

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

**Simulação Computacional: Aplicação para um problema
envolvendo a Teoria das Filas**

Guilherme Zwielewski Gomes

TCC-EP-29-2007

Maringá - Paraná
Brasil

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

**Simulação Computacional: Aplicação para um problema
envolvendo a Teoria das Filas**

Guilherme Zwielewski Gomes

TCC-EP-29-2007

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção, do Centro de
Tecnologia, da Universidade Estadual de Maringá.
Orientador(a): *Prof^ª. Dra. Márcia Marcondes
Altimari Samed*

**Maringá - Paraná
2007**

Guilherme Zwielewski Gomes

**Simulação Computacional: Aplicação para um problema
envolvendo a Teoria das Filas**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

Orientador(a): Prof^a. Márcia Marcondes Altimari Samed
Departamento de Informática, CTC

Prof^a. Maria de Lourdes Santiago Luz
Departamento de Informática, CTC

Maringá, outubro de 2007

EPÍGRAFE

“Tudo tem a sua ocasião própria, e há tempo para todo propósito debaixo do céu. Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou; tempo de matar, e tempo de curar; tempo de derrubar, e tempo de edificar; tempo de ficar triste, e tempo de rir; tempo de chorar, e tempo de dançar; tempo de espalhar pedras, e tempo de ajuntá-las; tempo de abraçar, e tempo de afastar; tempo de buscar, e tempo de perder; tempo de economizar, e tempo de desperdiçar; tempo de rasgar, e tempo de remendar; tempo de estar calado, e tempo de falar; tempo de amar, e tempo de odiar; tempo de guerra, e tempo de paz.” (Ec 3.1-8)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a professora Márcia Samed, pela paciência e compreensão das dificuldades que encontrei durante o desenvolvimento do trabalho e pelo apoio dado. Também gostaria de agradecer a minha família, pelo auxílio e também por me ter dado apoio nos momentos difíceis que passei durante o ano e pela oportunidade que me deram em estar cursando uma faculdade.

RESUMO

O seguinte trabalho trata de um problema que envolve a Teoria das Filas, nele é feito um estudo de caso com o restaurante universitário (RU) da Universidade Estadual de Maringá, constatando um grande problema que é a formação de grandes filas e o tempo médio de espera nessa fila ser muito alto. O sistema de funcionamento do restaurante foi modelado e implementado no software Arena para se realizar simulações. Com o auxílio desse software foi possível propor várias mudanças no funcionamento do restaurante e conseguir resultados próximos do que seria o real. Através desses resultados, foram feitas análises, identificando novos problemas e também a melhora nos tempos. Após algumas propostas de mudanças, foi possível chegar a um tempo satisfatório.

Palavras-chave: [Teoria das Filas.Arena.Modelagem.Simulação]

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVO ESOECÍFICO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	12
2.2 MODELAGEM	16
2.2.1 Classificação de Modelos de Simulação	17
2.2.1.1 Modelos voltados à previsão	17
2.2.1.2 Modelos voltados à investigação	17
2.2.1.3 Modelos voltados à comparação	17
2.2.1.4 Modelos específicos	17
2.2.1.5 Modelos genéricos	19
2.3 SISTEMAS	19
2.4 MODELAGEM E SUMULAÇÃO	20
2.5 ARENA	25
2.6 TEORIA DAS FILAS	26
2.6.1 Características de Uma Fila	28
2.6.1.1 Clientes e Tamanho da População	28
2.6.1.2 Processo de Chegada	28
2.6.1.3 Processo de Atendimento	29
2.6.1.4 Número de Servidores	30
2.6.1.5 Disciplina da Fila	30
2.6.1.6 Tamanho Médio da Fila	31
2.6.1.7 Tamanho Máximo da Fila	31
2.6.1.8 Tempo Médio de Espera na Fila	32
3 ESTUDO DE CASO	33
3.1 FORMULAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA	33
3.2 FORMULAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	35
3.3 COLETA DE MACRO-INFORMAÇÕES	36
3.4 EXPERIMENTAÇÃO	38
3.5 INTERPRETAÇÃO	41

4 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.....	20
Figura 2: Elementos de uma fila.....	30
Figura 3: Layout do Restaurante Universitário.....	34
Figura 4: Fluxograma o Restaurante Universitário.....	36
Figura 5: Novo Fluxo para pegar suco.....	38
Figura 6: Novo Fluxo para pegar alimentos.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Horários de atendimento.....	33
Tabela 2 Turnos de trabalho.....	33
Tabela 3 Definição do projeto.....	36
Tabela 4 Etapas do processo.....	37
Tabela 5 Tempo dos processos.....	37
Tabela 6 Tempo dos processos.....	39
Tabela 7 Tempo dos processos.....	39
Tabela 8 Tempo dos processos.....	40
Tabela 9 Tempo dos processos.....	41
Tabela 10 Resultados.....	42

1 INTRODUÇÃO

No tempo atual, organizações investem alto na mudança de suas estruturas internas, realocando equipamentos e alterando processos, mas nem sempre os resultados desejados são alcançados. O mundo esta cada dia mais informatizado e cheio de novas tecnologias e uma das soluções para chegar aos resultados sem muito alterar na empresa, é a simulação computacional, sendo possível alterar todo o *layout* de uma fábrica, identificar falhas, adicionar funcionários, entre outros benefícios. A simulação representa o sistema virtualmente, tornando-se possível chegar a resultados satisfatórios e reais.

Alguns dos problemas que mais se aplicam a simulação são os problemas de *layout* ou utilização de recursos dentro da indústria. Seja na realocação de recursos ou adição de funcionários ou equipamentos com o objetivo de se chegar a resultados estipulados.

Um dos grandes problemas é a formação de filas em alguns postos dentro do processo da empresa. Com a simulação é possível identificar esses gargalos, propor mudanças, analisar os resultados e adquirir a mudança que se considerar mais viável.

A simulação não garante o melhor resultado, pois ela é feita através de propostas de mudanças, mas é considerada uma ótima forma de se conseguir resultados satisfatórios ou muito próximos do ótimo.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar um processo que englobe problemas de alocação de recursos, desenvolver um modelo desse processo para se aplicar simulação e modelar de acordo com as necessidades da empresa.

1.2 Objetivo Específico

Será estudado o problema na formação de filas no Restaurante Universitário (RU), da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e através da utilização do *software* Arena, propor mudanças e se chegar a resultados satisfatórios.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Simulação Computacional

Segundo Freitas Filho (2001), entre as técnicas disponíveis para modelagem de sistemas, existe a teoria das filas. Essa abordagem matemática de filas se iniciou no princípio deste século (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Foi somente a partir da Segunda Guerra Mundial que a teoria foi aplicada a outros problemas de filas. Apesar do enorme progresso alcançado pela teoria, inúmeros problemas não são adequadamente resolvidos em decorrência de complexidades matemáticas.

Com o surgimento do computador na década de 50 a modelagem de filas pôde ser analisada pelo ângulo da simulação, em que não mais se usam fórmulas matemáticas, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real. As linguagens de simulação apareceram na década de 60 e hoje, graças aos microcomputadores, podem ser facilmente usadas. A técnica de simulação visual, cujo uso se iniciou na década de 80, em virtude de sua maior capacidade de comunicação teve uma aceitação surpreendente. Além disso, por ter um menor nível de complexidade, seu uso também cresceu enormemente. O ensino desta técnica ainda se concentra em escolas de graduação, mas já tem havido iniciativas em ensino de segundo grau (cursos técnicos). Algumas linguagens são mundialmente conhecidas, como GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, TAYLOR, etc.

De acordo com Freitas Filho (2001), “a simulação computacional consiste na utilização de técnicas matemáticas, aplicadas em computadores, as quais imitam o funcionamento de boa parte das operações ou processos do mundo real”.

Segundo Prado (2004), “simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Simulação é definida de várias formas. De acordo com Schriber (1974), “simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do

sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”. Schriber foi um dos desenvolvedores do GPSS, a primeira linguagem comercial de computadores voltada à simulação de sistemas. Shannon (1975) definiu assim este tipo de modelo: “Um modelo computacional é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que representa”.

Considerando a definição acima, Pegden e Sadowski (1990) apresentam uma definição mais completa, abrangendo todo o processo de simulação. Ele cita “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. Como se pode observar, o autor vê a simulação como um processo mais amplo, compreendendo, não somente a construção do modelo, mas, também, todo o método experimental que se segue, buscando descrever o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas e usar o modelo para prever o comportamento futuro, ou seja, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

De acordo com Freitas Filho (2001), a simulação computacional vem ganhando um grande espaço nas empresas. Esse crescimento deve-se à atual facilidade de uso e sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais, somadas ao crescente poder de processamento das estações de trabalho. Através de interfaces gráficas cada vez mais amigáveis, desenvolvidas às mais diversas plataformas e fazendo intenso uso da animação dos sistemas que estão sendo simulados, a simulação deixou para trás a marca de ser recorrida apenas “*quando tudo mais já foi tentado*”.

