de filas separadas, um operador mais lento que outro fará com que toda sua fila seja mais lenta, diferente do sistema de fila único, onde a vagarosidade de um operador afeta um pouco cada um dos outros, fazendo com que seja pouco relevante.

O problema da fila única é a psicologia humana, que ao ver uma grande fila, por mais que ela tenha tempo menor, tende a desistir de permanecer nesta. O uso do cenário 5 ajuda a diminuir esse problema, já que com duas filas separadas, a fila expressa fica bem menor, não afugentando os clientes com poucos itens e que esperam encontrar uma fila pequena, já os de muitos itens tendem a ter mais paciência pelo maior volume de produtos em uma só compra.

4.1 *OptQuest*: Otimização

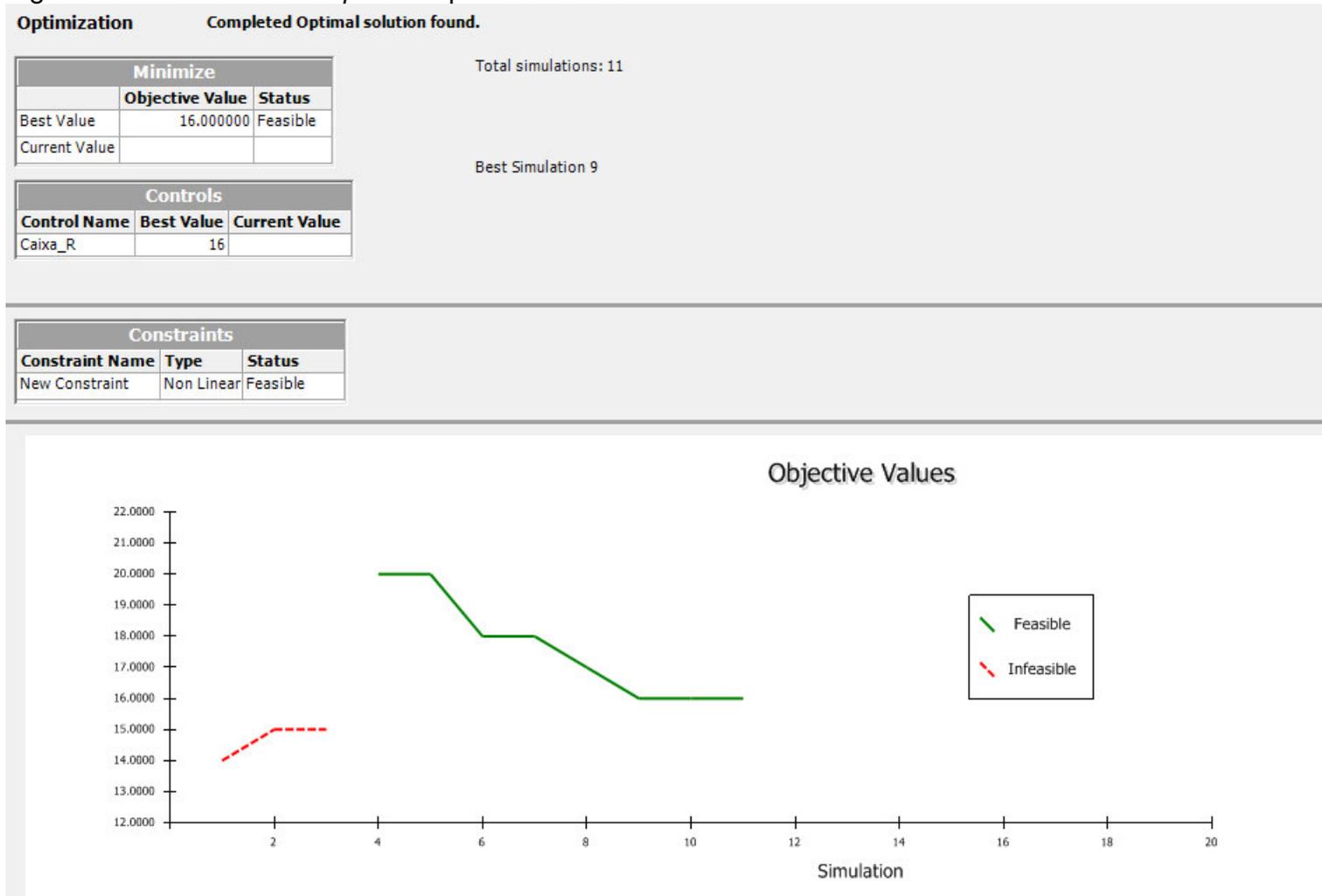
Com o uso do *optquest*, pode-se fazer uma otimização dos cenários 1 e 5, usando como restrição o tempo em fila inferior a 15 min para o caixa geral e 10 para o caixa expresso, tentando-se minimizar a necessidade de caixas.

