UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS APLICADA AO FLUXO DE PACIENTES NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA USP

Thiago Cassoni Rodrigues Gonçalves

São Paulo

2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS APLICADA AO FLUXO DE PACIENTES NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA USP

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Graduação em Engenharia

Thiago Cassoni Rodrigues Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Gonçalves, Thiago Cassoni Rodrigues
Análise e simulação computacional de processos aplicada ao fluxo de pacientes do Hospital Universitário da USP / T.C.R. Gonçalves. – São Paulo, 2010.
85 p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Simulação de sistemas (Otimização) 2. Controle de processos (Simulação computacional) 3. Hospitais universitários 4. Pacientes (Fluxo; Otimização) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço igualmente a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse estudo.

Ao Prof. Adherbal Caminada Netto pelos conselhos e orientação ao longo da realização do trabalho.

Aos funcionarios do Hospital Universitário da USP que auxialiaram na coleta de dados e no decorrer do trabalho, em especial à Stanley Galvão, Lucia Mendes, Dr. Carlos Marcello e ao Dr. Superintendente Paulo Lotufo.

RESUMO

CASSONI, Thiago. Análise e Simulação Computacional de Processos. Estudo de caso aplicado ao fluxo de pacientes do Hospital Universitário da USP. 2010. 72f. Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de formatura) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2010.

Este trabalho de formatura tem por objetivo o estudo de uma linha de processos, abordando todos os pontos críticos e possíveis falhas do sistema assim como propondo otimizações ao mesmo.

O estudo também apresentará o uso do software Rockwell Arena, que é uma ferramenta computacional largamente utilizada para simular eventos discretos no espaço de estados. Sua aplicação é muito difundida nos departamentos da Engenharia Elétrica e Naval da Escola Politécnica, porém ainda não abordada profundamente no departamento de Engenharia Mecânica.

A divisão básica do relatório segue a ordem cronológica de uma análise de processos, dividida usualmente em: coleta de dados amostrais, análise estatística e funcional, simulação computacional da planta real, teste de confiabilidade do sistema, proposição de otimizações, simulações do sistema otimizado e, por fim, conclusões.

O trabalho se apresentará na forma de estudo de caso. Mais precisamente aplicado à linha de fluxo de pacientes no Hospital Universitário da USP. Tal tema foi proposto uma vez que o autor realizou durante o ano de 2009 um estudo semelhante em um hospital vinculado à faculdade Politecnico di Torino (na cidade de Turim – Itália). Tal estudo foi realizado como trabalho de formatura para um programa de duplo diploma oferecido pela Escola Politécnica.

Ambos os resultados obtidos para cada hospital serão apresentados de forma a proporcionar uma comparação de performance entre ambos. Porém, uma maior ênfase será dada ao Hospital Universitário da USP devido a sua filiação com a Escola Politécnica da USP, e por ser o estudo mais recente.

Palavras-chave: Processos. Análise computacional. Hospitais universitários.

ABSTRACT

CASSONI, Thiago. Process Analysis and Simulation applied at the University Hospital of USP. 2010. 72f. Graduation Essay – Escola Politecnica, University of São Paulo, 2010.

This essay aims the study of processes lines, analyzing all the bottlenecks and critical stages and, also, proposing optimization in order to achieve a leaner system.

The study will use the software Rockwell Arena as its computational tool, which deals with simulations of discrete event scenarios.

This dissertation wil follow a cronological order regarding the work performed, which can be summarized as: gathering of initial data from the area of study, statistical and functional analsys, computational simulation from the real case scenario, analysis of improvements, simulation of improved case and final conclusions.

The study is presented as a case study. More precisely a study applied do the patient flow inside a hospital department. Two different hospitals (however both connected with their respective University Campus) will be presented, one situated on the city of Turin (Italy) and the other on the city of São Paulo (Brazil). Both hospitals will present results that will be compared and analyzed in terms of performance and resources utilization. However a broader study will be performed on the latter since it was the most recent case analyzed.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classes de variabilidade.....16
Tabela 4.1 – Divisão de pacientes em função da faixa etária.....32
Tabela 4.2 – Proveniência dos pacientes que entram no Centro Cirúrgico.....33
Tabela 4.3 – Destino dos pacientes que saem do Centro Cirúrgico.....34
Tabela 4.4 – Dados gerais extraídos do Hospital.....35
Tabela 4.5 – Dados refinados dos interventos cirúrgicos.....38
Tabela 4.6 – Tempo de internação de acordo com pacientes Programados e Emergenciais.....40
Tabela 4.7 – Dados da correlação entre idade e tempo de internação.....42
Tabela 4.8 – Dados da análise da alocação de pacientes.....44
Tabela 4.9 – Dados da análise do intervento cirúrgico.....45
Tabela 4.10 – Dados da análise da recuperação pós cirúrgica.....47
Tabela 4.11 – Distribuições probabilísticas utilizadas como entrada computacional....48
Tabela 4.12 – Resultados comparativos entre os dados reais e os obtidos pela simulação.....51
Tabela 5.1 – Resultados comparativos entre os dados reais, da simulação inicial e da modificação proposta.....59
Tabela 5.2 – Comparação de resultados para pré análises realizadas fora do centro cirúrgico.....61
Tabela 5.3 – Resultados para aumentos nos recursos hospitalares.....64
Tabela 5.4 – Resultados das modificações comparados com o controle.....66
Tabela 6.1 – Resultados comparativos do caso brasileiro e italiano.....76