Segundo Freitas Filho(2001), a simulação foi criada para realizar estudos e chegar a respostas sem alterar o sistema real, sendo esse o seu principal objetivo. Ela permite que sistemas que ainda não existem sejam realizados e estudados, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada.

Os conceitos básicos para simulação, são facilmente compreensíveis, devido a diversos fatores, como a possibilidade de se utilizar animações, permitindo a visualização do comportamento do sistema durante as simulações e a semelhança entre o modelo simulado com o do sistema real.

Ao se fazer um estudo simulado pode-se economizar recursos financeiros e tempo no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade. Os custos dessas análises, passam a ser desprezíveis, ao se comparar com seus benefícios.

Outra vantagem da simulação é que ela admite considerar níveis de detalhes que não haviam sido imaginados, com isso, ela permite que diferenças sutis venham a ser notadas.

Segundo Freitas Filho (2001), o modelo simulado permite análises quase que a todo instante, à medida que novas indagações sobre o comportamento do sistema modelado sejam aludidas.

Os modelos de simulação servem mais para análises do comportamento do sistema sob determinadas condições. Seguem as razões mais comuns, de acordo com Freitas Filho (2001), para se utilizar modelos simulados:

- a) Quando fazer experimentos com o sistema real é inviável ou o custo é muito alto, como a aquisição de um novo equipamento;
- b) Quando não é apropriado fazer experimento com o sistema real, como em emergências de bombeiros ou serviços policiais;
- c) Ou quando não existe o sistema real, em que o futuro deverá ser planejado.

A simulação é uma forte ferramenta de análise e existem inúmeras vantagens de se utilizá-la, portanto, uma lista dessas vantagens expõe-se a seguir, de acordo com Pegden e Sadowski (1990) e Banks e Carson (1984):

- a) Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- b) A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam, ainda, na forma de "esquemas" ou rascunhos;

- c) A simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analíticos;
- d) Enquanto que modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-las matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições. Além disso, nos modelos analíticos, as análises recaem apenas sobre um número limitado de medidas de desempenho. De maneira contrária, as informações geradas pelos modelos de simulação, permitem a análise de, praticamente, qualquer medida concebível;
- e) Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, etc., podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- f) Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;
- g) O tempo pode ser controlado. Pode ser comprimido ou expandido. Permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;
- h) Pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação à performance e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- i) A identificação de "gargalos", preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;
- j) Um estudo de simulação costuma mostrar como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera;
- l) Novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência podem ser tratadas, de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma preparação diante de

futuros eventos. A simulação é uma ferramenta especial para explorar questões do tipo: *o que aconteceria se?*

2.2 Modelagem

Para se realizar uma simulação, deve-se passar pela etapa de modelagem do sistema, para que seu comportamento possa ser estudado e entendido, sob diversas condições.

O modelo é utilizado como um veículo para a experimentação, como em procedimentos de tentativa e erro, tentando mostrar as várias opções, e as que apresentarem os melhores resultados, podem ser aplicadas.

A modelagem é utilizada em diversos momentos sem que se perceba. Uma foto ou um gráfico são exemplos de modelos que são utilizados constantemente. Segundo Goldbarg (2000), “um modelo pode ser visto, com os devido cuidados, como uma representação substitutiva da realidade”. Para se implementar um modelo, ele deve ser livre de pequenos detalhes.

O processo experimental pode ser bastante sofisticado, envolvendo técnicas da estatística experimental, principalmente quando os diferentes efeitos sobre o comportamento do modelo são resultantes da combinação dos diferentes fatores.

Um sistema, para ser modelado, dependerá do propósito e da complexidade desse sistema. Existem vários tipos de modelos que podem ser utilizados, como modelos matemáticos, modelos descritivos, modelos estatísticos e modelos tipo entrada-saída. A escolha de qual modelo se utilizar depende de diversos fatores.

Segundo Freitas Filho (2001), “os sistemas do mundo real costumam ser mais complexos do que o desejado e, acima de tudo, não apresentam um comportamento previsível”. Simplificações sobre estes sistemas objetivando estudos analíticos podem levar a soluções pobres e, até mesmo, pouco confiáveis. Portanto, a decisão de se utilizar um modelo voltado à simulação pode ser a mais correta.

2.2.1 Classificação de modelos de simulação

Freitas Filho (2001) classifica os modelos de simulação em cinco tipos de propósitos:

2.2.1.1 Modelos voltados à previsão

A simulação pode ser usada para prever o estado de um sistema em algum ponto no futuro, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual e de como continuará se comportando ao longo do tempo.

2.2.1.2 Modelos voltados à investigação

Alguns tipos de estudos baseados em simulação estão voltados à busca de informações e ao desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento de sistemas. Como visto anteriormente, nem sempre é verdade que os objetivos dos estudos estejam claros e bem definidos ao início dos estudos. Neste caso, as variáveis de resposta servem, muito mais, para construir e organizar as informações sobre a natureza do fenômeno ou sistema sob estudo. Os experimentos recaem sobre as reações do sistema (modelo) a estímulos normais e anormais.

2.2.1.3 Modelos voltados à comparação

Uma comparação de diferentes rodadas de simulação pode ser usada para avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle. Os efeitos podem ser medidos sobre as variáveis de resposta e relacionados aos objetivos traçados, se estes forem bem específicos.

Dentro da classificação dos modelos com vistas ao propósito de sua aplicação, esses podem ser subdivididos em modelos únicos e específicos (de curta utilização) ou modelos genéricos (de longa utilização).

2.2.1.4 Modelos específicos

Uma vez que mais e mais facilidades voltadas à modelagem vêm sendo incorporadas aos ambientes e linguagens de simulação, é comum que analistas e responsáveis pela tomada de

decisão nos diversos níveis gerenciais venham fazendo uso de modelos, mesmo considerando situações específicas e únicas ou o baixo volume de recursos financeiros envolvidos nas decisões.

Até o início dos anos 90, o desenvolvimento e o uso de modelos, visando à obtenção de informações quantitativas auxiliares à tomada de decisão, eram exclusivos de processos que envolvessem pelo menos algumas centenas de milhares de dólares. No entanto, em algumas áreas, tais como serviços e manufatura, o crescimento de seu emprego é notável, como pode ser atestado pelo grande número de trabalhos técnicos nas diversas subseções presentes nos grandes congressos e simpósios de simulação. Segundo Freitas Filho (2001), segue algumas das decisões nas quais modelos de simulação específicos podem ser úteis:

- a) Quando e qual tipo de equipamento novo deve ser comprado;
- b) Quando e como reorganizar os recursos voltados ao atendimento de clientes. Filas de atendimento em bancos, hospitais, supermercados, etc.;
- c) Decidir sobre a alocação de determinado tipo de equipamento servindo uma ou outra linha de produção;
- d) Decidir sobre qual o poder de processamento necessário a um servidor de rede de comunicação de acordo com diferentes tipos de cargas ao sistema.

Em geral, o tomador de decisão atribui grande interesse aos modelos e seus resultados. A possibilidade de utilizá-los é quase sempre bem vinda e depende, quase que exclusivamente, de que tal atitude seja factível, isto é, desejam um envolvimento com quem os está desenvolvendo (se diferentes pessoas decidem e constroem modelos na organização) e, sobretudo, desejam modelos que apresentem credibilidade. Os dados envolvidos com modelos específicos devem ser confiáveis. Na maioria das vezes, serão coletados para serem utilizados uma única vez.

2.2.1.5 Modelos genéricos

Em algumas organizações, existe a necessidade de se desenvolver modelos os quais são usados periodicamente por longos períodos. Eis alguns exemplos:

- a) Decisões sobre aplicações orçamentárias, baseadas em desempenho e projeções simuladas do futuro;
- b) Gerenciamento do tráfego sobre uma área em particular. Com o aumento da densidade populacional na área, existe a necessidade de novos estudos sobre a implantação de novos semáforos, planejamento de trabalhos sobre a rodovia, planejamento de tráfego, etc.

Modelos com características genéricas necessitam ser flexíveis e robustos a mudanças nos dados de entrada, mudanças em certas atividades e processos por eles contemplados. Mudanças nas políticas internas e externas das empresas que os utilizam também devem ser consideradas. Existe aqui, obviamente, uma clara necessidade por dados recentes e confiáveis. Em geral, este tipo de modelo é parte de um conjunto de outros sistemas voltados à aquisição de dados e às atividades de provisão de informações conhecidos como Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).

2.3 Sistemas

A Simulação é um dos métodos que existem para analisar e estudar os sistemas, que segundo (Taylor e Schmidt, 1970), “são um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico”.

Existem vários tipos de sistemas, como sistemas computacionais, de produção, de transporte e estocagem, de prestação de serviços, administrativos, entre outros, e desses sistemas, temos vários derivados.

Muitos são os sistemas ou processos aptos ao emprego da técnica de simulação como forma de análise. Os objetivos de um particular estudo, em geral, definem quais objetos devem constituir o sistema.