4.1.1 Cenário 1

No cenário 1, com as restrições dadas e com o objetivo de minimizar o recurso, ou seja, o número de caixas, o *OptQuest* apresenta o resultado ilustrado na figura 16, sendo necessários 16 caixas para atender a restrição.

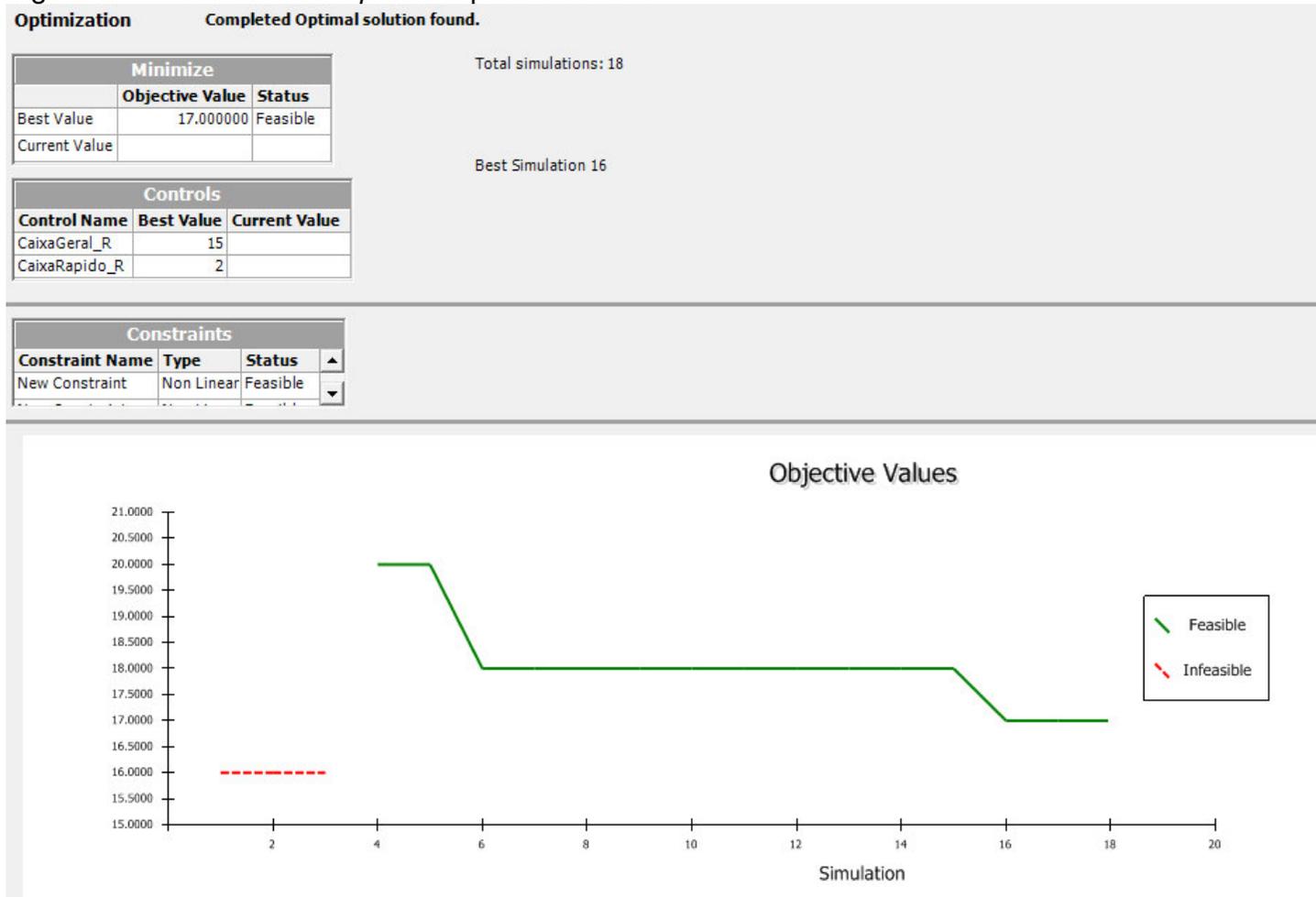
4.1.2 Cenário 5

Para o cenário 5, com as mesmas restrições, o objetivo era minimizar a soma dos recursos. O resultado mostrado na figura 17 apresenta uma soma de 17 caixas, 15 para geral e 2 para expresso, o que aumenta o custo de um caixa no total para o ganho no tempo do cliente expresso.

Figura 16 - Resultado do *OptQuest* para o cenário 1

Fonte: Adaptado de *OptQuest for Arena* (2012)

Figura 17 - Resultado do *OptQuest* para o cenário 2



Fonte: Adaptado de *OptQuest for Arena* (2012)

5 CONCLUSÃO

Com larga vantagem, os cenários 1 e 5 são os recomendados. A diferença entre eles é a separação dos clientes em dois tipos, os com até 25 produtos e os com mais que esse limite. Este limite é pensado de modo que os clientes que irão fazer compras pequenas passem menos tempo em fila e também vejam uma fila menor.

De acordo com os dados, não necessariamente a menor fila é a mais rápida, porém, é comum estimar-se o tempo de fila pelo número de pessoas. Logo, apesar de o tempo de fila, para o cliente expresso, ser menor no cenário 1 que no 5, ele provavelmente preferirá o cenário 5, já que ele vê uma fila com menos pessoas e espera que essas pessoas demorarão menos no processo de Caixa já que a compra tem menos itens. A separação também afeta o tempo desses clientes nos horários de pico, já que a média dos tempos máximos é bem menor no cenário 5.

Um contorno a esse problema é informar aos clientes um tempo estimado de espera. Como o tempo de espera médio do cenário 1 é menor, o estabelecimento pode usar isso e informar o tempo médio até o atendimento. Isto fará com que os clientes não tentem prever o tempo, e sim usar o melhor método de fila.

