

ESTUDO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM FILAS DE UMA AGÊNCIA DOS CORREIOS

Vânia Maciel Costa Medeiros (UFERSA) vaniamaciel@live.com
Déborah Grazielle Alves da Silva (UFERSA) deborahgrazielle@hotmail.com
Girlene Borges de Carvalho (UFERSA) girlene.icapui@yahoo.com.br
Maria Eduarda Pereira Epifânio (UFERSA) eduarda@ufersa.edu.br

Resumo

A simulação tem sido utilizada nas mais diversas áreas de estudo por permitir a experimentação através de modelos do sistema real, a fim de solucionar problemas muito caros ou muito complexos. Para o mercado de agências, sejam elas bancárias, dos correios, entre outras, não é diferente. Assim, o objetivo desse trabalho é utilizar a simulação usando o software SimPy 2.3, que faz uso da linguagem Python 2.7, para simular a fila de pagamento em uma agência de correios, com o intuito de determinar de que maneira pode-se melhorar o atendimento e conseqüentemente reduzir o tempo em fila, gerando uma maior satisfação ao cliente que está sendo atendido.

Palavras-Chaves: (Simulação, correios, SimPy)

1. Introdução

O mercado mundial contemporâneo tem se tornado cada vez mais dinâmico, com necessidades de respostas rápidas dos sistemas de manufatura e flexibilidade para variações de cenários por parte do cliente. (LIM e ZHANG, 2003, apud BRIGHENTI, 2006, p.1). E é diante deste cenário que as empresas precisam buscar maneiras de manter a parcela do mercado já conquistada e de aumentar sua competitividade.

Neste sentido, a simulação se mostra como uma poderosa ferramenta para as tomadas de decisões, com o poder de minimizar o risco das mesmas (BANKS, 2000; PEREIRA, 2000, apud BRIGHENTI, 2006, p.2).

A simulação, segundo Shannon (1975) é um “processo de desenvolvimento de um modelo de um sistema real, que nos permite a condução de experimentos através desse modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema” e/ou avaliar estratégias, através do uso de limites impostos por um ou mais critérios para a operação do sistema.

A proposta deste trabalho, portanto, refere-se ao estudo da modelagem e simulação nas filas de uma agência dos correios através da utilização do software SimPy 2.3, que faz uso da linguagem Python 2.7.

A referida agência está situada na cidade de Icapuí, no estado do Ceará. Sendo o município mais oriental do estado brasileiro do Ceará, a população de Icapuí em 2004 era estimada em 17.279 habitantes. A economia local é baseada na agricultura: caju, côco-da-Bahia, cana-de-açúcar, mandioca, milho, feijão e aspargo; piscicultura: lagosta; além de três indústrias de produtos alimentares e do turismo que é uma importante fonte de renda. (PREFEITURA DE ICAPUÍ, 2013).

Para o atendimento aos clientes nesta agência, existem 3 filas. Uma delas é destinada para as pessoas que desejam pegar e/ou enviar cartas, outra para o pagamento de contas (água, luz, telefone, etc.) e uma última para serviços diversos, como a solicitação da retirada de documentos, por exemplo. Para efeito de estudo deste trabalho foi considerada apenas a fila de pagamentos.

Assim, o objetivo do presente estudo é simular filas de espera para pagamento na agência de correios selecionada, a fim de determinar de que maneira pode-se melhorar o atendimento e consequentemente reduzir o tempo em fila, gerando assim uma maior satisfação ao cliente que está sendo atendido.

2. Referencial teórico

2.1. Simulação

De acordo com Mello (2001, p.4), a simulação pode ser entendida como a análise do comportamento de sistemas reais por meio da utilização de modelos. “Um modelo incorpora características que permitem representar o comportamento do sistema real” (LAW, 1982, apud MELLO, 2001, p.4). Já um sistema, ainda segundo Mello (2001, p.4) pode ser entendido como um conjunto de itens entre os quais é possível localizar ou determinar alguma relação de funcionalidade.

Para Banks (2000, apud BRIGHENTI, 2006, p.7), a simulação abrange a concepção de uma história fictícia da realidade, e, baseado nela, são feitas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado.

De maneira geral, é recomendado o uso da simulação em dois casos principais. O primeiro, “quando a solução de problemas é muito cara ou mesmo impossível através de experimentos.” E o segundo, “quando os problemas são muito complexos para tratamento analítico.” (MELLO, 2001, p4).

Assim, os fatores que requerem o uso de técnicas de simulação incorporadas aos benefícios computacionais, segundo Fil (1995, apud MELLO, 2001, p.4) são:

- Tempo: em computador é possível realizar experimentos que, se executados sobre o sistema real, poderiam consumir anos;
- Custo: embora a simulação em computador exija recursos humanos e alguns equipamentos, geralmente o custo se mantém muito abaixo se comparado à execução de experimentos sobre o sistema real;
- Impossibilidade de experimentação direta: há situações em que experimentações diretas no sistema real não podem ser realizadas por questões de segurança, de tempo, de acesso, ou ainda de inexistência (sistema em construção);
- Visualização: os computadores oferecem recursos que facilitam a visualização dos resultados de uma simulação (gráficos, tabelas, entre outros), bem como do estado do sistema durante o exercício de um modelo;
- Repetição: depois de construído, um modelo de representação pode ser executado muitas vezes a um custo muito baixo;
- Interferência: um modelo é extremamente mais flexível para a realização de mudanças se comparado a um sistema real. Esta é uma característica bastante desejável no estudo de sistemas com objetivos de geração de informações de apoio a tomada de decisões.