2.4 Modelagem e Simulação

De acordo com Freitas Filho (2001), a lista que se apresenta na Figura 1 é clássica, isto é, quase todos os livros e trabalhos gerais sobre como proceder para solucionar um problema usando o processo de modelagem e simulação do sistema costuma apresentar o tema da forma que se segue.

As principais fontes sobre o assunto são os textos clássicos de Banks e Carson (1984), Law e Kelton (1991) e Pegden e Sadowski (1990).

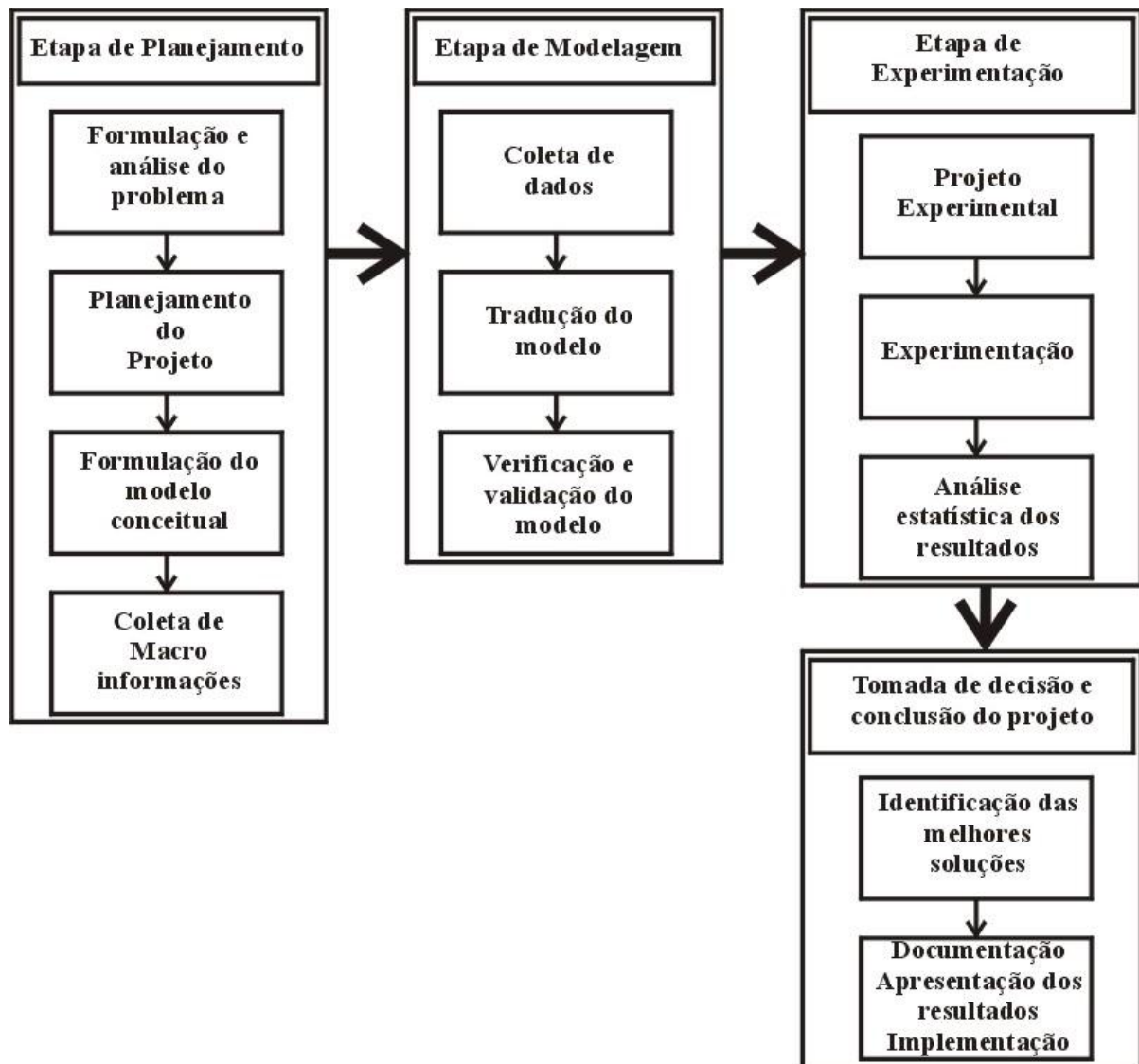


Figura 1: Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.

Cada um dos pontos mostrados na Figura 1 são descritos a seguir.

a) **Formulação e análise do problema:** Todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema. Os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos. Devem ser respondidas questões do tipo:

- i) Por que o problema está sendo estudado?
- ii) Quais serão as respostas que o estudo espera alcançar?
- iii) Quais são os critérios para avaliação da performance do sistema?
- iv) Quais são as hipóteses e prerrogativas?
- v) Quais restrições e limites são esperados das soluções obtidas?

b) **Planejamento do projeto:** Com o planejamento do projeto pretende-se ter a certeza de que se possuem recursos suficientes no que diz respeito a pessoal, suporte, gerência, *hardware* e *software* para realização do trabalho proposto. Além disso, o planejamento deve incluir uma descrição dos vários cenários que serão investigados e um cronograma temporal das atividades que serão desenvolvidas, indicando os custos e necessidades relativas aos recursos anteriormente citados;

c) **Formulação do modelo conceitual:** Traçar um esboço do sistema, de forma gráfica (fluxograma, por exemplo) ou algorítmica (pseudocódigo), definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. É recomendado que o modelo inicie de forma simplificada e vá crescendo até alcançar algo mais complexo, contemplando todas as suas peculiaridades e características. O usuário deve participar intensamente desta etapa. Algumas das questões que devem ser respondidas:

- i) Qual a estratégia de modelagem? Discreta? Contínua? Uma combinação?
- ii) Qual quantidade de detalhes deve ser incorporada ao modelo?
- iii) Como o modelo reportará os resultados? Relatórios pós-simulação? Animações durante a execução?
- iv) Que nível de personalização de cenários e ícones de entidades e recursos deve ser implementado?
- v) Que nível de agregação dos processos (ou de alguns) deve ser implementado?
- vi) Como os dados serão colocados no modelo? Manualmente? Leitura de arquivos?

d) Coleta de macro-informações e dados: Macro-informações são fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. Em geral, macro-informações servem para conduzir os futuros esforços de coleta de dados voltados à alimentação de parâmetros do sistema modelado.

Algumas questões que se apresentam são:

- i) Quais são as relações e regras que conduzem a dinâmica do sistema? O uso de diagramas de fluxos é comum para facilitar a compreensão destas inter-relações?
- ii) Quais são as fontes dos dados necessários à alimentação do modelo?
- iii) Os dados já se encontram na forma desejada? O mais comum é os dados disponíveis encontrarem-se de maneira agregada (na forma de médias, por exemplo), o que não é interessante para a simulação.
- iv) e Quanto aos dados relativos a custos e finanças?

Incorporar elementos de custos em um projeto torna sua utilização muito mais efetiva. Custos de espera, custos de utilização, custos de transporte, etc., quando empregados, tornam os modelos mais envolventes e com maior credibilidade e valor.

e) Tradução do modelo: Codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada. Embora, hoje, os esforços de condução desta etapa tenham sido minimizados em função dos avanços em *hardware* e, principalmente, nos *softwares* de simulação, algumas questões básicas devem ser propriamente formuladas e respondidas:

- i) Quem fará a tradução do modelo conceitual para a linguagem de simulação? É fundamental a participação do usuário se este não for o responsável direto pelo código.
- ii) Como será realizada a comunicação entre os responsáveis pela programação e a gerência do projeto?
- iii) E a documentação? Os nomes de variáveis e atributos estão claramente documentados? Outros, que não o programador responsável, podem entender o programa?

f) Verificação e validação: Confirmar que o modelo opera de acordo com a intenção do analista (sem erros de sintaxe e lógica) e que os resultados por ele fornecidos possuam

crédito e sejam representativos dos resultados do modelo real. Nesta etapa, as principais questões são:

- i) O modelo gera informações que satisfazem aos objetivos do estudo?
- ii) As informações geradas são confiáveis?
- iii) A aplicação de testes de consistência e outros confirmam que o modelo está isento de erros de programação?

g) Projeto experimental final: Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deva ser realizado. O principal objetivo é obter mais informações com menos experimentações. As principais questões são:

- i) Quais os principais fatores associados aos experimentos?
- ii) Em que níveis devem ser os fatores variados, de forma que se possa melhor avaliar os critérios de desempenho?
- iii) Qual o projeto experimental mais adequado ao quadro de respostas desejadas?

h) Experimentação: Executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade;

i) Interpretação e análise estatística dos resultados: Traçar inferências sobre os resultados alcançados pela simulação. Estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados são efetuadas. As análises poderão resultar na necessidade de um maior número de execuções (replicações) do modelo para que se possa alcançar a precisão estatística sobre os resultados desejados. Algumas questões que devem ser apropriadamente respondidas:

- i) O sistema modelado é do tipo terminal ou não terminal?
- ii) Quantas replicações são necessárias?
- iii) Qual deve ser o período simulado para que se possa alcançar o estado de regime?
- iv) e o período de *warm-up*?

j) Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: Muitas vezes, o emprego da técnica de simulação visa à identificação de diferenças existentes entre diversas alternativas de sistemas. Em algumas situações, o objetivo é comparar um

sistema existente ou considerado como padrão, com propostas alternativas. Em outras, a idéia é a comparação de todas as propostas entre si com o propósito de identificar a melhor ou mais adequada delas. As questões próprias deste tipo de problema são:

- i) Como realizar este tipo de análise?
- ii) Como proceder para comparar alternativas com um padrão?
- iii) Como proceder para comparar todas as alternativas entre si?
- iv) Como identificar a melhor alternativa de um conjunto?
- v) Como garantir estatisticamente os resultados?

l) Documentação: A documentação do modelo é sempre necessária. Primeiro para servir como um guia para que alguém, familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo e dos resultados já produzidos. Segundo, porque se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda a documentação existente vem a facilitar e muito os novos trabalhos.