Pode-se pensar que o tempo de ineficiência de qualquer dos operadores sendo diluído entre os demais, gere o problema de não se saber quais dos caixas está lento e nem quando estão lentos. O contorno deste problema é fazer um simples relatório de itens passados pelo caixa, já que a eficiência do operador é medida pela velocidade de passagem de itens e não pelo valor destes.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

Apesar da baixa complexidade do sistema como um todo, o processo é bastante variável já que tudo é próprio de cada cliente, como escolha do número de itens, escolha do tipo de pagamento, escolha do caixa. Por essa variedade o balanceamento do sistema fica prejudicado já que para operar com o mínimo de recursos, os recursos devem ser alocados a cada momento.

Um estudo mais aprofundado acerca de como as filas se comportam ao longo do dia pode melhorar ainda mais o sistema de fila, podendo-se retirar recursos em um sistema com um certo grau de ociosidade. Para o estudo corrente foram utilizados sempre 20 caixas e selecionado o melhor arranjo entre eles. Um próximo

estudo pode partir deste melhor arranjo e se dedicar a escolher quando é o melhor momento de alocação dos recursos já que, por exemplo, no começo do dia o mercado não vai ter o mesmo movimento do meio dia.

REFÊRENCIAS

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2007.

BANKS, J (Ed.). **Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc. 1998

BRIGHENTI, J. R. N. **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto**, 2006. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2006.

CARNEIRO A. G.; ORSONI D. M. Simulação de sistemas: estudo de caso em uma agência lotérica do Município de Catalão. *In: SIMPÓSIO DE MATEMÁTICA E MATEMÁTICA INDUSTRIAL*, 4. 2012, Catalão. **Anais...** Catalão: UFG, 2012.