2.2. Simulação de eventos discretos

A técnica de Modelagem e Simulação de Eventos Discretos torna possível o desenvolvimento de cenários virtuais em computadores que imitam o comportamento de praticamente todo tipo de sistema. Esses cenários podem ser modificados e testados sem que o sistema real seja comprometido. Os valores gerados dão suporte à tomada de decisão, uma vez que, os resultados estatisticamente confiáveis envolvendo o sistema possibilitam a simulação de dias ou meses equivalentes ao sistema real, em poucos minutos de processo computacional. Logo, é possível se atingir os melhores resultados com investimentos menores. (CHWIF & MEDINA, 2007). Por isso, de acordo com Sá *et al* (2012, p.1-2), a simulação computacional a eventos discretos tem sido utilizada cada dia mais como forma de auxiliar gestores na tomada de decisão.

Para Kelton (1998), a Simulação de Eventos Discretos é aquela que muda seus estados a partir da ocorrência de eventos no decorrer do tempo, como no processo de manufatura de peças com tempo de ciclo específico.

2.3. Modelagem

Segundo Mello (2001, p.8) e como já visto anteriormente, os modelos são empregados na solução de problemas que “seriam muito caros em uma solução experimental ou muito complicados para tratamento analítico.”.

Neste sentido, Biazzo (2002, apud COSTA, 2009, p.17), afirma que a modelagem de processos diz respeito a construção de um modelo que mostra as interações entre atividades, pessoas, dados e objetos da produção de um bem específico.

2.4. Ferramentas de modelagem

2.4.1. Fluxograma

Segundo Barnes (1986, apud BRIGHENTI, 2006, p.23) o fluxograma do processo refere-se a uma técnica utilizada para registrar o processo de uma maneira sucinta e de fácil entendimento. Na maioria dos casos, o fluxograma tem início com a entrada dos insumos na fábrica ou célula e prossegue pelo processo de fabricação do produto, atravessando operações como transformação, transporte e verificação até o momento de sair da fábrica como produto acabado.

Slack et al. (1997), por sua vez, diz que o fluxograma é um artifício de mapeamento que possibilita o registro de ações e pontos para a tomada de decisão que acontecem no fluxo real.

Accioly (1999, apud BRIGHENTI, 2006, p.22) afirma também que o mapeamento do processo produtivo através do fluxograma é uma ferramenta muito importante para o entendimento dos processos, uma vez que, possibilita que a inter-relação entre as atividades da cadeia produtiva sejam melhor visualizadas.

De acordo com Krick (1971), o fluxograma é uma tradicional técnica de análise que delinea as fases do processo produtivo utilizando os símbolos da *American Society Mechanical Engineers* (ASME).

2.4.2. Redes de Petri

De acordo com Cardoso e Valette (1997), “a rede de Petri é um modelo matemático com representação gráfica”. Ao analisarmos uma rede de Petri, percebemos que esta consiste em

dois tipos de nós que são interligados através de arcos, vistos como setas. Já de acordo com Barros (2001), “os elementos dos dois conjuntos em que se podem dividir os nós que compõe uma rede de Petri denominam-se respectivamente lugares e transições, em que os lugares encontram-se ligados às transições, e estas aos lugares, através de arcos dirigidos”. A estrutura da rede de Petri é formada por três elementos básicos: estados, ações e relação de fluxo. A seguir temos um breve detalhamento destes elementos.

- O lugar (estado) pode ser visualizado como uma condição, ou estado parcial;
- A transição (ação) segundo os autores Cardoso e Valette (1997) é associada a um evento que ocorre no sistema, como o evento iniciar a operação;
- As relações de fluxo (ou arcos) são usadas para demonstrar de que maneira as transições irão evoluir nos estados dos sistemas;
- As fichas (tokens) ainda segundo Cardoso e Valette (1997), é definida como um indicador que atribui o significado de que a condição associada ao lugar é verificada. Assim, a distribuição de fichas (tokens) pelos lugares de uma rede determina o estado do sistema modelado.

2.4.3. Idef-sim

Durante a modelagem conceitual, o modelo abstrato que está na mente do analista deve ser representado seguindo alguma técnica, com o objetivo de torná-lo o mais fiel a realidade, de modo que outras pessoas, ao observá-lo possam entendê-lo (PINHO *et. al.*, 2009).

Dessa forma, ao perceber as lacunas existentes nas técnicas de mapeamento que servissem de suporte à simulação computacional. Leal ET. AL. (2009) propõem a técnica IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods – Simulation*), que objetiva o projeto de simulação, mas que também pode ser usada para projetos de melhoria em geral.

2.5. Softwares usados na simulação

De acordo com Law e Kelton (1991) os softwares de simulação podem ser agrupados em duas categorias: “linguagens de simulação” e “simuladores”. Linguagens de simulação são "pacotes" computacionais genéricos, contudo com características especiais que se adaptam a cada tipo de aplicações em simulação. Sua grande vantagem esta relacionada à grande flexibilidade que permite modelar qualquer tipo de sistema, no entanto é necessário ter conhecimentos específicos de programação e se o modelo for complexo é preciso um maior tempo para a modelagem.

Já os simuladores, diferentemente do anterior, são "pacotes" computacionais que favorecem a modelagem de sistemas específicos com pouca programação, assim é necessário um menor tempo para a construção do modelo, pois seu uso é mais fácil com menus e gráficos relacionados com o sistema específico. Contudo, a modelagem tem pouca flexibilidade.

Hoje em dia existem inúmeros softwares de simulação no mercado. A seguir descrevemos dois bastante conhecidos, o ARENA e o SimPY, sendo que este último foi a ferramenta usada no nosso estudo de caso.

2.5.1. Arena

Segundo Prado (1999) o software Arena consiste em um conjunto de módulos utilizados para descrever uma aplicação real e que trabalham como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos de sua modelagem são as entidades que representam as pessoas, objetos, transações, etc. que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação; e o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações.