A implementação bem sucedida de um modelo depende, fundamentalmente, de que o analista, com a maior participação possível do usuário, tenha seguido os passos que, sumariamente, aqui foram relatados. Os resultados das análises devem ser reportados de forma clara e consistente, também como parte integrante da documentação do sistema. Como linhas gerais, pode-se dizer que os seguintes elementos devem constar em uma documentação final de um projeto de simulação:

- i) descrição dos objetivos e hipóteses levantadas;
- ii) conjunto de parâmetros de entrada utilizados (incluindo a descrição das técnicas adotadas para adequação de curvas de variáveis aleatórias);
- iii) descrição das técnicas e métodos empregados na verificação e na validação do modelo;
- iv) descrição do projeto de experimentos e do modelo fatorial de experimentação adotado;
- v) resultados obtidos e descrição dos métodos de análise adotados;
- vi) conclusões e recomendações. Nesta última etapa, é fundamental tentar descrever os ganhos obtidos na forma monetária.

m) Apresentação dos resultados e implementação: A apresentação dos resultados do estudo de simulação deve ser realizada por toda a equipe participante. Os resultados do

projeto devem refletir os esforços coletivos e individuais realizados, considerando os seus diversos aspectos, isto é, levantamento do problema, coleta de dados, construção do modelo, etc. Durante todo o desenvolvimento e implementação do projeto, o processo de comunicação, entre a equipe e os usuários finais, deve ser total e, portanto, durante a apresentação final não devem ocorrer surpresas de última hora. Os itens abaixo devem estar presentes como forma de encaminhamento das questões técnicas, operacionais e financeiras no que diz respeito aos objetivos da organização:

- i) restabelecimento e confirmação dos objetivos do projeto;
- ii) quais problemas foram resolvidos;
- iii) rápida revisão da metodologia;
- iv) benefícios alcançados com a(s) solução (ões) proposta(s);
- v) considerações sobre o alcance e precisão dos resultados;
- vi) alternativas rejeitadas e seus motivos;
- vii) animações das alternativas propostas quando cabíveis;
- viii) estabelecimento de conexões entre o processo e os resultados alcançados com o modelo simulado e outros processos de reengenharia ou de reformulação existentes no negócio;
- ix) assegurar que os responsáveis pelo estabelecimento de mudanças organizacionais ou processuais tenham compreendido a abordagem utilizada e seus benefícios;
- x) tentar demonstrar que a simulação é uma espécie de ponte entre a idéia e sua implementação.

2.5 Arena

Segundo Prado (2004), o ARENA foi lançado pela empresa americana *Systems Modeling* em 1993 e é o sucessor de dois outros produtos de sucesso da mesma empresa: SIMAN (primeiro software de simulação para PC) e CINEMA, os quais foram desenvolvidos em 1982 e 1984, respectivamente. O SIMAN é uma evolução da arquitetura do GPSS, lançado pela IBM em 1961 e que, durante anos, foi o líder entre os produtos de simulação-de-uso-geral no mercado mundial. Em 1984 o SIMAN recebeu um complemento chamado CINEMA (primeiro software de animação para PC), que adicionava habilidades de animação gráfica. Este conjunto foi continuamente melhorado e, a partir de 1993, os dois programas foram

unificados e aperfeiçoados em um único *software*, o ARENA. A partir de 1998 a empresa *Rockwell Software* incorporou a *Systems Modeling*.

O ARENA possui um conjunto de blocos (ou módulos) que são utilizados para se descrever uma aplicação real. Estes blocos funcionam como comandos de uma linguagem de programação como o Fortran, Cobol, VB, Delphi, etc. Obviamente foram projetados sob a ótica da simulação e, por isso, facilitam muito esta tarefa de programação.

De acordo com Prado (2004), para simplificar o processo de construção de modelos, o ARENA usa uma Interface Gráfica para o Usuário (ou GUI - *Graphical User Interface*), que em muito, automatiza o processo e reduz a necessidade do teclado, pois o mouse é a ferramenta utilizada. Além de permitir a construção de modelos de simulação, o ARENA possui ainda ferramentas muito úteis, como o analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*) e o analisador de resultados (*Output Analyzer*).

O *Input Analyzer* permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Esta distribuição pode ser incorporada diretamente ao modelo.

O *Output Analyzer* é uma ferramenta com diversos recursos que permite analisar dados coletados durante a simulação, sendo que esta análise pode ser gráfica, e tem ainda recursos para efetuar importantes comparações estatísticas.

2.6 Teoria das Filas

Segundo Prado (2004), “A Teoria das filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas”.

Qualquer pessoa sabe exatamente o que são filas em decorrência das experiências que o dia-a-dia nos coloca. Entra-se em uma fila para descontar um cheque em um banco, para pagar pelas compras em um supermercado, para comprar ingresso em um cinema, para pagar o pedágio em uma estrada e tantas outras situações. Filas existem também em ambientes de produção, tais como de lingotes aquecidos em uma aciaria, esperando pelo serviço de

lingotamento, ou caminhões em uma mineração, esperando, junto a uma carregadeira, a vez de serem carregados com minério.

Segundo Prado (1999), algumas vezes as filas são algo abstrato, tais como uma lista no computador referentes a pedidos de manufatura em uma fábrica de geladeiras, ou uma pilha de papéis referentes a solicitações de reparos de máquinas estragadas dentro de uma fábrica, que devem aguardar a disponibilidade do reparador. Outras vezes a fila não é vista "enfileirada" mas, sim, dispersa, como, por exemplo, pessoas em uma barbearia, esperando pela vez de cortar o cabelo, aviões sobrevoando um aeroporto, esperando pela vez para aterrissar, ou navios parados no mar, esperando pela vez de atracar no porto para descarregar.

De acordo com Prado (1999), uma área de muita importância surgiu nas últimas décadas: filas em computadores. Temos filas de programas esperando por espaço na memória, ou para serem atendidos pela CPU (Unidade Central de Processamento), ou para buscar um registro de dados em um disco magnético ou para terem acesso a um servidor através da rede.

Nela tem-se que, de uma certa população, surgem clientes que formam uma fila e que aguardam por algum tipo de serviço. O termo cliente é usado de uma forma genérica e pode designar tanto uma pessoa, um navio ou um lingote. Como sinônimo de cliente usa-se também o termo "transação" ou "entidade". O atendimento é constituído de um ou mais servidores (que podem ser chamados de atendentes ou canais de serviço) e tanto pode designar um barbeiro, um cais de atracação ou uma máquina de lingotamento.

A teoria das filas provê modelos para demonstrar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo de forma a satisfazer os clientes e ser viável economicamente para o provedor do serviço, evitando desperdícios e gargalos.

Com ela é possível fazer a modelagem de um sistema, seja ele de produção, logística, fluxo de papéis em um escritório, de clientes em um banco, etc..

Uma fila ocorre sempre que a procura por um determinado serviço é maior que a capacidade do sistema de prover este serviço.

Um sistema de filas pode ser definido como clientes chegando, esperando pelo serviço (se não forem atendidos imediatamente) e saindo do sistema após terem sido atendidos.

Prado (1999), define uma fila com as seguintes características. Clientes e tamanho da população, processo de chegada, processo de atendimento, número de servidores, disciplina da fila, tamanho médio da fila, tamanho máximo da fila e tempo médio de espera na fila.

2.6.1 - Características de Uma Fila

2.6.1.1 - Clientes e Tamanho da População

Um cliente é proveniente de uma população. Quando a população é muito grande (diz-se infinita para efeitos práticos), a chegada de um novo cliente a uma fila não afeta a taxa de chegada de clientes subsequentes e conclui-se dizendo que as chegadas são independentes. Como exemplo, cita-se o funcionamento de um metrô. Quando a população é pequena o efeito existe e pode ser considerável.

Como exemplo extremo, pode-se citar uma mineração, na qual uma carregadeira carrega minério em caminhões que chegam. Se existem 3 caminhões e, se ocorrer que todos eles estejam na fila da carregadeira, então não chegará mais nenhum outro caminhão à carregadeira.