CARRIÓN, E. A. **Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento: estudo do caso de um servidor da UECE**. 2007. Dissertação (Mestrado Integrado Profissionalizante em Computação Aplicada) – Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007

CHWIF, L.; MEDINA, A. C.. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. Chwif. São Paulo. 2007.

DANTAS, E. B. **Satisfação do cliente: um confronto entre a teoria, o discurso e a prática**. 2001. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FREITAS, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. 2. Ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

HARREL, C. R. *et al.* **System Improvement Using Simulation**. Orem, Utah: PROMODEL® Corporation. 1996.

HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel®**. McGraw-Hill, 2000.

LAW, A. M. **Simulation Modelling and Analysis**, 4th Ed. McGraw-Hill, Nova Iorque 2007.

KELTON, W. D.; SMITH, J. S.; STURROCK, D. T. **Simio and Simulation: modeling, analysis, applications**. 2nd. Ed. Sewickeley: Simio LLC, 2011

KOTLER, P. **Administração de marketing: análise, planejamento, implementação e controle**. São Paulo: Atlas, 1998.

MOURA, L. R. **Qualidade simplesmente total: uma abordagem simples e prática da gestão pela qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1997

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**, McGraw-Hill, New York, 1999

PONTEL, S. **Avaliação dos custos de falhas externas (reparos em garantia)**. 2000. Dissertação (Programa de Mestrado em Engenharia de Produção) - Coordenação Geral de Pós-graduação, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara D'Oeste, 2000.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. 4 Ed. Nova Lima (MG): INDG, 2009.

SILVA, E.D.; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SOKOLOWSKI, J. A., BANKS, C. M. **Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach**. Hoboken: Wiley, 2009.

VENTURA, G.V. **Uso de simulação de Monte Carlo na alocação de recursos em projetos: estudo de caso na construção de um ramal de distribuição de gás natural.** 2013. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

**APÊNDICE A – TABELA COM AMOSTRA DO NÚMERO DE ITENS COMPRADOS
PELAS CLIENTES**

95	38	93	94	85	120	145	84	74	33	124	107	100	87	116	133	124	29
29	97	104	104	74	126	147	38	28	75	108	84	95	106	97	26	29	95
115	125	107	109	105	35	17	124	125	100	119	116	91	40	22	121	133	121
90	96	78	20	21	60	147	132	111	102	100	26	30	124	97	119	117	124
113	25	31	119	108	82	133	108	92	27	38	83	121	113	124	85	114	129
36	99	100	123	83	98	103	104	25	121	111	112	100	118	66	103	25	29
113	75	108	149	109	141	17	4	102	99	83	122	125	143	32	10	100	95
131	117	105	109	30	27	121	97	80	123	91	120	31	29	118	92	106	111
136	119	25	12	114	101	106	89	107	105	26	22	107	100	61	104	100	95
94	24	86	106	101	92	105	135	98	17	88	116	90	103	130	101	82	22
20	87	121	114	101	102	82	33	17	106	125	126	115	133	99	19	16	114
92	107	89	116	123	19	39	94	112	101	97	132	75	29	24	87	132	120
106	123	68	21	35	111	102	116	107	102	99	24	20	126	96	119	87	121
126	72	26	98	110	145	109	121	147	95	33	100	58	129	96	104	106	105
24	37	92	71	103	129	99	108	17	15	128	128	123	103	99	118	29	36
125	81	80	99	86	99	33	18	104	91	122	119	93	90	20	37	135	132
129	106	91	133	36	25	129	120	104	120	130	107	26	47	121	83	127	103
106	102	34	26	112	124	117	90	89	134	24	33	137	114	67	106	85	120
105	32	140	129	140	128	141	90	99	32	146	120	103	107	103	120	82	35
32	113	107	115	118	139	89	16	33	55	124	126	85	115	107	33	32	118
135	71	109	106	124	44	27	107	106	95	106	89	75	28	27	112	97	117
87	104	118	22	43	105	114	82	110	88	105	20	18	131	88	102	143	85
101	108	27	128	94	73	104	128	101	120	26	116	110	117	99	128	107	82
33	27	123	124	123	101	63	72	34	31	102	101	118	80	101	139	14	31
73	106	101	97	138	104	29	38	103	122	111	111	119	126	29	23	98	105
115	87	120	81	20	25	79	104	100	115	104	126	29	23	106	112	97	110
80	94	76	35	80	98	133	99	74	122	123	30	58	81	121	100	98	72
95	32	39	97	114	114	131	55	136	32	34	112	109	106	119	56	99	38
28	88	100	111	127	91	133	24	43	89	138	116	146	106	123	35	18	115
94	114	102	101	125	31	35	128	82	92	111	146	110	41	15	112	114	104
97	108	101	27	9	89	129	123	97	82	98	21	31	105	84	123	148	129
84	116	26	102	79	96	97	137	137	96	24	138	145	96	112	126	138	105
39	14	121	137	105	101	95	66	35	33	115	62	128	97	147	107	35	37
95	84	107	96	129	94	36	9	95	121	125	109	128	132	31	26	111	83
105	126	87	90	33	25	95	118	118	114	99	84	31	35	108	122	118	93
83	90	101	28	85	122	82	118	108	106	112	36	110	84	127	96	109	120
134	20	25	125	111	110	120	114	128	33	25	99	114	118	124	114	104	16
35	92	123	92	88	120	82	42	24	95	54	94	118	92	141	15	32	93
103	84	95	143	112	32	24	140	118	104	126	134	78	20	21	83	105	134
97	128	110	93	30	79	102	100	141	91	111	97	34	89	90	115	105	122
104	93	41	23	93	81	107	103	126	108	24	16	123	120	100	115	135	142
21	16	144	91	102	97	108	89	31	22	83	108	84	117	112	127	23	9