2.5.2. SimPy

O próprio site do SimPy o descreve como um pacote de simulação de eventos discretos. Trata-se de um *software* que fornece componentes para um modelo, como por exemplo, clientes, mensagens e veículos. Oferecendo também recursos para componentes passivos que compõem pontos de capacidade limitada de congestionamento, por exemplo, servidores e contadores. Ele também provê variáveis para ajudar na coleta estatística. O Simpy foi o software escolhido para a realização do presente trabalho.

3. Metodologia

O presente estudo classifica-se em pesquisa quantitativa que segundo Vegara (2006), tem o propósito de identificar as relações entre as variáveis e caracteriza-se pela objetividade, utilizando técnicas estatísticas para o tratamento de dados e buscando a generalização dos resultados. Pode ser classificado também como pesquisa descritiva, uma vez que visa descobrir a existência de associações entre variáveis (GIL, 2002). De acordo com Medeiros (2008, p. 30) a pesquisa descritiva objetiva o “estudo, análise, registro e interpretação dos fatos do mundo físico sem a interferência do pesquisador”. No desenvolvimento do trabalho foi usada a metodologia de pesquisa referente à Modelagem e Simulação.

Como roteiro de trabalho, resolveu-se tomar como base um método de simulação computacional proposto por Harrel ET AL. (2002). A seguir temos o detalhamento desse roteiro.

Figura 1 – Roteiro de trabalho



Fonte: Adaptado de Harrel et al. (2002)

- Definição do Problema: este é o ponto de partida do trabalho, nesta etapa, definimos qual problema será objeto de estudo;
- Planejamento do Modelo Conceitual: nesta etapa é desenvolvido um modelo conceitual do processo que será simulado;
- Coleta de Dados: a coleta de dados se faz necessária para seja realizada a modelagem computacional;
- Desenvolvimento do Modelo Computacional: nesta etapa dá-se início a construção do modelo, onde será feito o uso de um software específico para simulação computacional. Vale ressaltar que após o desenvolvimento do modelo computacional, o mesmo deve passar pelo processo de verificação e validação, através de rodadas de simulação e monitoramento do comportamento dos parâmetros e variáveis que representam as operações produtivas;
- Análise dos Resultados: etapa onde são definidas as atividades que melhor correspondem aos objetivos do trabalho;
- Propostas de Outras Atividades: nesta etapa se analisado a necessidade de novas atividades no processo. É visto o que é necessário para o seu desenvolvimento e seus benefícios.

4. Aplicação do modelo

4.1. Definição do problema

Para realização do trabalho é necessário que seja feita a simulação do processo de atendimento na Agência de Correios localizada na cidade de Icapuí/CE, mas em específico a fila que corresponde ao setor de pagamento. Os dados foram coletados em Agosto de 2013, e o departamento em questão possui apenas um prédio, no qual estão subdivididos com espécies de balcões, para a realização do atendimento ao cliente. São atendidas em média 150 pessoas por dia.

Para a realização da análise foi observada apenas uma fila, das três existentes na agência. A fila escolhida foi a utilizada pelos clientes para efetuar pagamentos diversos. Assim, de acordo com a simulação, temos como objetivos diagnosticar a real situação do atendimento na Agência em estudo, quanto ao comportamento da fila de espera, como ao número de clientes em fila, tempo de espera, duração de atendimento e a taxa de ocupação.

Enfim, a partir dos resultados são propostas melhorias de acordo com a necessidade do sistema, realizando alterações nas características de atendimento, essas alterações devem interferir no cenário em estudo, vindo a servir como garantia para a redução do tempo de espera na fila dos clientes.

4.2. Modelo conceitual do sistema

4.2.1. Fluxograma

Segundo o observado no cenário de estudo, desenvolveu-se o fluxograma do processo, mostrando a sequência das atividades que envolvem o atendimento do cliente, ou seja, a sucessão das etapas, desde a chegada do cliente até a saída do mesmo.

Figura 2 – Fluxograma do processo de atendimento ao cliente

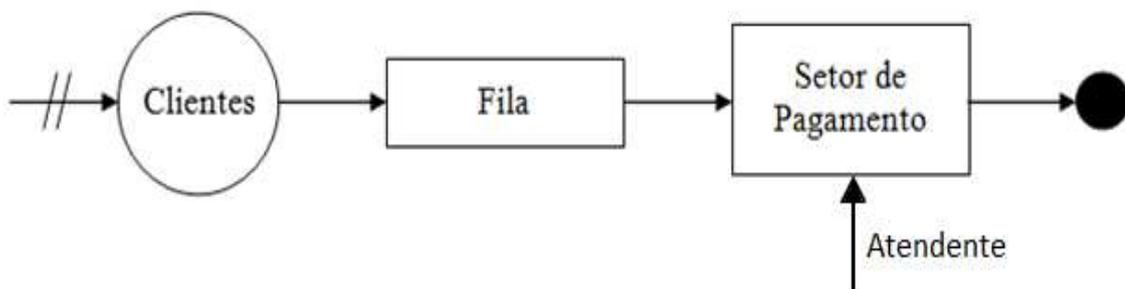


Fonte: Autores (2013)

4.2.2. Idef-sim

Com a observação do sistema de atendimento, foi apontado um modelo para a Agência analisada. Vale ressaltar que o uso dos símbolos foi adaptado às necessidades encontradas no projeto. O que pode ser visto a seguir:

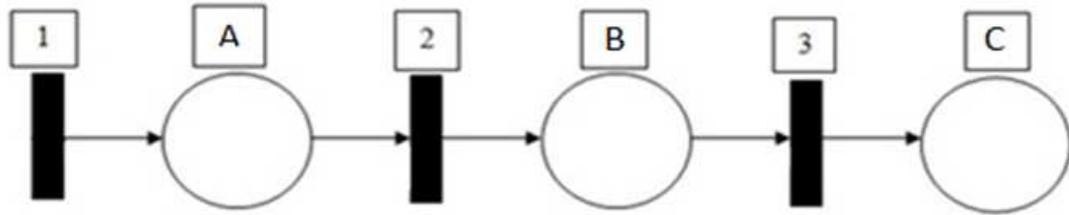
Figura 3 - IDEF-SIM do sistema de atendimento.