2.6.1.2 - Processo de Chegada

Considere como exemplo um posto de pedágio com 5 atendentes. Pode-se constatar, por exemplo, que o processo de chegada entre 7 e 8 horas da manhã pode ser definido por 20 automóveis por minuto ou 1 automóvel a cada 3 segundos. Trata-se de um valor médio, pois não significa que em todo intervalo de 1 minuto chegarão 20 automóveis. Em alguns intervalos de 1 minuto pode-se constatar a chegada de 10, 15, 25 ou até mesmo 30 automóveis. Igualmente, o intervalo de 3 segundos entre chegadas não é rígido e pode-se constatar valores, por exemplo, desde zero segundo (2 veículos chegando juntos) até 20 segundos.

O número fornecido, 3 segundos, representa, assim, o intervalo médio entre chegadas no período de 7 as 8 horas da manhã.

Resumindo as afirmações acima, pode-se quantificar o processo de chegada dizendo que a taxa média de chegada é de 20 veículos por minuto ou que o intervalo médio entre chegadas é de 3 segundos.

Poderia-se encontrar um outro sistema de filas que possui exatamente os mesmos valores médios acima citados mas com diferentes variações no entorno da média (por exemplo, uma situação em que se observa que os intervalos entre chegadas estão entre 0 e 10 segundos). Este sistema, conforme observa-se, terá um comportamento diferente do primeiro e conclui-se dizendo que não basta apenas fornecer os valores médios, é necessário também mostrar como os valores se distribuem em torno da média. Assim, para caracterizar corretamente um processo de chegada deve-se lançar mão de uma distribuição de frequência, tal como a distribuição normal, a de Poisson, a exponencial, etc.

Um tipo raro de processo de chegada é o regular, ou seja, aquele em que não existe nenhuma variação entre os valores para os intervalos entre chegadas.

Nesta situação, o intervalo entre chegadas é de 10 segundos, tem-se que rigorosamente a cada 10 segundos chega um novo cliente. Esta situação ocorre apenas em processos altamente automatizados.

Existem situações em que o ritmo de chegada sofre variações durante o dia. Por exemplo, em um banco a chegada de clientes é mais intensa no período do almoço.

2.6.1.3 - Processo de Atendimento

Continuando no exemplo do pedágio e observando um atendente em serviço, pode-se constatar, por exemplo, que ele atende 6 veículos por minuto ou que gasta 10 segundos para atender um veículo. Estes valores são médios e, para descrevê-los corretamente, deve-se também lançar mão da distribuição de probabilidades. Aqui também é rara a existência prática de atendimento regular, ou seja, existe um único valor (sem variação) para a duração do atendimento.

2.6.1.4 - Número de Servidores

O mais simples sistema de filas é aquele de um único servidor que pode atender um único cliente de cada vez. Conforme aumenta o ritmo de chegada, pode-se manter a qualidade do serviço aumentando convenientemente o número de servidores. Esta é, portanto, uma das características de uma fila que podemos utilizar para modelar um sistema de filas. Na Figura 2 tem-se 3 servidores.

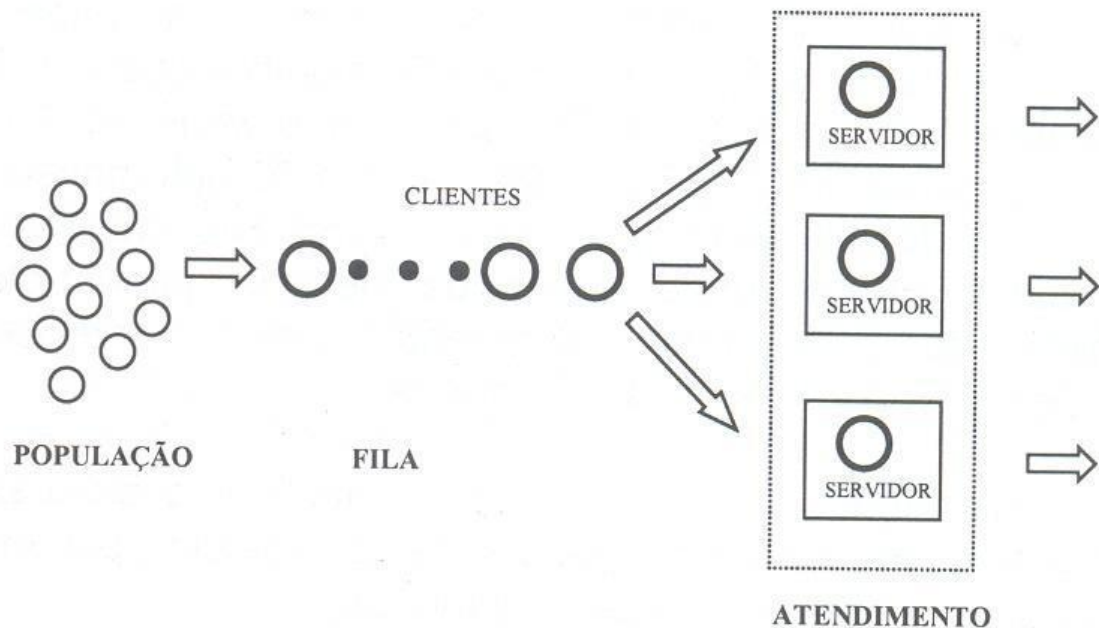


Figura 2 – Elementos de uma fila
Fonte: Prado (1999)

2.6.1.5 - Disciplina da Fila

Trata-se da regra que define qual o próximo a ser atendido ou a forma como os clientes saem da fila de espera para serem atendidos. Algumas disciplinas são:

- FCFS (*First Come, First Served*: Primeiro a Chegar, Primeiro a ser Atendido): também conhecida como FIFO (*First In, First Out*: Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair). Disciplina mais comum, inclusive na vida diária
- LCFS (*Last Come, First Served*: Último a chegar, Primeiro a ser Atendido): também conhecida como LIFO (*Last In, First Out*: Primeiro a Chegar, Primeiro a Sair).

Aplicável em sistemas em que o item mais recente é mais fácil de ser recuperado, como por exemplo em sistemas de controle de estoque.

- Fila com prioridade: a cada cliente é atribuída uma prioridade; clientes com maior prioridade têm preferência no atendimento. Pode ser de dois tipos:
 - Preemptivo: o cliente com maior prioridade é atendido imediatamente, interrompendo o atendimento ao cliente com menor prioridade. Ao terminar, o cliente de menor prioridade volta a ser atendido, podendo continuar o processo de onde parou ou então reiniciá-lo
 - Não-preemptivo: o cliente com maior prioridade é colocado no início da fila, recebendo o serviço somente quando o cliente em atendimento sai do sistema, mesmo se este for de prioridade mais baixa
- *Round-robin*: cada cliente recebe uma fatia de tempo do servidor (*quantum*), dentro da qual é atendido. Após o término do *quantum*, se a atividade não foi completada, o cliente é retirado e outro passa a ser atendido. Posteriormente, o cliente que foi interrompido retorna ao servidor e continua a sua atividade. É muito comum em escalonamento de processos da CPU.

2.6.1.6 - Tamanho Médio da Fila

Esta é, certamente, a característica da fila que é mais considerada ao nos depararmos com a opção de escolher uma determinada fila. Considere a situação de um cliente em um supermercado procurando efetuar o pagamento no caixa de menor fila: o ideal é chegar e ser atendido (fila zero). Quando a fila é de um tamanho razoável (10 elementos) intuitivamente sabe-se que o tempo de espera na fila será longo. Assim, o supermercado dimensiona a quantidade de caixas de modo que, a qualquer momento, os clientes não sintam um grande desconforto ao pegar uma fila. Situações atípicas certamente ocorrerão, mas não afetarão a credibilidade da instituição.

2.6.1.7 - Tamanho Máximo da Fila

Quando os clientes devem esperar, alguma área de espera deve existir (por exemplo: as cadeiras de uma barbearia). Observa-se, na vida real, que os sistemas existentes são dimensionados para certa quantidade máxima de clientes em espera, sendo este

dimensionamento geralmente feito com base em experiência real. Quando existe um crescimento na demanda, se faz uma ampliação também baseada na experiência com o manuseio do referido sistema.

Observam-se, também, casos em que um novo cliente que chega pode ser recusado, devendo tentar novamente em outro instante (exemplo: tentativa de conseguir uma linha telefônica, recebendo o sinal de "ocupado" ou de que não há linha disponível).

As considerações anteriores se referem ao que se denomina de "tamanho máximo da fila", importante etapa do estudo de um sistema de filas. Tanto pode se referir a uma área de espera para caminhões que vão se abastecer de combustível em uma refinaria como a um *buffer* onde transações de consulta a um computador devem esperar antes de serem atendidas.

2.6.1.8 - Tempo Médio de Espera na Fila

O ideal é que não exista tempo de espera, mas esta nem sempre é a melhor situação do ponto de vista econômico. Se houver uma fila com 10 pessoas à frente, o tempo de espera será igual ao somatório dos tempos de atendimento de cada um dos clientes à frente ou, possivelmente, será igual a 10 vezes a duração média de atendimento. Tal como o tamanho médio da fila, o tempo médio de espera depende dos processos de chegada e de atendimento.