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Exemplo de fluxograma de blocos.....13
Figura 3.2 – Legenda de formas utilizadas em fluxogramas de blocos.....14
Figura 3.3 – Exemplo de histograma e testes de distribuição.....17
Figura 3.4 – Exemplos da janela de processos do software.....20
Figura 4.1 – Representação esquemática das salas de cirurgias do hospital.....24
Figura 4.2 – Legenda de blocos utilizada para a planta.....27
Figura 4.3 – Fluxograma das áreas analisadas do hospital.....28
Figura 4.4 – Centros de serviços do sistema.....31
Figura 4.5 – Dispersão de cirurgias ao longo do período analisado.....37
Figura 4.6 – Quantidade de cirurgias distribuídas pelos dias da semana.....39
Figura 4.7 – Histograma e dispersão da análise de correlação.....41
Figura 4.8 – Histograma da alocação de pacientes.....43
Figura 4.9 – Histograma do processo cirúrgico.....45
Figura 4.10 – Histograma da recuperação pós cirúrgica.....47
Figura 4.11 – Exemplo da janela do software com o modelo da simulação.....49
Figura 4.12 – Saída gráfica da utilização de recursos em função do tempo.....50
Figura 4.13 – Comparação da utilização em função da entrada do sistema.....52
Figura 5.1 – Ilustração do conceito de divisão de leitos.....57
Figura 5.2 – Gráfico da dispersão do tempo de estadia por paciente.....58
Figura 5.3 – Comparação entre fluxo atual e proposto.....61
Figura 5.4 – Legenda de cores para os gráficos de comparação.....67
Figura 5.5 – Comparação entre os casos estudados a respeito do tempo de internação.....68
Figura 5.6 – Comparação entre os casos estudados a respeito da utilização de leitos...70
Figura 5.7 – Comparação entre os tempo de internação de pacientes de Estadia Longa e Curta.....71
Figura 5.8 – Comparação entre as utilizações de pacientes de Estadia Longa e Curta..72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....1

1.1 – Consideração inicial sobre o trabalho final de formatura.....1

1.2 – Introdução ao estudo de processos.....1

1.3 – Teoria das filas.....2

1.4 – Fluxo de pacientes em hospitais e o problema da alocação.....3

1.5 – Introdução ao Hospital Universitário da USP.....5

2. REVISÃO DE MATERIAL TÉCNICO.....6

2.1 – Classificação de sistemas de produção.....6

2.2 – Análise analítica de fluxos.....9

3. METODOLOGIA.....11

3.1 – Visitas de campo.....11

3.2 – Estudo dos dados de entrada.....12

3.2.1 – Fluxogramas.....12

3.2.2 – Análise estatística e distribuições probabilísticas dos processos.....14

3.3 – Introdução ao software.....19

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....23

4.1 – Foco do estudo.....23

4.2 – Dados gerais da planta estudada.....23

4.3 – Fluxograma de processos.....26

4.4 – Utilização dos recursos.....29

4.5 – Estudo analítico.....32

4.6 – Teorema de Little.....36

4.7 – Dispersão das datas cirúrgicas.....37

4.8 – Análises e correlações.....39

4.9 – Histogramas.....42
4.9.1 – Histograma da alocação de pacientes.....43
4.9.2 – Histograma do processo cirúrgico.....45
4.9.3 – Histograma da recuperação pós-cirúrgica.....46
4.10 – Desenvolvimento da simulação computacional.....48
4.11 – Resultado da simulação.....51
5. PROPOSIÇÃO DE OTIMIZAÇÕES.....54
5.1 – Introdução às modificações propostas.....54
5.2 – Modificações de processos.....56
5.2.1 – Distinção entre estadia longa e estadia curta.....56
5.2.2 – Pré análises realizadas fora do centro cirúrgico.....60
5.3 – Autmento nos recursos.....62
5.3.1 – Aumento no número de leitos.....63
5.3.2 – Aumento na quantidade das salas cirúrgicas.....63
5.3.3 – Tabela geral dos resultados.....65
5.4 – Comparação entre os casos estudados.....67
5.4.1 – Comparação entre os tempos médios de internação.....68
5.4.2 – Comparação entre as utilizações de leitos.....69
5.4.3 – Comparação específica da divisão entre Estadia Longa e Curta.....71
5.5 – Análise de implantação das otimizações.....73
6. COMPARAÇÃO COM O ESTUDO DE CASO ITALIANO.....75
7. CONCLUSÕES FINAIS.....78
7.1 – Dificuldades encontradas.....78
7.2 – Proposição de trabalhos e estudos futuros.....79
BIBLIOGRAFIA.....82
ANEXOS.....85

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações iniciais sobre o trabalho final de formatura

Este trabalho de formatura foi desenvolvido como conclusão do ciclo de estudo de graduação. O aluno realizou o programa de Duplo Diploma com a faculdade “Politecnico di Torino” onde realizou a primeira parte (equivalente ao TF1) das três partes que compreendem o curso de trabalho final de graduação.