Fonte: Autores (2013)

4.2.3. Rede de Petri

Figura 4 – Rede Petri do atendimento na agência de correios.



Estados		Transições	
A	Fila Ocupada	1	Chegada dos Clientes
B	Atendente Ocupado	2	Início do Atendimento
C	Cliente Atendido	3	Término do Atendimento

Fonte: Autores (2013)

4.3. Tratamento dos dados

Para realização da coleta de dados foi construído uma planilha para que os mesmos fossem organizados e posteriormente tratados. Esses dados colhidos são referentes ao momento de chegada do cliente e o tempo de atendimento, resultanto em uma planilha simplificada, como mostra o quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Planilha de dados referentes ao setor de pagamento

Ordem de Chegada	Intervalo de Chegada	Tempo de Atendimento
01-		
02-		

Fonte: Adaptado de Sampaio, P.G.V.,Oliveira,S.D.(2013).*Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário.*

Determinados os tempos de duração do atendimento e o intervalo de chegada de um cliente para o outro. Esses dados foram inseridos em um bloco de notas e de maneira sucessiva foi efetuada a convenção estatística dos dados colhidos com o auxílio do *software Arena®*, usando a ferramenta *Input Analyzer*. Neste *software* foi identificado o tipo de distribuição que cada conjunto de dados iria seguir, sendo as distribuições: Normal, Uniforme, Exponencial, Gama, Weibull, Log Normal, Beta, Triangular e Erlang. Esta ferramenta permite também demonstrar os efeitos da troca dos parâmetros das distribuições e permitindo também a manipulação dos dados de entrada.

Conhecidas as devidas distribuições, é realizada uma programação gerando simulações em relação ao sistema real, que para uma melhor visualização é demonstrado os dados de entradas no quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Visualização das distribuições segundo o *Input Analyzer*

Dados de Entrada			
Filas	Variáveis	Tipo de Distribuição	Equação
Setor de Pagamentos	Tempo de atendimento	NORMAL	NORM (5.84, 1.54)
	Intervalo de chegada	WEIBULL	-0.5 + WEIBULL (5.56, 0.925)

Fonte: Autores (2013)

4.4. Modelo computacional

Etapa da análise onde os dados são convertidos para o modelo computacional. Por sua vez, os dados foram coletados e inseridos no *software SimPy*, onde os principais pontos referentes ao sistema foi modelado, sendo gerado o tempo máximo e mínimo em fila, o tempo médio, o tempo máximo e mínimo em atendimento, o tempo médio de atendimento, o percentual de ocupação dos atendentes e o número de clientes atendidos.

Conhecidas as equações das distribuições referentes ao intervalo de chegada, e o tempo de atendimento, estas informações foram aplicadas no *SimPy*. Realizaram-se posteriormente replicações com dez sementes diferentes. Pode-se então saber quão perto, da média verdadeira, está à média das rodadas. O método utilizado foi à estimativa do intervalo de confiança. O quadro 3 a seguir demonstra essa replicação.

Quadro 3 – Média dos valores encontrados para 10 *seeds* diferentes

Setor Pagamento	
Tempo máximo em fila (min)	105,5476
Tempo mínimo em fila (min)	25,2558
Tempo médio em fila (min)	48,5634
Tempo máximo de atendimento (min)	9,7738
Tempo mínimo de atendimento (min)	2,0102
Tempo médio de atendimento (min)	5,8221
Taxa de ocupação (%)	95,80%
Número médio de clientes atendidos	99

Fonte: Adaptado de Sampaio, P.G.V.,Oliveira,S.D.(2013).*Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário.*

Com as replicações realizadas pode-se observar que o tempo médio em fila está dentro do intervalo de confiança, utilizando o T de Student de 95%, portanto pode-se declarar que o modelo é válido.

Quadro 4 – Validação do modelo

Validação do Programa - Distribuição t-student	
Tamanho da amostra (n) = 10	
Nível de confiança = 95%	
t (n-1) = 1,833	
Tempo médio em fila - caixa comum	
Média	48,5634
Desvio padrão	31,4971
Intervalo de confiança	30,74 ≤ 49 ≤ 67,25

Fonte: Adaptado de Sampaio, P.G.V.,Oliveira,S.D.(2013).*Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário.*

4.5. Construção de cenários com o software

O resultado dessa fase é o estabelecimento de cenários que serão rodados. Portanto, segundo a análise destes cenários, o cenário que mais se adequaria às necessidades dos clientes seria o composto por 3 atendentes. Assim a Agência atenderia seus clientes satisfatoriamente e a permanência dos mesmos em fila seria mínima.