3 ESTUDO DE CASO

Será utilizado a lista da Figura 1, como base para o desenvolvimento do estudo de caso.

3.1 Formulação e Análise do Problema

O presente trabalho foi desenvolvido visando melhoras no atendimento do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). O RU tem por finalidade o preparo de refeições balanceadas à servidores e acadêmicos. Atualmente o RU conta com 42 funcionários que trabalham diretamente no atendimento aos acadêmicos e servidores no período do almoço e jantar. O chefe da divisão é o Sr. Valdecir Aparecido Casagrande.

Atualmente o restaurante tem dois horários de atendimento, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Horários de atendimento

Refeição	Início (h)	Fim (h)
Almoço	11	13
Jantar	18	19:30

Para melhor atender e para que nos horários de pico todos os funcionários estejam no restaurante, eles foram divididos em dois turnos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Turnos de trabalho

Turnos	Entrada	Saída
Turno Almoço	7h	16h
Turno Jantar	10:45	19:45

No restaurante encontram-se 724 lugares individuais, distribuídos em 50 mesas. Ele conta com dois locais de acessos, e um local de saída. A Figura 3 mostra como é atualmente o *Layout* do restaurante e o fluxo padrão.

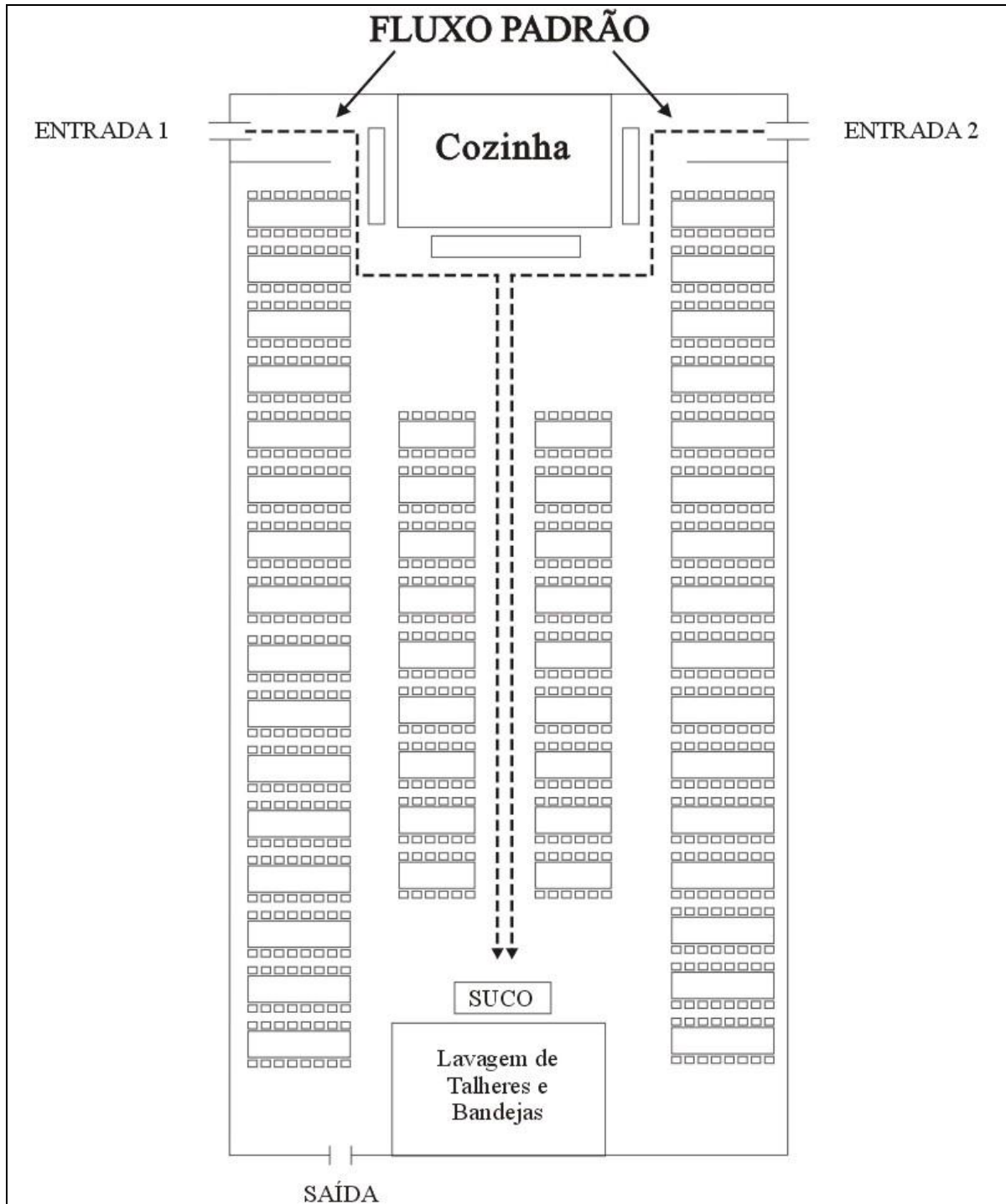


Figura 3: Layout do Restaurante Universitário

Na Figura 3, pode-se ver o fluxo padrão de acesso ao restaurante. As pessoas entram, se servem, pegam mais comida ou não, vão pegar suco e posteriormente vão sentar.

Os cardápios são constituídos por prato principal, guarnição, salada, sobremesa, arroz, feijão, refresco, contendo de 1000 à 1400 kcal, sendo 10% de proteínas, 60% de carboidratos e 30% de lipídios. É fornecido o mesmo cardápio no almoço e no jantar.

Normalmente é colocado em edital o cardápio do dia seguinte.

Os tickets de refeição podem ser adquiridos na bilheteria do RU. Para desconto em folha de pagamento, a venda dos tickets para servidor dá-se nos 05 primeiros dias úteis de cada mês, no horário das 8:00 h às 10:30 h no próprio restaurante, com a apresentação de documento com foto ou *hollerith*.

A venda de cotas para estudantes e servidores mensalistas dá-se nos 05 primeiros dias úteis de cada mês, no horário das 11 h às 13 h e das 18:00 h às 19:30 h no caixa do RU e terá desconto de 10% sendo a compra somente a vista. Estudante deverá apresentar RA ou carteira do BCE. Funcionários devem apresentar o *hollerith*.

Atualmente o valor de um ticket é de R\$1,60 e para mensalistas passa a ser R\$1,50.

O RU foi criado em 1979 e de lá para cá a Universidade cresceu muito em número de alunos, novos cursos foram criados, aumentou o número de servidores e com isso aumentou muito a quantidade de refeições servidas. Mas o RU não passou por nenhuma reforma de ampliação, não aumentou a quantidade de funcionários e não recebeu novos equipamentos para melhorar o preparo das refeições. A parte funcional do restaurante continua da mesma maneira de quando foi construído.

Devido a essa falta de investimento, hoje é possível se deparar com grandes filas que se formam no restaurante, muito antes dele abrir.

3.2 Formulação do Modelo Conceitual

O tempo médio para uma pessoa almoçar no RU esta aumentando a cada dia. O fluxo de funcionamento do RU para almoço ou jantar, esta conforme o fluxograma mostrado na Figura 4.