As partes referentes ao TF2 e TF3 foram realizadas na Escola Politécnica da USP.

1.2– Introdução ao estudo de processos

A análise dos critérios e métodosutilizados nos processos produtivos das organizações é de suma importância, pois toda e qualquer ferramenta quecontribua para a diminuição de custos deve ser administrada, independentemente da área de atuação. Portanto, conhecer os procedimentos existentes no processo produtivo da empresa é essencial para manter-se em ummercado globalizado e cada vez mais competitivo.

Uma definição de “processos” que pode ser entendida dentro da ótica organizacional é a de ser um conjunto seqüencial e peculiar de ações que objetivam atingir uma meta utilizando os recursos necessários para tal fim. Dentro desse âmbito pode-se entender que um processo possui em sua entrada a matéria prima a ser manufaturada e, como saída, o produto acabado.

Já o estudo de um sistema deve seguir, usualmente, a seguinte ordem cronológica:

1 – Visitas de campo para obtenção dos dados de entrada e para conhecimento do fluxo dos processos;

2 – Realização de um fluxograma determinando as relações entre processos e utilização de recursos;

3 – Estudo estatístico dos dados de entrada, preparando-os para serem utilizados como *inputs* para o software;

4 – Simulação computacional do atual funcionamento do sistema e posterior validação de sua confiabilidade com relação à amostra obtida;

5 – Estudo dos pontos críticos e proposição de otimizações;

6 – Simulação computacional dos sistemas otimizados e teste de sua aplicação ao modelo real (analisando viabilidade e custos de aplicação);

7 – Caso seja viável, aplicar o sistema otimizado no caso físico e validar se houve melhorias ao sistema e/ou aumento na sua eficiência total.

O tema a ser tratado nesse estudo de caso é uma abordagem de processos hospitalares. Estes, por seguirem uma ordem determinada e baseada em decisões, podem ser ponderados semelhantemente a processos industriais, onde as entidades a serem processadas são os pacientes, utilizando recursos hospitalares dos mais diversos (salas cirúrgicas, salas de análise, clínicas ambulatoriais, unidades de tratamento intensivo, etc).

1.3–Teoria das filas

A teoria das filas é um ramo da probabilidade que estuda a formação de filas, através de análises matemáticas precisas e propriedades mensuráveis das filas. Ela 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.

Entre os seus estudos estão tópicos que serão definidos e estudados no decorrer desse trabalho, como o conceito de rede de filas, centros de serviço, usuários, recursos, entre

outros.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. "Cliente", em teoria das filas, é um termo genérico, aplicando-se não somente a seres humanos. O conceito pode abranger, por exemplo, processos esperando para receber a CPU; pacotes que chegam a um roteador para serem encaminhados; pessoas esperando no caixa do supermercado, etc.

Existem diversas aplicações da teoria das filas, que podem ser encontradas na literatura de probabilidade, pesquisa operacional e engenharia industrial. Entre elas destacam-se:

- Fluxo de tráfego (aviões, carros, pessoas, comunicações)
- Escalonamento (pacientes em hospitais, programas em computadores)
- Prestação de serviços (bancos, correios, lanchonetes)

1.4–Fluxo de pacientes em hospitais e o problema da alocação

Fluxo de pacientes, que é a progressão de pacientes pelo processo cirúrgico e hospitalar onde cada qual possui condições específicas e individuais, é um importante fator operacional a ser estudado, de forma a garantir índices satisfatórios de atendimento. Sabe-se de antemão que tais processos são de alto nível estocástico (possuem alta variabilidade) uma vez que apenas aproximações baseadas em análises históricas podem ser realizadas a fim de estimar os parâmetros que determinam o fluxo (como a média de entrada de pacientes, o tempo de cirurgia estimado, a espera em salas de recuperação, o número médio de casos urgentes, etc).

Importante enfatizar que esse trabalho irá analisar os processos hospitalares a partir de uma ótica generalizada, não visando os detalhes que cada atuação possui de acordo com o paciente. Sabe-se que como em todos os hospitais cada procedimento cirúrgico envolve metodologias e abordagens diferentes, porém o escopo desse estudo é analisar de forma abrangente apenas os

processos principais, possibilitando assim visar uma otimização da desempenho hospitalar como um todo e não apenas estudando as suas particularidades.

Atualmente, a alocação dos recursos hospitalares não é realizada de forma automatizada (devido exatamente a alta variabilidade existente em processos hospitalares já comentada anteriormente). E sabe-se também que é necessário um alto custo de operação para manter uma satisfatória gerência de pessoal e de materiais, o que muitas vezes não é possível de se realizar em hospitais da rede pública devido à falta de verbas. Algumas causas usuais dos problemas de alocação de recursos em tais hospitais podem ser obtidas da literatura (Visserb, 1998) como exemplificado a seguir:

- A quantidade de recursos não é correspondente com alta demanda da rede pública;

- O tempo de alocação de um recurso raramente possui uma distribuição constante ao longo do tempo (há constantemente a presença de picos e vales na necessidade de um recurso de acordo com o tempo de utilização);

- Muitos processos requerem simultaneamente o mesmo recurso, impossibilitando um correto balanceamento de entradas (*inputs*) e gerando gargalos no fluxo ou até mesmo utilização abaixo do esperado.