123	139	101	115	99	103	37	9	101	127	112	144	112	67	26	20	99	125
105	127	114	108	28	34	97	135	113	128	100	82	38	15	120	101	101	138
88	94	59	37	116	124	141	94	77	108	104	24	121	104	98	91	117	119
128	20	36	78	98	76	132	97	107	35	20	103	91	128	133	80	65	19
20	104	106	116	69	121	107	27	26	141	126	101	132	92	100	26	15	101
141	83	116	83	106	19	29	85	106	84	98	139	113	23	23	87	119	102
115	125	142	111	34	77	117	112	97	100	82	111	33	79	125	101	116	70
116	96	14	28	109	133	104	125	109	105	19	35	116	113	145	129	100	132
39	29	91	97	116	111	124	92	12	25	76	75	119	142	73	84	31	22
53	111	137	104	114	89	19	25	118	85	140	110	147	99	24	12	98	92
82	131	121	104	31	16	119	93	104	132	126	131	75	18	84	112	99	87
118	110	63	23	88	118	140	87	80	132	95	39	31	110	89	118	74	82
99	32	17	111	133	94	122	109	110	18	27	112	111	107	83	124	85	29
36	100	100	90	88	79	65	34	31	115	94	122	83	101	74	22	28	57
95	122	134	96	116	30	28	122	131	110	121	101	118	31	47	81	125	93
81	90	85	123	16	104	113	105	94	112	75	98	46	114	114	90	145	102
106	141	31	26	105	122	70	104	120	106	21	27	123	130	136	104	107	107
38	15	122	121	128	96	68	79	16	31	106	123	131	112	91	122	14	22
116	117	99	77	125	82	27	11	137	106	86	122	118	102	41	32	97	96
112	108	101	132	99	27	144	91	117	86	113	132	133	27	129	124	123	86
121	110	109	24	18	102	126	127	107	132	98	14	26	117	113	119	58	70
103	20	24	108	86	99	130	98	118	40	37	119	123	87	99	98	129	30
28	112	133	146	101	125	80	40	23	91	107	119	84	111	86	33	17	116
62	131	135	115	70	36	33	65	134	71	134	104	130	113	42	85	136	85
109	86	120	86	32	75	106	134	125	123	79	117	23	19	135	132	123	89
105	76	14	10	111	90	94	118	129	71	19	23	117	73	68	99	106	143
27	22	100	79	127	116	120	81	24	27	99	101	101	108	113	83	25	50
78	93	76	133	90	113	28	23	113	78	88	123	126	128	39	30	86	124
130	124	121	110	97	23	120	90	87	102	128	86	115	36	119	110	133	103
75	133	140	40	21	118	136	108	96	97	103	19	31	111	118	132	99	113
100	25	33	136	116	145	101	131	99	23	7	95	99	100	115	127	86	26
33	123	89	138	118	89	97	25	31	126	89	90	144	103	96	34	19	106
124	113	112	98	126	112	8	121	92	107	149	143	98	93	23	132	82	141
108	63	98	103	26	28	115	73	113	81	148	113	17	24	119	113	99	105
131	69	34	22	85	95	121	96	113	127	25	30	130	109	89	78	80	132
29	22	112	82	74	130	124	117	33	23	71	141	146	113	59	108	8	21
72	83	114	129	135	116	40	16	120	100	114	129	90	88	136	13	99	84
123	110	131	135	102	26	126	107	122	85	111	98	47	28	18	115	147	120
95	124	126	30	51	121	93	130	113	148	67	30	29	70	120	105	116	95
134	36	27	92	109	113	113	103	111	20	30	63	134	103	88	77	96	47
25	79	124	84	93	92	106	32	36	105	123	96	82	95	90	22	17	126
91	110	110	99	117	128	44	99	103	103	103	100	92	132	6	118	64	96
78	96	87	75	42	17	86	95	117	103	87	106	35	36	113	73	112	75
97	126	34	32	95	127	101	131	135	109	25	34	100	106	119	130	91	110
24	24	110	143	76	104	95	116	20	22	64	87	111	101	148	119	23	53