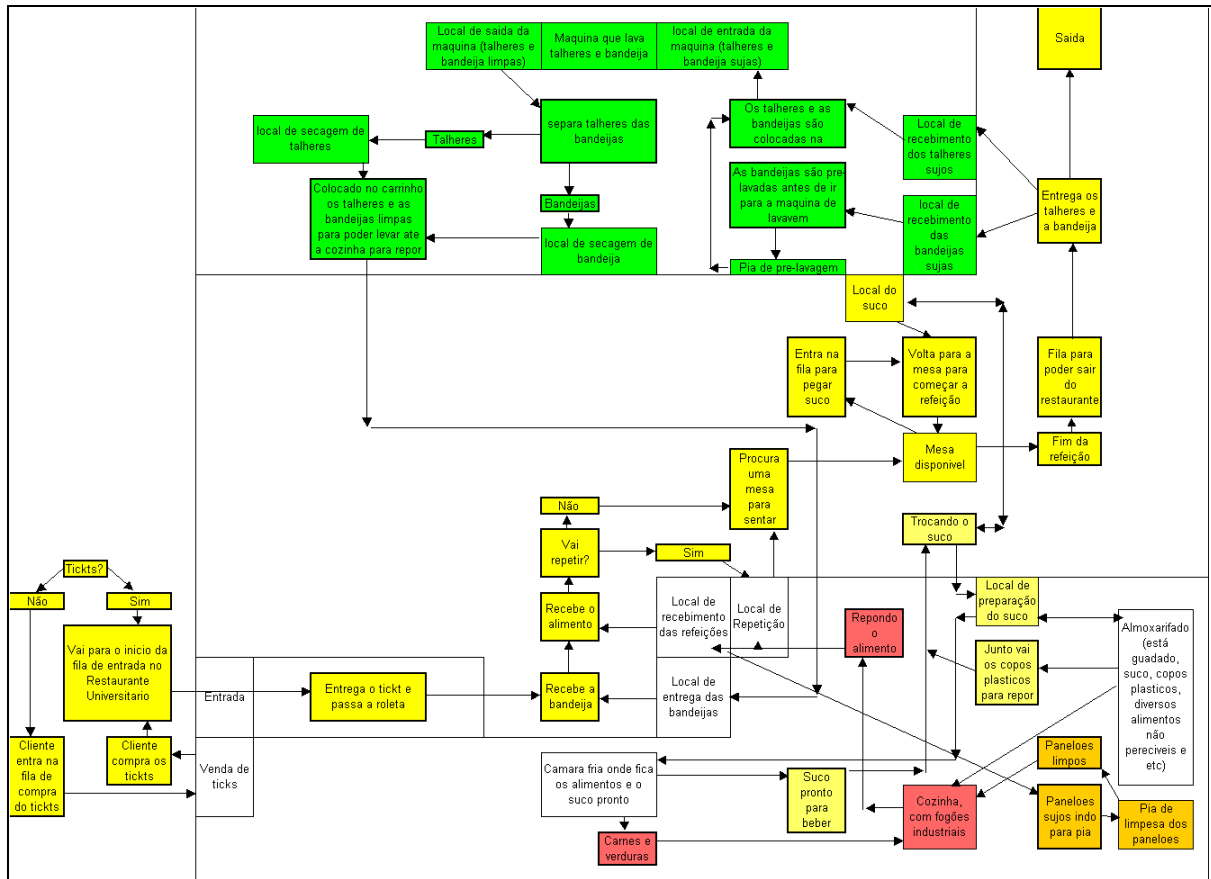


Figura 4: Fluxograma do Restaurante Universitário
Fonte: Alunos de Estatística

Modelou-se o funcionamento do RU e, posteriormente, implementou-se no *software* Arena, a fim de se localizar os gargalos e simular melhorias no restaurante. O restaurante apresenta grandes variações no número de refeições servidas por dia. Para a realização do trabalho, foi escolhido o dia de maior movimento, onde são servidas aproximadamente duas mil refeições no horário de almoço, conforme mostra Tabela 4.

3.3 Coleta de Macro-Informações

Tabela 3 – Definição do projeto

População	2.000 Pessoas
Processo de chegada	17 pessoas / minuto
Forma de atendimento	FIFO (<i>First In, First Out</i>)

O restaurante foi dividido em etapas de trabalhos, conforme mostra a Tabela 5. Em cada etapa de trabalho é gerado uma fila e computado o tempo médio de espera devido ao processo executado nesse local, que também é computado.

Tabela 4 – Etapas do processo

Etapas	Descrição
Compra de Ticket	Compra dos tickets de refeição. Nem todos precisam comprar, pois existe a possibilidade de comprar apenas uma vez por mês.
Entrega de Ticket	Etapa de entrega do ticket para entrar no refeitório.
Recebe Bandeja	Receber as bandejas.
Recebe Alimento	Receber os alimentos. No Arena as filas são formadas nessa etapa, mas no sistema real, essa etapa limita as outras e as filas são formadas antes da entrega do Ticket.
Repetir	Repetir a refeição ou pegar mais comida.
Suco	Pegar o suco, nessa etapa, o fluxo das duas entradas se juntam.
Local para sentar	Procurar um local para sentar e almoçar.
Entrega Bandeja	Devolução da bandeja e sair do refeitório.

Foram coletados os tempos de cada processo e também medido os tamanhos das filas que se formam como mostra a Tabela 6.

Tabela 5 – Tempo dos processos

Etapas	Tipo de Tempo	Tempos(minutos)			Tamanho das Filas (Pessoas)			Tempo medio nas filas(min)
		Min.	Medio	Max.	Min.	Medio	Max.	
Compra de Tickets	Triangular	0,20	0,30	1,00	1	2	5	1,00
Entrega de Tickets	Constante	0,05			1	2	3	0,50
Recebe Bandeja	Triangular	0,25	0,50	0,75	3	5	12	0,75
Recebe Alimento	Triangular	1,25	1,50	1,75	20	50	80	20,00
Repetir	Triangular	0,75	1,00	1,25	5	7	10	2,00
Suco	Constante	0,10			10	15	30	5,00
Local para Sentar	Triangular	10,00	17,00	25,00	desprezado			desprezado
Entrega Bandeja	Constante	0,15			1	2	3	0,50
Tempo total na fila	29,75 min							
Tempo total para almoçar	50,35 min							

Através do Arena, foi identificado gargalos nas etapas “Recebe Alimento” e “Suco”, como mostra a Tabela 6.

3.4 Experimentação

Na situação real, aparentemente essas etapas não apresentam filas, mas são elas que limitam o andamento do fluxo de pessoas e acabam gerando filas nas etapas anteriores. A fim de se tentar melhorar os tempos, foi proposto um dinamismo melhor ao funcionário que fornece o suco, em que ele deverá encher mais copos e colocar em duas mesas, uma a direita e uma a esquerda da máquina de suco, como mostra a Figura 5.



Figura 5: Novo Fluxo para pegar suco.

Com isso serão formadas duas filas, uma pelas pessoas que entram pela entrada 1 e a outra pelas que entram pela entrada 2. Após essa alteração, foi retirado um relatório, com os dados mostrados na Tabela 7.

Tabela 6 - Tempo dos processos

Etapas	Tipo de Tempo	Tempos(minutos)			Tamanho das Filas (Pessoas)			Tempo medio nas filas(min)
		Min.	Medio	Max.	Min.	Medio	Max.	
Compra de Tickets	Triangular	0,20	0,30	1,00	1	2	5	1,00
Entrega de Tickets	Constante	0,05			1	2	3	0,50
Recebe Bandeja	Triangular	0,25	0,50	0,75	3	5	12	0,75
Recebe Alimento	Triangular	1,25	1,50	1,75	20	50	80	20,00
Repetir	Triangular	0,75	1,00	1,25	5	7	10	2,00
Suco	Constante	0,05			5	8	15	2,50
Local para Sentar	Triangular	10,00	17,00	25,00	desprezado			desprezado
Entrega Bandeja	Constante	0,15			1	2	3	0,50
Tempo total na fila		27,25						
Tempo total para almoçar		47,80						

Nota-se que o tempo para pegar o suco, foi diminuído pela metade, e com isso foi diminuído o tempo médio em que uma pessoa fica no restaurante. Vale lembrar que a fila na etapa recebe alimento não foi alterada, pois a melhoria aconteceu na etapa de pegar suco, que fica após ela. Foi constatado também que quando há solicitação de carteirinha ou algum documento que identifique que a pessoa é aluno ou servidor da universidade, os números de refeições servidas caem 15%, ou seja, no nosso caso estudado, nossa população irá cair de duas mil para mil e setecentas refeições servidas no horário de almoço e diminuirá o processo de chegada para 15 pessoas por minuto.

Após essa alteração, foi retirado o relatório, com os resultados mostrados na Tabela 8.

Tabela 7 - Tempo dos processos

Etapas	Tipo de Tempo	Tempos(minutos)			Tamanho das Filas (Pessoas)			Tempo medio nas filas(min)
		Min.	Medio	Max.	Min.	Medio	Max.	
Compra de Tickets	Triangular	0,20	0,30	1,00	1	2	4	0,75
Entrega de Tickets	Constante	0,05			1	2	3	0,50
Recebe Bandeja	Triangular	0,25	0,50	0,75	3	4	8	0,50
Recebe Alimento	Triangular	1,25	1,50	1,75	18	45	65	15,00
Repetir	Triangular	0,75	1,00	1,25	4	5	8	1,50
Suco	Constante	0,05			4	6	12	2,00
Local para Sentar	Triangular	10,00	17,00	25,00	desprezado			desprezado
Entrega Bandeja	Constante	0,15			1	2	3	0,40
Tempo total na fila		20,65						
Tempo total para almoçar		41,20						

O gargalo continua existindo na hora de servir as refeições, como não é possível diminuir a quantidade de pessoas que freqüentam o RU e sem que sejam propostas alterações de *Layout* ou aquisições de equipamentos e mão de obra, será proposta uma

quantidade considerada ideal, em que o RU poderia atender e o tempo de espera na fila passe a ser satisfatório. Essa quantidade foi encontrada com o auxílio da ferramenta Arena e é de 1.530 refeições, onde o tempo médio de espera na fila passou a ser 14,75 minutos como mostra a Tabela 9.

Essa redução corresponde a 10% da quantidade proposta de 1.700 refeições.