O estudo de caso a ser apresentado nesse trabalho visa quantificar e analisar o sistema utilizado tanto no Hospital Universitário da USP como também relatar o estudo realizado em semelhante hospital da cidade de Turim na Itália. A análise das áreas críticas do fluxo serão estudadas em maior detalhe e, se possível, melhorias e otimizações serão propostas a fim de sanar tais problemas.

Porém, devido ao alto nível de complexidade desses hospitais, é necessário focar a área de estudo em um tópico específico (devido alta complexidade de se simular todos os inúmeros processos existentes em um hospital). Dessa forma, o trabalho será concentrado na área cirúrgica, uma vez que é usualmente a que apresenta maior índice de variabilidade, além de ser crítica por lidar com procedimentos complexos que determinam o bem estar do paciente. Além disso, o foco se dará na alocação de leitos entre os pacientes e no estudo da utilização das salas cirúrgicas, pré-operatórias e de recuperação. A área escolhida representa, atualmente, a de maior

criticalidade em hospitais devido à difícil automação do sistema. Por vezes é necessário utilizar um sistema onde um ou mais funcionários se responsabilizam integralmente pela alocação de pacientes, gerando assim ineficiências dos processos, filas de espera demasiadas e incorreta utilização dos recursos.

1.5–Introdução ao Hospital Universitário da USP

Localiza-se no campus da Cidade Universitária, bairro Butantã, na cidade de São Paulo. Ocupando 36.000 m² de área construída, o HU-USP foi idealizado em 1967 e iniciou suas atividades em 1968. Teve implantada a área de Pediatria e Obstetrícia em 1981, a Clínica médica em 1985, e logo em 1986 a Clínica Cirúrgica.

Em 2000, visando melhorar a qualidade do atendimento, passou por um Redirecionamento Assistencial e, finalmente em 2003, retomou sua missão acadêmica de ser um hospital voltado ao aprendizado.

OHU-USP é uma instituição vinculada, através de um sistema de Saúde Pública, a regras territoriais (ele atende apenas as pessoas do bairro Butantã e da Cidade Universitária). Embora haja tal restrição, pode-se identificar no HU certa diferenciação: sendo um hospital-escola ele tem como objetivo o ensino de estudantes da área médica, possuindo para tal um dos melhores grupos de médicos entre os hospitais públicos. Além disso são presentes também alguns serviços mais modernos tendo, diferentemente de outros hospitais públicos, um apoio econômico também por parte da Universidade. Essa diferenciação traz aos pacientes a idéia de um lugar mais confiável e seguro.

O hospital estudado na cidade de Torino (Itália) e que será utilizado para comparações de desempenho também é da rede pública e associado à Universidade de Medicina da cidade. A principal diferença é o fato de esse seruma instituição de grande porte dividida em diversas áreas cirúrgicas e em um largo espaço físico, além de possuir maior contingente de funcionários e atender a uma maior demanda.

2. REVISÃO DE MATERIAL TÉCNICO

Neste capítulo são introduzidos os conhecimentos teóricos fundamentais em que se apóia todo o trabalho desenvolvido. Serão apresentadasbrevemente as classificações de sistemas de produção, a análise analítica de fluxos em processos, bem como o estudo de dados de entrada e uma breve introdução ao software utilizado para as simulações do sistema.

2.1 – Classificação de sistemas de produção

Moreira (1998, p.8)indica que existem basicamente duas classificações de sistemas de produção. A primeira é denominadaclassificação Tradicional e a segunda Classificação Cruzada deSchroeder.A Classificação Tradicional, em função do fluxo do produto, agrupa os sistemas deprodução em três grandes categorias:

a) Sistemas de produção contínua ou de fluxo em linha: apresentam seqüência linear defluxo e trabalham com produtos padronizados. Dividido em:

i) Produção contínua propriamente dita: é o caso das indústrias de processo - este tipo deprodução tende a ter um alto grau de automatização e gera produtos altamentepadronizados;

ii) Produção em massa: linhas de montagem em larga escala de poucos produtos com graude diferenciação relativamente pequeno.

b) Sistemas de produção intermitente (caso onde o fluxo de entrada é intermitente). Dividido em dois tipos:

i) Por lotes;

ii) Por encomenda.

c) Sistemas de produção de grandes projetos sem repetição: o produto é único e não hárigorosamente um fluxo a ser seguido, mas existe uma seqüência predeterminada deatividades que deve ser abordada, porém com pouca ou nenhuma repetição.

Já a Classificação Cruzada de Schroeder (detalhada em Slack ,1997) considera duas dimensões divididas em:

- Sistemas orientados para estoque onde o produto é fabricado e estocado antes da demanda efetiva do consumidor. Este tipo de sistema oferece atendimento rápido e a baixocusto, mas a flexibilidade de escolha do consumidor é reduzida.

- Sistemas orientados para a encomenda onde as operações são ligadas a um cliente emparticular, discutindo-se preço e prazo de entrega.