119	102	110	124	104	88	135	48	124	114	123	48	112	106	117	40	148	130
90	87	114	136	116	30	26	111	89	116	118	100	99	34	38	110	125	76
97	122	128	38	39	83	107	120	123	129	107	23	15	111	91	111	75	123
101	18	21	60	88	106	85	65	121	18	10	126	107	124	97	110	110	25
38	114	137	139	121	105	129	31	31	95	131	131	108	97	58	94	21	148
61	110	130	98	106	110	27	120	90	91	126	101	90	111	32	18	127	132
75	97	116	120	25	38	137	140	126	104	106	97	38	29	87	128	134	109
111	124	22	23	120	107	141	128	91	79	21	32	107	106	117	144	127	130
20	38	149	91	137	106	101	105	39	21	130	112	134	116	125	100	26	22
131	77	119	101	144	102	100	22	101	93	87	91	125	87	102	19	81	79
90	135	105	80	80	26	15	113	130	89	105	103	128	20	32	100	62	86
119	87	84	23	36	120	117	145	113	95	130	29	29	85	107	112	110	121
106	17	35	100	126	127	119	114	118	22	18	87	138	89	108	96	123	17
102	135	29	127	63	20	21	76	108	86	101	91	97	96	75	89	94	104
15	24	127	100	19	80	111	136	69	133	110	126	118	105	118	129	32	104
125	113	108	111	131	124	108	106	98	93	37	23	98	105	132	42	116	85
126	142	83	74	123	111	120	110	50	15	121	99	120	22	27	93	119	120
115	111	96	38	58	108	34	32	115	121	81	121	11	105	131	68	101	23
87	27	37	95	26	22	96	96	131	120	106	125	110	68	104	80	88	92
27	100	97	99	95	94	87	73	112	128	109	29	120	103	76	102	22	66
100	113	105	103	99	139	71	110	101	21	35	100	103	90	21	6	44	136
118	131	98	126	133	59	90	40	16	123	130	124	23	45	92	100	104	14
112	93	37	21	60	45	22	109	97	113	121	78	107	128	98	112	131	32
32	23	120	125	44	87	91	113	123	120	127	110	96	144	87	102	21	134
98	101	47	108	119	106	91	82	91	107	24	28	92	100	105	23	63	142
75	120	70	97	98	111	129	75	43	27	125	106	101	13	29	109	75	131
114	99	108	27	63	145	24	41	111	64	120	105	20	119	114	139	105	37
101	26	41	75	28	21	127	108	95	65	118	65	64	106	109	94	84	126
14	111	75	68	69	107	139	90	99	149	123	34	132	124	83	77	34	64
101	117	85	134	86	79	96	119	119	37	29	128	122	102	28	23	111	127
128	137	92	145	100	85	95	98	13	92	79	113	22	18	121	95	112	102
98	122	36	44	123	24	34	25	119	101	106	96	113	105	102	122	117	78
30	22	124	125	49	110	104	111	135	116	73	106	93	97	57	77	116	88
105	110	105	104	114	90	131	135	136	107	27	21	96	128	92	22	36	147
106	121	114	102	106	113	95	84	31	32	122	115	105	39	24	115	148	94
119	114	92	38	79	119	22	27	139	87	111	93	29	109	107	129	136	67
122	26	21	75	26	29	108	102	122	103	96	106	82	113	121	104	73	118
23	122	91	114	120	122	92	136	127	100	136	17	93	143	128	96	29	93
114	132	120	93	94	97	100	112	128	36	33	115	109	122	21	37	65	24
95	88	138	98	100	110	76	110	33	75	96	116	27	23	77	95	112	142
114	117	28	26	119	34	19	22	101	114	84	95	104	103	113	120	108	99
43	29	126	114	20	127	88	114	119	114	96	85	124	101	120	99	114	102
119	106	97	86	69	122	117	113	101	76	27	22	112	95	109	34	29	111
109	79	76	88	95	104	128	103	109	37	106	145	114	41	19	91	110	105
136	116	83	20	120	133	19	24	14	130	94	68	13	91	119	122	149	88