Quadro 5 – Criando cenários 1

SETOR DE PAGAMENTO	
Seed (1)	
2 atendentes	3 atendentes
Tempo médio em fila = 6,03673 minutos	Tempo médio em fila = 2,5190 minutos
Nº de clientes atendidos = 125	Nº de clientes atendidos = 125
Taxa de ocupação (%) = 91,64	Taxa de ocupação (%) = 100%

Fonte: Adaptado de Sampaio, P.G.V.,Oliveira,S.D.(2013).*Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário.*

Quadro 6 – Criando cenários 2

SETOR DE PAGAMENTO	
Seed (10)	
2 atendentes	3 atendentes
Tempo médio em fila = 41,6837 minutos	Tempo médio em fila = 7,6910 minutos
Nº de clientes atendidos = 128	Nº de clientes atendidos = 150
Taxa de ocupação (%) = 189%	Taxa de ocupação (%) = 230%

Fonte: Adaptado de Sampaio, P.G.V.,Oliveira,S.D.(2013).*Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário.*

5. Análise dos resultados

Cenários foram simulados e comparados com o cenário que representa o sistema real. Buscou-se melhor opção para reduzir o tempo médio de espera em fila dos clientes com a possível locação de um novo atendente. Pode-se ressaltar que os cenários criados, o número de clientes atendidos permaneceu inalterado, o que pode ser explicado pelo fato de que os clientes são específicos. Uma nova configuração de fila deve ser desenvolvida, segmentando a fila que por sua vez deveria ser única. Gerando assim uma organização que produzirá uma prestação de serviço com maior tranquilidade tanto para cliente quanto para o atendente.

6. Novas propostas

A fila que se apresenta segmentada deveria manter uma estrutura única. Assim, gerará uma organização que produzirá uma prestação de serviço com maior tranquilidade tanto para cliente quanto para o atendente.

7. Considerações finais

A fim de determinar de que maneira pode-se melhorar o atendimento e conseqüentemente reduzir o tempo em fila, gerando satisfação ao cidadão. Foi feita esta análise dos possíveis cenários que poderiam ser encontrados no sistema real. Determinou-se que o cenário que mais se adequaria às necessidades da agência, seria a contratação de mais dois atendentes, para o sistema funcionar de maneira satisfatória, tanto para o cliente quanto para o funcionário.

REFERÊNCIAS

- BARROS, J. P. M. P. R.;** *Introdução à modelagem de sistemas utilizando redes de Petri.* Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2001.
- BRIGHENTI, José Renato Nunes.** **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto.** Itajubá: UNIFEI, 2006. 113p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Engenharia de Itajubá).
- CARDOSO, J. e VALETTE, R;** *Redes de Petri,* editora UFSC, 212 p, 1997.

- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. Segunda edição. São Paulo, 2007.
- COSTA, Lourenço. **Formulação de uma metodologia de Modelagem de Processos de Negócio para implementação de workflow**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2009.
- GIL, A.C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOVERNO MUNICIPAL DE ICAPUÍ. Disponível em: <<http://www.icapui.ce.gov.br>> Acesso em: 6 set. 2013.
- KELTON, David W.; SADOWSKI, Randall P.; SADOWSKI, David. **Simulation with Arena**. Boston: McGraw Hill, 1998.
- HARREL, C.R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G. & GOGG, T. J. *Simulação : otimizando os sistemas*. São Paulo: IMAM, 2002.
- KRICK, E.V. **Métodos e Sistemas**. Vol. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1971.
- LAW, Averill M.; KELTON, W. David. *Simulation Modeling and Analysis*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M.L.M.; ALMEIDA, D.A; MONTEVECHI, J.A.B. *Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM*. XXIX ENEGEP -Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador –BA,2009.
- MEDEIROS, J. B. *Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas*. São Paulo: Atlas, 2008.
- MELLO, Braulio Adriano de. **Modelagem e Simulação de Sistemas**. Santo Ângelo. 2001. 69p.
- PINHO, A.F.; LEAL, F; MONTEVECHI, J.A.B.; COSTA, R. F. S. *Utilização de Lego® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos*. XXIX ENEGEP -Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador – BA, 2009.
- PRADO, D. S. *Usando o Arena em simulação, Série Pesquisa Operacional*. BeloHorizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. v. 3.
- SÁ, Ana Carolina de Almeida *et al.* **Simulação a eventos discretos e avaliação econômica para análise do processo de fabricação de serras diamantadas**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, v. 4, n. 8, p. 188-206, 2012.
- SAMPAIO, P.G.V., OLIVEIRA,S.D.(2013). *Estudo de Modelagem e simulação em filas num supermercado associado á análise de cenário*.
- SHANNON, Robert E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.
- Site SimPy. Disponível em: <<http://simpy.readthedocs.org/en/latest/>> Acesso em 25 ago. 2013.
- SLACK, N; CHAMBERS, S; HARLAND, C; HARRISON, A & JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Editora Atlas, SP, 1997.
- VERGARA, S. C. *Métodos de Pesquisa em Administração*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 287p.

ANEXO

DADOS DO INPUT ANALYZER

Figura 5 – Histograma do tempo de atendimento

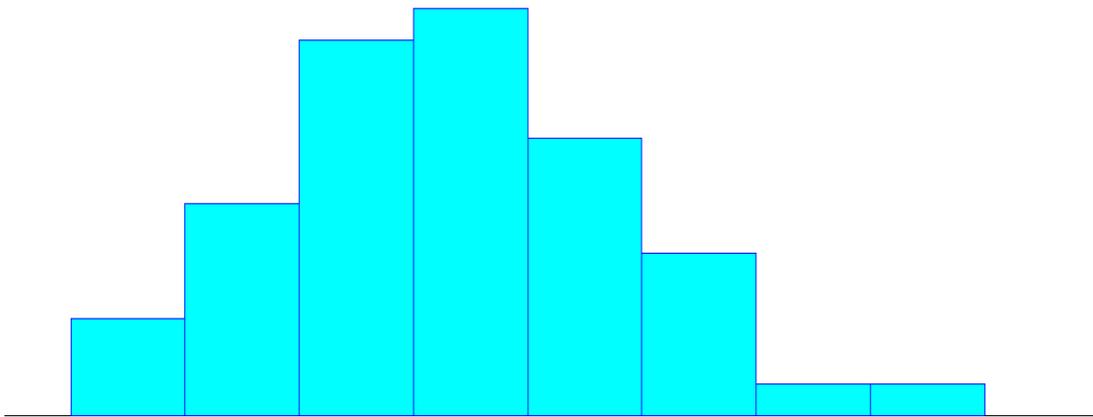


Figura 6 - Informações do histograma do tempo de atendimento

Data Summary	
Number of Data Points	= 98
Min Data Value	= 3
Max Data Value	= 10
Sample Mean	= 5.84
Sample Std Dev	= 1.55
Histogram Summary	
Histogram Range	= 2.5 to 10.5
Number of Intervals	= 8