Para essa situação, temos os seguintes resultados:

Tabela 8 – Tempo dos processos

Etapas	Tipo de Tempo	Tempos(minutos)			Tamanho das Filas (Pessoas)			Tempo medio nas filas(min)
		Min.	Medio	Max.	Min.	Medio	Max.	
Compra de Tickets	Triangular	0,20	0,30	1,00	1	2	3	0,60
Entrega de Tickets	Constante	0,05			1	2	3	0,40
Recebe Bandeja	Triangular	0,25	0,50	0,75	2	3	5	0,40
Recebe Alimento	Triangular	1,25	1,50	1,75	17	35	50	10,00
Repetir	Triangular	0,75	1,00	1,25	3	4	6	1,50
Suco	Constante	0,05			4	6	10	1,50
Local para Sentar	Triangular	10,00	17,00	25,00	desprezado			desprezado
Entrega Bandeja	Constante	0,15			1	2	3	0,35
Tempo total na fila		14,75						
Tempo total para almoçar		35,30						

O gargalo continua existindo na etapa recebe alimento, para melhorá-la a solução, é proposta a instalação de duas novas bancadas para servir os alimentos, fazendo com que seja criado um fluxo paralelo com o fluxo atual para receber alimentos, conforme mostra a Figura 6.

Verificou-se que o tempo de espera para receber alimentos diminuiu, mas acabou gerando um aumento na espera para receber suco.

Também foi constatado no RU, que existe espaço suficiente para a instalação dessas bancadas. Mas o fluxo de chegada de alimentos, de bandejas e talheres, seria prejudicado.

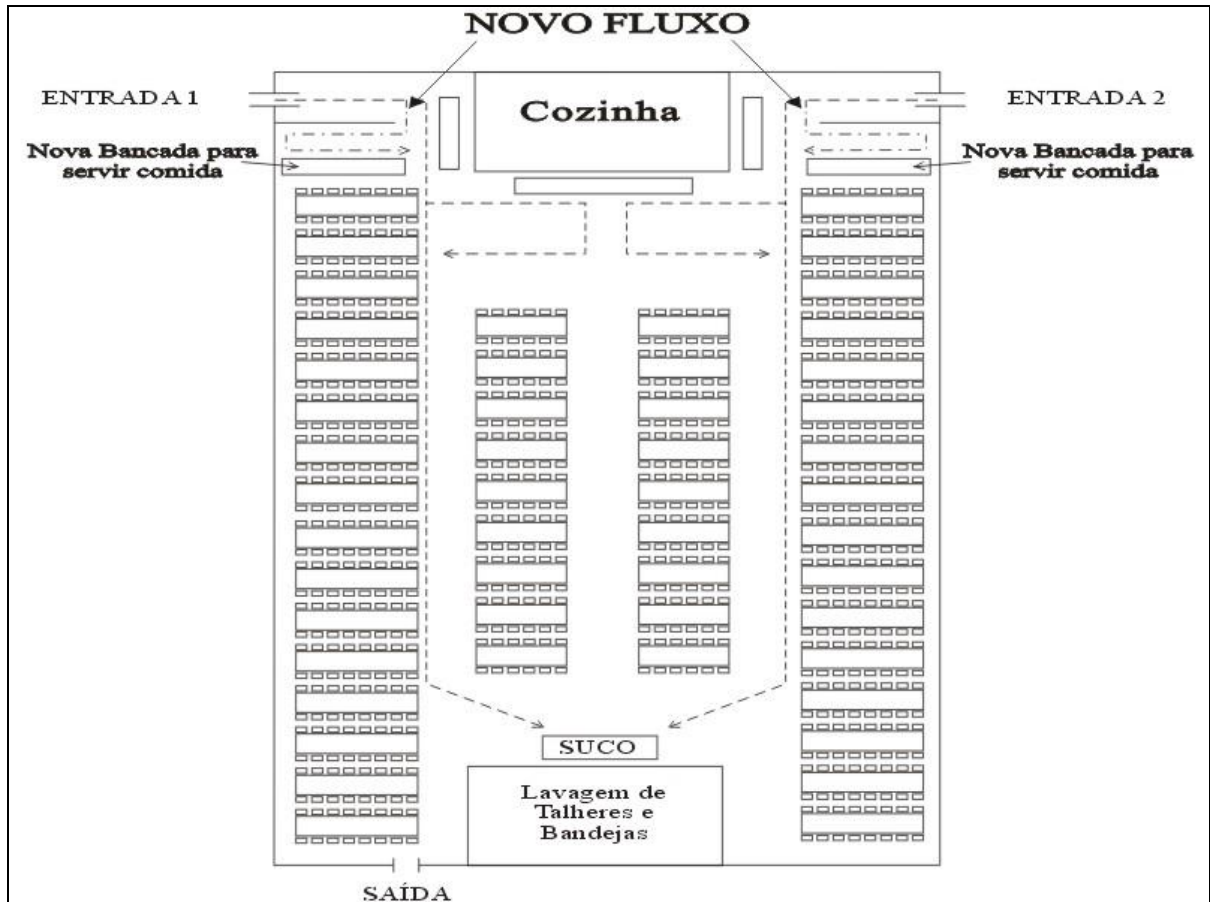


Figura 6: Novo Fluxo para pegar alimentos

Tabela 9 – Tempo dos processos

Etapas	Tipo de Tempo	Tempos(minutos)			Tamanho das Filas (Pessoas)			Tempo medio nas filas(min)
		Min.	Medio	Max.	Min.	Medio	Max.	
Compra de Tickets	Triangular	0,20	0,30	1,00	1	2	3	0,60
Entrega de Tickets	Constante	0,05			1	2	3	0,40
Recebe Bandeja	Triangular	0,25	0,50	0,75	2	3	5	0,40
Recebe Alimento	Triangular	0,80	1,00	1,25	11	23	35	7,00
Repetir	Triangular	0,75	1,00	1,25	4	5	8	2,00
Suco	Constante	0,05			4	6	12	2,00
Local para Sentar	Triangular	10,00	17,00	25,00	desprezado			desprezado
Entrega Bandeja	Constante	0,15			1	2	3	0,40
Tempo total na fila		12,80						
Tempo total para almoçar		32,85						

3.5 Interpretação

Com essas mudanças, foi constatado grandes melhoras nos tempos, como mostra a Tabela 10. Mas isso demonstra que o funcionamento atual do RU está acima de sua capacidade para atender as pessoas em um tempo satisfatório.

Tabela 3.10 - Resultados

	Melhora em relação ao modelo atual(%)
Número de refeições servidas	23,50
Tempo de espera em fila	56,97
Tempo total para almoçar	34,76

4 CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, foi identificada uma grande dificuldade em se melhorar o tempo de atendimento em dias de pico. A infra-estrutura do restaurante é muito antiga e foi montada para atender a demanda da época.

O principal gargalo encontrado foi o tempo de espera na fila, pois diz respeito à quantidade de pessoas e capacidade física do RU. Mas este fator é difícil de ser controlado, uma vez que a demanda aumenta ano a ano e as instalações não mudaram desde sua inauguração.

Verificou-se que a quantidade de funcionários e equipamentos, não são restrições para a melhoria do funcionamento do RU.

Optou-se por trabalhar nos pontos que limitam o atendimento dentro do RU: fila do suco e recebimento de alimento. Deste modo, conseguiu-se diminuir o tempo de espera e o tempo total para almoçar. Observa-se que nessas condições os tempos ainda são altos.

Conclui-se que o RU deveria passar por ampliações para melhorar seus atendimentos. Como essas decisões fogem às delimitações desse trabalho, optou-se por determinar a capacidade “ótima” de acordo com as instalações atuais.

Conforme as simulações realizadas, a capacidade ótima seria de 1530 pessoas e o tempo de espera na fila seria de 15 minutos. Nessa simulação, incluiu-se ainda mais duas bancadas de atendimento. Os resultados não foram satisfatórios, pois aumentou o tempo na fila de suco e ainda requer custos de instalação e mão-de-obra adicional. Isso confirma que as atuais instalações estão sub-dimensionadas.

Com esse trabalho foi possível mostrar a aplicação prática da ferramenta software Arena para o problema de filas e conclui-se que com o auxílio do software é possível chegar a resultados sem precisar alterar nada na situação real. E os resultados alcançados também poderão ser úteis nas tomadas de decisão que pode ajudar os

gerentes ou à alta administração sugerindo as mudanças e o melhor caminho a ser seguido pela empresa ou instituição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J. e CARSON, J.S., *Discrete-Event System Simulation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

FREITAS FILHO, P.J., 2001, *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*, Visual Books Editora.

GOLDBARG, M.C., Luna, H.P., 2000, *Otimização Combinatória e Programação Linear*, Elsevier Editora Ltda.

LAW, A.M. e KELTON, W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, NY, 1991.

PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P., *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, NY, 2nd ed., 1990.

PRADO, D., 1999, *Teoria das Filas e da Simulação*, Editora de Desenvolvimento Gerencial.

PRADO, D., 2004, *Usando o ARENA em Simulação*, INDG Tecnologias e Serviços Ltda.

SCHRIBER, T.J., 1974, *Simulation Using GPSS*, Wiley, NY.

SHANNON, R.E., *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1975.

TAYLOR, R.E. e SCHMIDT, J.W., *Simulation and Analysis of industrial Systems*, Richard D. Irwin, Homewood, Ill, 1970.7

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR
CEP 87020-900

Tel: (044) 3261-4324 / 4219 Fax: (044) 3261-5874