95	19	31	116	72	42	99	80	123	108	100	85	109	106	142	110	129	85
20	93	92	68	26	121	111	115	111	81	133	34	141	102	84	121	43	96
93	110	98	113	99	66	103	117	73	21	36	83	87	72	41	30	111	27
88	91	81	110	120	104	112	108	33	123	95	93	21	14	115	126	100	105
130	112	9	19	112	25	23	30	85	131	136	97	101	97	84	82	108	99
24	14	126	84	23	118	102	93	125	96	125	74	93	105	84	89	111	97
78	112	97	89	110	134	119	110	91	100	27	18	123	89	116	20	16	38
117	57	121	105	107	84	83	132	120	19	135	102	95	33	9	88	124	25
112	97	138	31	118	113	30	33	35	113	120	120	18	99	77	108	90	141
145	4	28	82	93	17	93	149	87	116	127	127	99	86	95	97	88	120
24	79	108	123	35	97	117	88	125	147	99	13	96	97	128	132	35	96
75	93	95	105	89	78	89	118	118	101	35	96	109	129	37	4	119	32
67	81	90	114	68	85	142	108	22	26	141	122	40	30	109	92	142	27
80	121	35	26	80	107	105	20	109	86	115	88	115	93	128	135	138	23
8	23	101	110	29	26	99	131	91	136	105	91	109	78	120	105		

CONTEST PROBLEM 1

IIE/RA Contest Problems

First Annual Contest: The SM Superstore

You have just been hired as a consultant by Sue Model of Sue's Markets. Although Sue has been in the grocery business for many years with a large chain of small stores, she just recently opened the first of a new type of store called The SM Superstore. The idea behind this new concept is to provide a huge store with numerous types of brands available and fast, friendly service. This first store is being used to test the layout and operating procedures for a large chain of superstores that Sue expects to build.

The first store has been open for six months, and Sue is still having a problem staffing the checkout counters during peak times, which occur from 2 PM to 10 PM. She has received many customer complaints about the long lines in front of the checkout counters. She has 20 checkouts that she can use, but has not been able to develop an adequate staffing plan to eliminate the long waits. Your consulting firm has been asked to develop an economical staffing plan that will meet Sue's requirements.

Prior to requesting your services, Sue hired a group of IE students from a local university to collect and analyze data. Some of those data are summarized in this document. Unfortunately, Sue is away on a well-deserved, one-month vacation in the South Pacific and cannot be reached. Furthermore, she indicated that she does not want her store personnel to be bothered by a bunch of consultants asking dumb questions and disrupting the store's operation. Thus, no additional information is available, and Sue wants your report on her desk when she returns from vacation. After reading the report, she may decide to ask for additional work.