Figura 7 – Histograma de distribuição do tempo de atendimento

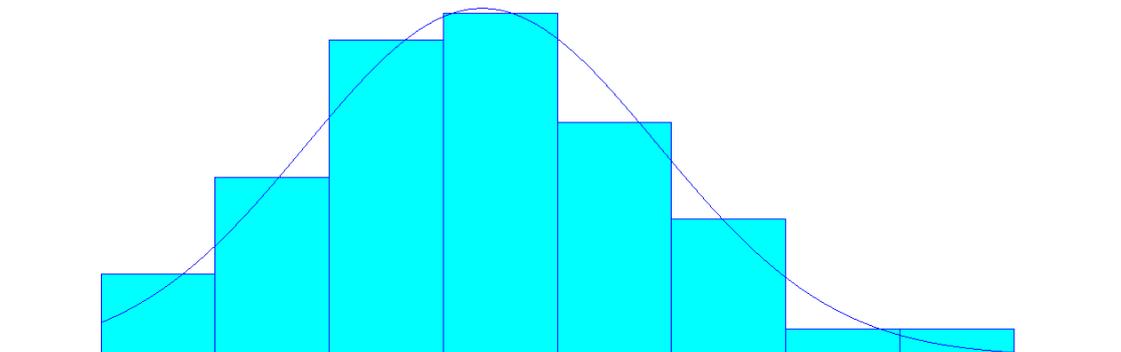


Figura 8 - Sumário da distribuição do tempo de atendimento.