O estudo de caso abordado nesse trabalho se comporta como um sistema misto que dificilmente se enquadra nos casos usuais, principalmente pela dificuldade de se gerar processos determinísticos em um ambiente tão variável como um hospital. Porém, tais considerações serão mais bem detalhadas no decorrer do trabalho.

A análise de processos, em qualquer sistema, possui diversos objetivos. Entre eles é possível citar:

– Identificar a utilização de cada etapa;

– Determinar os gargalos e pontos críticos;

– Verificar as vantagens em alterar a seqüência das operações (ou os chamados “passos”);

– Adequar as operações aos recursos necessários para sua execução;

– Identificar necessidade otimização e testar os índices de desempenho.

Percebe-se, desse último item, que há também a necessidade de se estudar os índices de desempenhodo sistema estudado. Tais medidas devem ser realizadas não só *a priori* como também posteriormente a fase de simulação.

Tais indicadores são, usualmente, divididos como segue abaixo:

- Produtividade: em resumo o conceito de produtividade pode ser a divisão entre saídas (Output) e entradas (Inputs) dentro do sistema;

- Capacidade: o volume de saída medido em um intervalo de tempo fixo;

- Qualidade: geralmente é medida pela quantidade de defeitos dos produtosacabados, sendo esses defeitos considerados tanto os que foram percebidos na fábrica eos que foram percebidos pelo consumidor final;

- Velocidade do processo: como o próprio nome sugere, é o tempo necessário para realizar a ação estipulada em determinado estágio;

- Flexibilidade: determina a capacidade de se adaptar a mudanças decorrentes do ambiente externo e interno, indicando se o sistema é, por exemplo, apto a atender uma demanda específica (aumentando o grau de produtividade ou utilizando mais recursos do que o usual);

- Benchmarking: é o processo de comparação entre atividades semelhantes de outras empresas.

No estudo de caso haverá um grande foco para o benchmarking entre os hospitais de São Paulo e de Torino. Será realizado, mais precisamente, o chamado “Benchmarking genérico” que consiste na análise de processos e trabalhos específicos, ou seja, aquelas ações que sãopraticamente as mesmas (ou muito similares) independente do sistema estudado.Esse “Benchmarking genérico” também pode identificar aqueles sistemas que adotaram processosinovadores e determinar a sua eficiência se comparado com concorrentes.

Importante também é a análise das filas existentes em processos. Essas que recebem diferentes denominações de acordo com o sistema de alimentação utilizado. Podendo ser por exemplo:

- *First-In, First-Out* (também conhecida como *First-Come, First-Served*): caso aonde a primeira entidade que chega à fila antecessora à ação será a primeira a ser processada.
- *Last-In, First-Out*: diferente do caso anterior, nesse o último item a chegar à fila será o primeiro a ser processado
- *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

Esse último é o caso mais importante para esse estudo uma vez que em hospitais utiliza-se largamente desse técnica para indicar quais pacientes devem ser atendidos primeiramente. Iremos utilizar para efeito de simulação o caso não preemptivo, uma vez que facilita o desenvolvimento da modelagem.

2.2 – Análise analítica de fluxos

A modelagem do fluxo de pacientes em uma área hospitalar pode ser interpretada de forma analítica ou utilizando simulações computacionais. Nessa seção uma breve introdução aos

métodos analíticos será apresentada, citando as devidas literaturas. Porém, o tema não será aprofundado uma vez que esse trabalho foca na análise computacional.

Um caso particular, mas largamente utilizado, para a modelagem analítica de fluxos é o uso de modelos Markov e semi-Markov. Se por um lado essa modelagem de sistemas estocásticos permite uma fiel representação de fluxo de pacientes, por outro ela possui limitações quando por exemplo é necessária a obtenção das distribuições probabilísticas.

A cadeia de Markov (como visto em Mcclean & Faddy, 2005) é nomeada em favor de seu criador Andrey Markov, e representa um processo aleatório onde toda a informação sobre o estado futuro está contida no instante presente ou inicial (i.e. não há a direta necessidade de analisar o histórico passado para estimar estados futuros). Para ser mais claro, a descrição do estado atual do sistema já contém toda a informação necessária que pode influenciar a evolução futura do sistema. Sendo um processo estocástico, todos os estados de transição possuem uma probabilidade associada (previsível apenas de acordo com suas propriedades estatísticas).

Outros casos são as distribuições de fase (estudada por Mashal & McClean, 2005), que resultam basicamente de processos com distribuições de Poisson inter relacionadas e que ocorrem em seqüência. Essa distribuição pode ser representada por uma variável aleatória que descreve o tempo em que um processo da cadeia Markov demora em ser realizado. E cada estágio do processo é considerado como sendo uma fase.

Os estudos analíticos não serão abordados nesse trabalho. Existem vários motivos para tal como o fato de resoluções de cadeias Markov serem de difícil aplicação a sistemas muito complexos e intrínsecos como departamentos cirúrgicos hospitalares, onde existe a constante necessidade de decisões instantâneas (muitas vezes por parte de médicos e gerentes) que se baseia largamente em expectativas e/ou baseamento histórico (como proposto por Murray & Willian, 2000). Além disso, Markov apresenta apenas as probabilidades dos fluxos (ou caminhos) do sistema, o que impossibilita por vezes a obtenção de índices de desempenho necessários para a comparação entre os dois casos estudados, como a duração dos processos ou o tempo de espera em fila.