An informal survey was conducted to determine what wait times customers expect—the time customers wait in line before reaching the cashier. Most customers would prefer at most a 2- or 3-minute wait time, but are willing to wait as long as 10 or 12 minutes if the store is very busy. Customers with only a few items normally expect a shorter waiting time. Customers did indicate that if they had to wait longer than 15 or 20 minutes, they might go to another store the next time. In addition, if the number of customers exceeds 4 or 5 per lane, the congestion starts to interrupt the other shoppers.

Although the customer arrival rate has a great degree of variability, the IE students have provided average arrival rates at the checkout lines (in customers per hour) for each half hour of the times under consideration. These rates are as follows:

Time	Rate	Time	Rate
2:00 - 2:30	95	6:00 - 6:30	105
2:30 - 3:00	100	6:30 - 7:00	95
3:00 - 3:30	120	7:00 - 7:30	125
3:30 - 4:00	150	7:30 - 8:00	150
4:00 - 4:30	160	8:00 - 8:30	155
4:30 - 5:00	150	8:30 - 9:00	95
5:00 - 5:30	160	9:00 - 9:30	70
5:30 - 6:00	110	9:30 - 10:00	60

During the data collection phase, it was assumed that all days were identical so data were only collected on Monday through Thursday. It now appears that the overall demand on Friday increases about 15%, and the weekend demand is very different. Thus, you should only be concerned with the weekday staffing.

Actual shopping time has a great degree of variability. Customers purchasing fewer than 10 items generally average about 42 seconds per item, although it takes a minimum of 3 minutes just to travel through the store. Customers who purchase more items average about 34 seconds per item.

The number of items per customer is quite variable, but appears to be consistent over time.

A large sample of items per customer was obtained from cash register receipts and can be found in file IIE_SM_1.dat. The average checkout time per item is about 3 seconds, but can vary as much as 25%. About 1.3% of the time a price check will be needed on an item or a damaged item will need to be replaced. Although the store uses scanners for checkout, customers sometimes request that the price list at the item display be checked. The time for this activity is highly variable, but averages about 2.2 minutes. The form of payment depends on the number of items that a customer purchases. For purchases of 20 or fewer items, 45% of the customers pay cash, 30% pay by check, and 25% pay with a credit card. For purchases of greater than 20 items, the values for those categories are 20%, 45%, and 35%, respectively. All payment transaction times appear to follow a normal distribution, but vary by payment type.

Cash payments average 0.95 minute, with a standard deviation of 0.17. Check payments for customers with a check cashing card average 1.45 minutes, with a standard deviation of 0.35. With no check cashing card (27% of the time), the supervisor must approve the check, which requires another 0.95 minute, with a standard deviation of 0.15. Credit card payments average 1.24 minutes, with a standard deviation of 0.21.

Bagging times average about 1.25 seconds per item, but can vary as much as 20%. Customers have a greater preference, 63%, for plastic bags rather than paper. If a bagger is not available, the cashier will bag the groceries after payment is made. About 30% of the time the customer will help. The time does not appear to be dependent upon who is doing the bagging. Baggers may be assigned to a single aisle, to multiple aisles, or may simply move among all aisles as required.

Sue's employees for cashier and bagging activities are mostly part-time people. Cashiers are paid an average of \$7.25 per hour, and baggers are paid an average of \$5.50 per hour. There are several rules that must be followed in staffing with part-time employees. Any part-time person must be scheduled for a minimum of 3 hours and a maximum of 5 hours. Cashiers are generally not asked to work as baggers, and baggers are not allowed to work as cashiers.

Clearly, one can make all customers happy almost all the time by keeping all the checkouts completely staffed all the time. However, the cost to implement this strategy would be prohibitive. Ideally, a staffing schedule would provide minimal waiting time at a minimum cost. Although Sue is expecting a single schedule, she did note at the last meeting that she expects demand to change over time. So, she might be interested in how and when to adjust her schedule as the demand changes.

Sue is looking forward to receiving your recommendations.