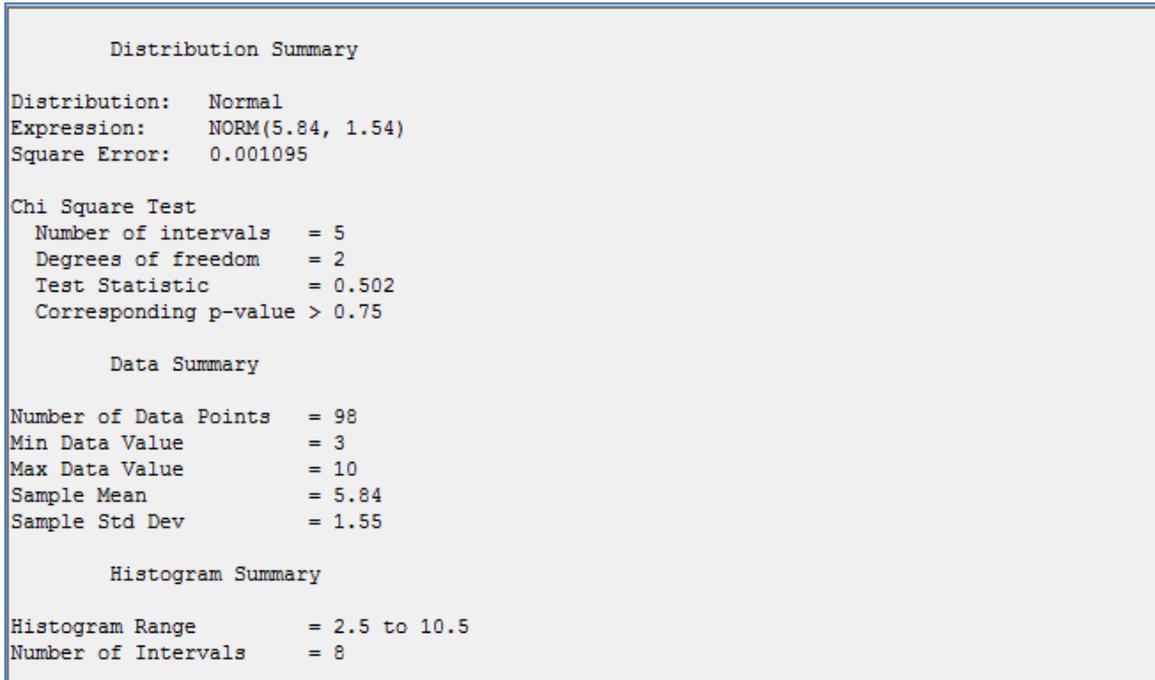


Figura 9 – Resultado da distribuição do tempo de atendimento

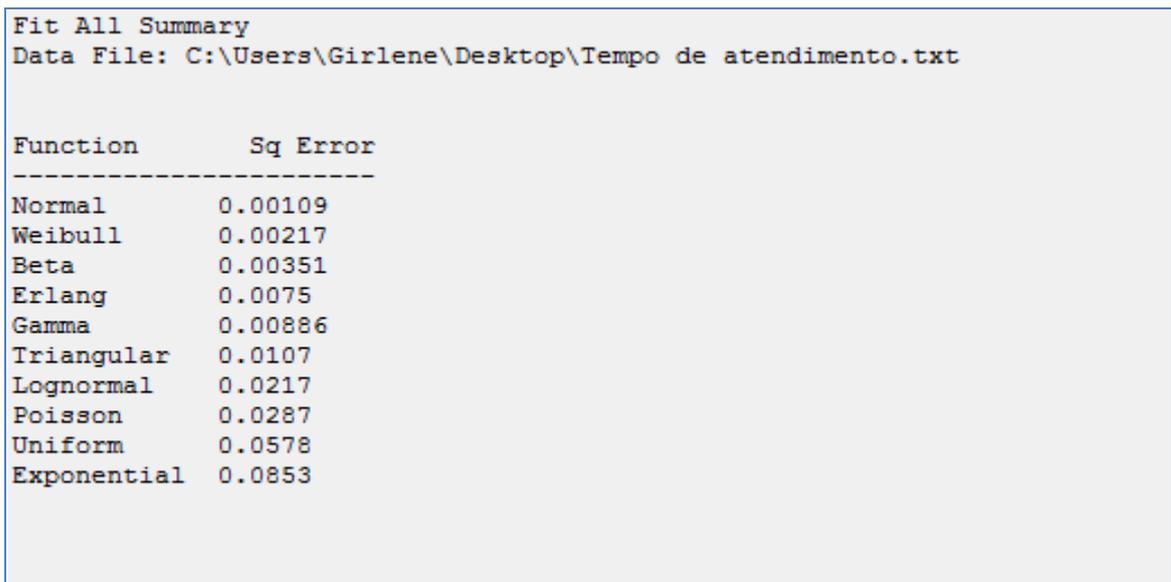


Figura 10 – Histograma do intervalo de chegada

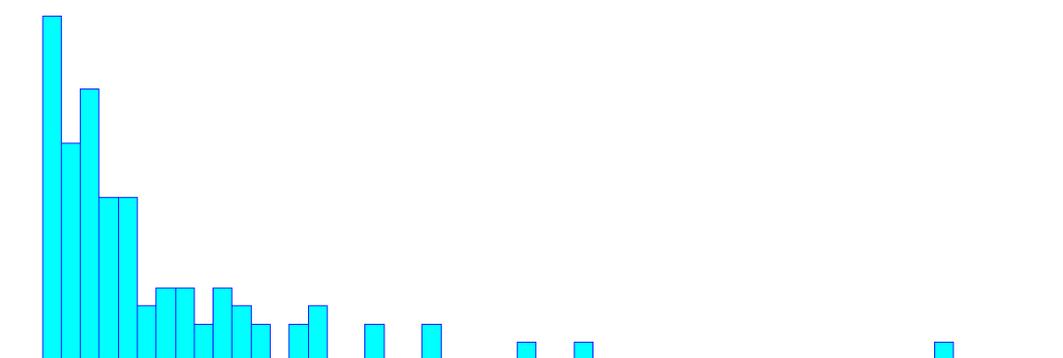


Figura 11 - Informações do histograma do intervalo de chegada

Data Summary	
Number of Data Points	= 98
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 47
Sample Mean	= 5.29
Sample Std Dev	= 7.1
Histogram Summary	
Histogram Range	= -0.5 to 47.5
Number of Intervals	= 48

Figura 12 – Histograma de distribuição do intervalo de chegada

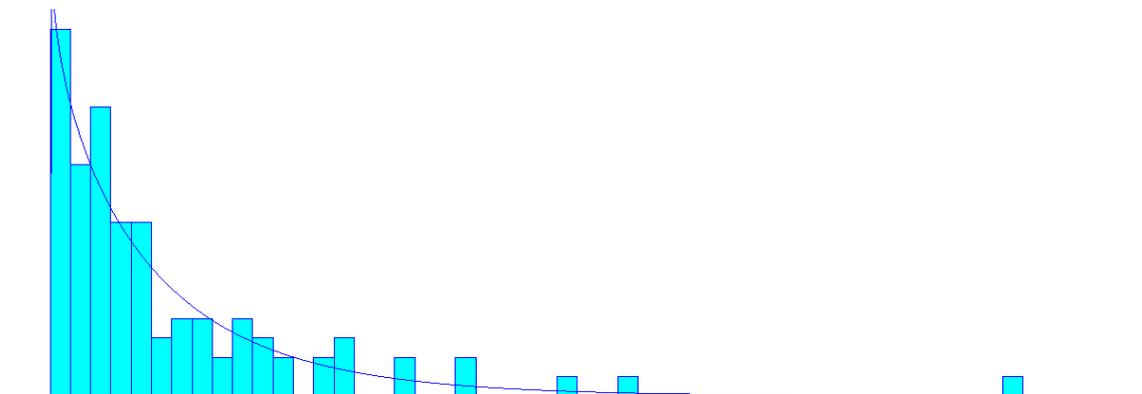


Figura 13 - Sumário da distribuição de intervalo de chegada.

Distribution Summary	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.5 + WEIB(5.56, 0.925)
Square Error:	0.005620
Chi Square Test	
Number of intervals	= 7
Degrees of freedom	= 4
Test Statistic	= 3.75
Corresponding p-value	= 0.452
Data Summary	
Number of Data Points	= 98
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 47
Sample Mean	= 5.29
Sample Std Dev	= 7.1
Histogram Summary	
Histogram Range	= -0.5 to 47.5
Number of Intervals	= 48

Figura 14 – Resultado da distribuição do intervalo de chegada

Fit All Summary
Data File: C:\Users\Girlene\Desktop\Intervalo de Chegada-caso Correios.txt

Function	Sq Error
Weibull	0.00562
Gamma	0.00625
Erlang	0.00691
Exponential	0.00691
Lognormal	0.00846
Beta	0.00897
Normal	0.0476
Triangular	0.0607
Uniform	0.0822
Poisson	0.103