A simulação computacional também permite a fácil mudança entre os processos, possibilitando assim a criação de novos sistemas hipotéticos com a finalidade de testar mudanças

e otimizações (tema apresentado por Doglei, Demarchi e Rosa em, 2007) . A interface também facilita a discussão do modelo com os profissionais da área de estudo (no caso médicos e gerentes de departamento), o que seria trabalhoso caso seja utilizado um modelo analítico.

3. METODOLOGIA

3.1 – Visitas de campo

Toma-se como o primeiro passo do trabalho a realização de uma visita técnica ao sistemaestudado. O objetivo é obter os dados de entrada do sistema, quantificar os problemas atuais e argumentar com funcionários e gerentes sobre todos os aspectos a serem realizados durante o estudo. Como o caso estudado é um hospital, algumas precauções específicas devem ser tomadas. Os passos dessa visita e alguns dos dados vitais para a elaboração do problema são citados nesse tópico.

Devido à existência de arquivos de pacientes devidamente catalogados, é possível separar a obtenção de dados em dois métodos: 1) obtenção dos históricos físicos ou virtuais do sistema a ser estudado e 2) realização de questionários e perguntas diretas com o fim de obter informações críticas para o estudo.

O primeiro dado é obtido acessando os prontuários hospitalares. Porém é importante notar que autorizações são necessárias para obter tal acesso, uma vez que ao lidar com pacientes (pessoas físicas) certas informações são sigilosas e não podem ser abertas ao público. Dessa forma, apenas os dados necessários ao estudo serão coletados (não havendo a necessidade de se obter, por exemplo, dados como o nome, o endereço ou idade dos pacientes existentes no prontuário).

Já o questionário a ser realizado com os responsáveis pela área é realizado de forma aberta e casual. Entrevistas realizadas diretamente com os gerentes dos processos e com os responsáveis

pela alocação de recursos possibilitará determinar fatores importantes e decisivos para a futura simulação computacional.Uma cópia do questionário pode ser encontrada no Anexo A.

Através da análise do prontuário é possível obter informações como as datas de entrada dos pacientes, as datas do procedimento cirúrgico, qual o tipo de cirurgia realizada, se houve a necessidade de algum procedimento extra (fora do usual), qual o laudo final do médico e a data e o método de liberação do paciente.

Já as particularidades do sistema, como a quantidade de leitos e de salas cirúrgicas, a forma do fluxo, as análises a qual o paciente se submete, etc, são obtidas pelo questionário aos funcionários. É importante notar que inúmeras particularidades existem em um sistema hospitalar, diferentemente de sistemas de produção em massa de produtos físicos, por exemplo, onde a automatização permite uma baixa variabilidade entre os processos. Em um caso hospitalar, cada caso deve ser analisado particularmente, o que define o problema da alocação.

3.2 – Estudo dos dados de entrada

3.2.1 – Fluxogramas

As atividades associadas com um processo afetam umas as outras, portanto éimportante considerar o desempenho simultâneo de uma série de atividades. Uma boa maneirade começar a analisar um processo é com um diagrama mostrando os elementos básicosdo sistema, tipicamentetarefas, fluxos e áreas de armazenagem. Para tal se usa o fluxograma.

A definição desse termo, baseada em Oliveira (2002), é a de ser uma representação gráfica que apresenta a seqüência de um trabalho deforma analítica, caracterizando as operações, os responsáveis eunidades organizacionais envolvidos no processo.

Esse método é também conhecido como carta de fluxo do processo, gráfico de processamento ou até gráfico de seqüência. Seus objetivos são padronizar a representação de métodos administrativos, permitir maior rapidez da descrição dos processos, facilitar leitura e

entendimento (e por conseqüência as futuras análises) e também facilitar a localização e identificação dos pontos mais importantesdo sistema.

Um exemplo de fluxograma pode ser visualizado a seguir. Nesse caso o seu desenvolvimento retrata uma etapa da produção e montagem de motores automotivos.