Figura 15- Modelo computacional para o setor de pagamento

```
File Edit Format Run Options Windows Help
from SimPy.Simulation import*
from random import seed,weibullvariate,normalvariate

seed(1)

class SourceFila(Process):

    def geracao(self,numero):
        for i in range(numero):
            c = Cliente(name = "cliente%02d"%(i+1,))
            activate(c,c.executa(tempoAtendimento= normalvariate(5.84, 1.54)))
            IEC = -0.5 + weibullvariate(5.56, 0.935)
            if (IEC<0):
                IEC=0
            yield hold,self,IEC

class Cliente(Process):

    def __init__(self,name):
        Process.__init__(self,name=name)

    def executa(self,tempoAtendimento):
        if (tempoAtendimento<0):
            tempoAtendimento=0
        print "%f %s:chegando"%(now(),self.name)
        chegada=now()
        yield request,self, caixa
        atendimento=now()
        if (((atendimento)-(chegada)) > 0):
            tF.observe((atendimento)-(chegada))
        print "%f %s:sendo atendido"%(now(),self.name)
        yield hold,self,tempoAtendimento
        yield release,self, caixa
        saida=now()
        tA.observe((saida)-(atendimento))
        print now(), self.name, "saindo"

numeroMaximoCliente=150
tempoLimite=600.0
atendente=1

caixa = Resource(capacity=atendente,name='Consultorio',unitName='Consultorio',monitored=True,)
tF=Monitor()
tA=Monitor()
```

```
initialize( )
s=SourceFila()
activate(s,s.geracao(numeroMaximoCliente),at=0.0)
simulate(until=tempoLimite)
print 'Tempo atual é dado por:\n',now( )

if (len(tF) > 0):
    print 'Tempo Máximo em fila é dado por:'
    print max(tF.yseries())
    print 'Tempo Mínimo em fila é dado por:'
    print min(tF.yseries())
    totalF = 0.0
    for i in tF.yseries():
        totalF = totalF + i
    print 'Tempo Médio em fila é dado por:'
    print totalF/len(tF.yseries())
if (len(tA) > 0) :
    print 'Tempo Máximo de atendimento é dado por:'
    print max(tA.yseries())
    print 'Tempo Mínimo de atendimento é dado por:'
    print min(tA.yseries())
    totalA = 0.0
    for i in tA.yseries():
        totalA = totalA + i
    print 'Tempo Médio de atendimento é dado por:'
    print totalA/len(tA.yseries())
print 'Taxa de ocupação é dada por:'
print 100*(totalA/now()),"%
print 'número de clientes atendidos'
print len(tA.yseries())
```

Figura 16 - Replicações (Seed 10) 2, 3,4 atendentes, respectivamente)

```
Tempo atual é dado por:
577.231031088
Tempo Máximo em fila é dado por:
6.35011332402
Tempo Mínimo em fila é dado por:
0.0810916749465
Tempo Médio em fila é dado por:
2.44332191267
Tempo Máximo de atendimento é dado por:
29.1041380365
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:
0.0
Tempo Médio de atendimento é dado por:
8.8799366724
Taxa de ocupação é dada por:
230.755179317 %
número de clientes atendidos
150
>>> |
-----
Tempo atual é dado por:
577.231031088
Tempo Máximo em fila é dado por:
29.7717752823
Tempo Mínimo em fila é dado por:
0.032357869096
Tempo Médio em fila é dado por:
7.69105619171
Tempo Máximo de atendimento é dado por:
29.1041380365
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:
0.0
Tempo Médio de atendimento é dado por:
8.8799366724
Taxa de ocupação é dada por:
230.755179317 %
número de clientes atendidos
150
^^^
Tempo atual é dado por:
600.0
Tempo Máximo em fila é dado por:
111.725011915
Tempo Mínimo em fila é dado por:
0.0941073728588
Tempo Médio em fila é dado por:
41.6837879631
Tempo Máximo de atendimento é dado por:
29.1041380365
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:
0.0
Tempo Médio de atendimento é dado por:
8.89199257965
Taxa de ocupação é dada por:
189.695841699 %
número de clientes atendidos
128
>>>
```

Figura 17 - Replicações (Seed 1) 1,2, 3,4 atendentes, respectivamente)

```
-----  
Tempo atual é dado por:  
600.0  
Tempo Máximo em fila é dado por:  
114.474640489  
Tempo Mínimo em fila é dado por:  
0.327716247625  
Tempo Médio em fila é dado por:  
67.1353685462  
Tempo Máximo de atendimento é dado por:  
9.72585596668  
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:  
1.75487716565  
Tempo Médio de atendimento é dado por:  
5.80720422198  
Taxa de ocupação é dada por:  
97.7546044033 %  
número de clientes atendidos  
101  
>>> |
```

```
Tempo atual é dado por:  
600.0  
Tempo Máximo em fila é dado por:  
16.708775645  
Tempo Mínimo em fila é dado por:  
0.010974128647  
Tempo Médio em fila é dado por:  
6.03673412537  
Tempo Máximo de atendimento é dado por:  
9.72585596668  
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:  
1.75487716565  
Tempo Médio de atendimento é dado por:  
5.71351243757  
Taxa de ocupação é dada por:  
119.031509116 %  
número de clientes atendidos  
125  
>>>
```

```
Tempo atual é dado por:
600.0
Tempo Máximo em fila é dado por:
6.03466725998
Tempo Mínimo em fila é dado por:
0.237876286349
Tempo Médio em fila é dado por:
2.51990370161
Tempo Máximo de atendimento é dado por:
9.72585596668
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:
1.75487716565
Tempo Médio de atendimento é dado por:
5.71351243757
Taxa de ocupação é dada por:
119.031509116 %
número de clientes atendidos
125
Tempo atual é dado por:
600.0
Tempo Máximo em fila é dado por:
2.95393714326
Tempo Mínimo em fila é dado por:
0.0776703725526
Tempo Médio em fila é dado por:
1.18347227098
Tempo Máximo de atendimento é dado por:
9.72585596668
Tempo Mínimo de atendimento é dado por:
1.75487716565
Tempo Médio de atendimento é dado por:
5.71351243757
Taxa de ocupação é dada por:
119.031509116 %
número de clientes atendidos
125
>>>
```