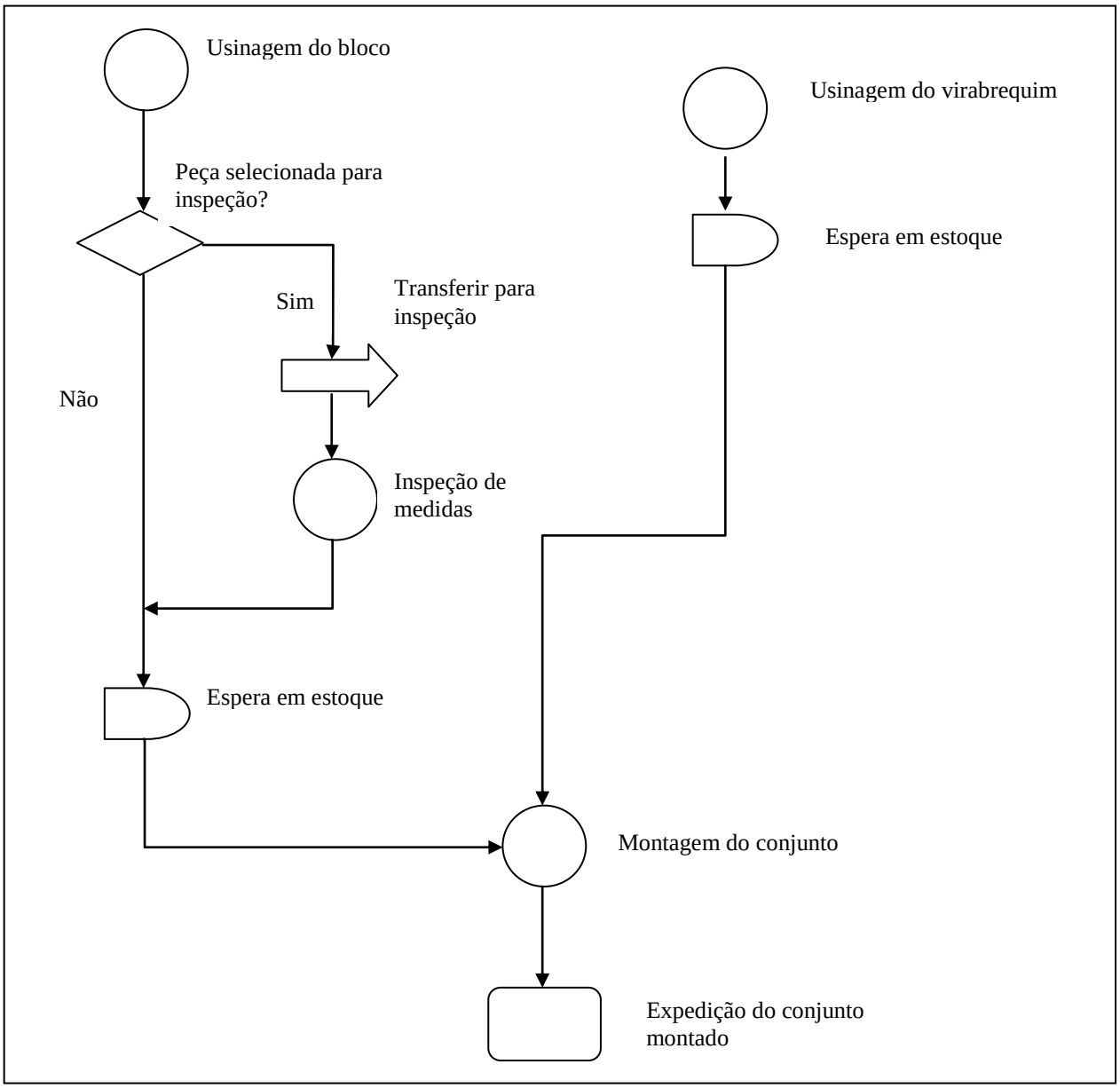

Figura 3.1 – Exemplo de fluxograma de blocos

Esse método permite o levantamento e análise de qualquer método administrativo pois se utiliza de símbolos e figuras corretamente convencionados de forma a facilitar e padronizar tal análise.

Entre todos os tipos existentes de fluxograma, o focado nesse trabalho de formatura será o chamadoFluxograma de Blocos. Ele é um fluxograma sintético que permite um maior detalhamento pois exibe os fluxos alternativos e permite estabelecer se o processo age de forma positiva ou negativa no sistema. Além de ser o tipo com a maior variedade de símbolos, o que o torna o mais versátil entre os utilizados, ele é também o mais utilizado pelas empresas, sendo útil para o levantamento de processos existentes ou até para descrever novos processos.

Nos fluxogramas a serem apresentados serão utilizadas as seguintes formas:

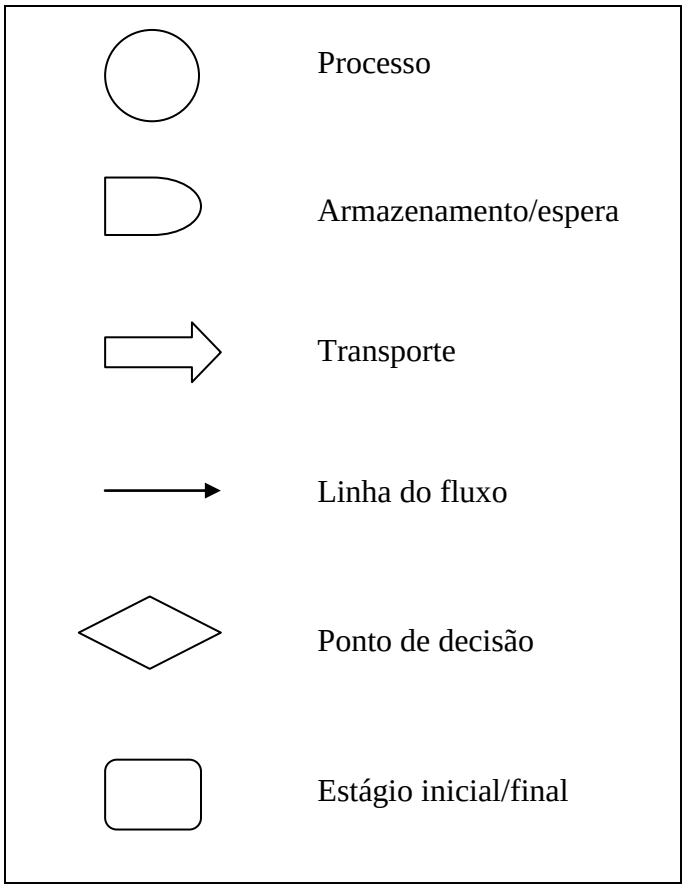

Figura 3. 2 – Legenda de formas utilizadas em fluxogramas de blocos

3.2.2 – Análise estatística e distribuições probabilísticas dos processos

O primeiro passo a ser realizado no estudo de caso é a visita de campo para obtenção de dados. Como citado, o fluxograma do sistema será determinado por tal visita. Porém, outro dado de grande importância que deve ser obtido, pelo mesmo método, são os históricos da produção, possibilitando assim a realização de uma análise estatística do problema.

Considerando que o caso estudado é um hospital, usualmente os dados são obtidos pelos prontuários médicos, que informam precisamente as datas de entrada e saída dos pacientes, a quantidade de procedimentos cirúrgicos efetuado e o dia de tal procedimento, a quantidade de pacientes que foram transferidos e até mesmo a quantidade de pacientes que faleceram.

É possível, portanto, realizar simples cálculos estatísticos para calcular as médias, variâncias e coeficientes para cada índice de estudo abordado. O formulário utilizado para esse primeiro estudo pode ser visualizado abaixo:

Média aritmética:

$$\bar{\mathbf{x}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}} \cdot \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \mathbf{x_i} \qquad (1)$$

Cálculo do desvio padrão:

$$\boldsymbol{\sigma} = \sqrt{\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{n}} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} (\mathbf{x_i} - \boldsymbol{\mu}^{\mathbf{2}})} \qquad (2)$$

Onde a média de um conjunto de números x_1, x_2, ... , x_n é denominado por $\bar{\mathbf{x}}$. Esse valor descreve a localização central do conjunto de dados. Já o desvio padrão determina a variabilidade desse mesmo conjunto. Dessa forma, um baixo valor de σ indica que os dados são em sua maioria próximos ao valor médio, enquanto um alto valor indica uma grande dispersão.

Outro parâmetro analisado é o coeficiente de variação queé uma medida de dispersão que se presta para a comparação de distribuições diferentes, usualmente denominado por c_e:

$$\boldsymbol{CV = c_e = \frac{\sigma}{\bar{x}}} \qquad (3)$$

Este parâmetro irá determinar a classe de variabilidade que pode ser determinada pela seguinte tabela.

Tabela 3.1 – Classes de variabilidade

$0 \leq c_e < 0{,}75$	Baixa variabilidade
$0{,}75 \leq c_e < 1{,}33$	Moderada variabilidade
$c_e \geq 1{,}33$	Alta variabilidade

Após todos os cálculos estatísticos é necessário obter os dados de entrada para a simulação computacional. No caso estudado a ferramenta escolhida é o software Rockwell Arena (mais precisamente a versão estudantil número 11). Tal software possui uma ferramenta auxiliar especializada tratar dados de entrada automaticamente (chamada *Input Analyzer*) que gera fórmulas estatísticas aproximadaspara representar o comportamento dos dados informados. Essa análise computacional dos dados de entrada do sistema permite determinar a distribuição que mais se ajusta à informação inicial necessária para osimulador do programa.

Diversos são os dados de entrada a serem analisados no estudo de caso. Entre eles podemos citar a entrada diária de pacientes no hospital, a quantidade de cirurgias realizadas por dia, o número de pacientes em estado de recuperação, entre outros.

O método de análise utilizado é o de histogramas. O software gera um expressão estatística que melhor estima a distribuição obtida (no caso a expressão com o menor valor-p).Na estatística clássica, o valor p, p-valor ou nível descritivo, é uma estatística utilizada para sintetizar o resultado de um testes de hipóteses. Formalmente, o valor-p é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema quanto aquela observada em uma amostra, assumindo verdadeira a hipótese nula.Entretanto, não necessariamente a distribuição que

apresentar tal indicativo deverá ser utilizada, cabendo ao examinador decidir se essa distribuição convém ou não para o caso estudado.

Um histograma é uma representação gráfica da distribuição de freqüências de uma massa de medições, normalmente representado em um gráfico de barras verticais. Ele demonstra a proporção de casos que se encaixam em cada categoria, as quais possuem um intervalo específico determinado. Dessa forma, a área total do gráfico representa 100% dos dados analisados.

Um exemplo de histograma extraído do programa *Input Analyzer* pode ser observado a seguir. Na figura (extraída do programa gerado para o hospital da cidade de Torino) é possível observar a distribuição da quantidade de pacientes que entram por dia. Na tabela das distribuições encontram-se as fórmulas estimadas para cada função probabilística e seus respectivos erros quadráticos.

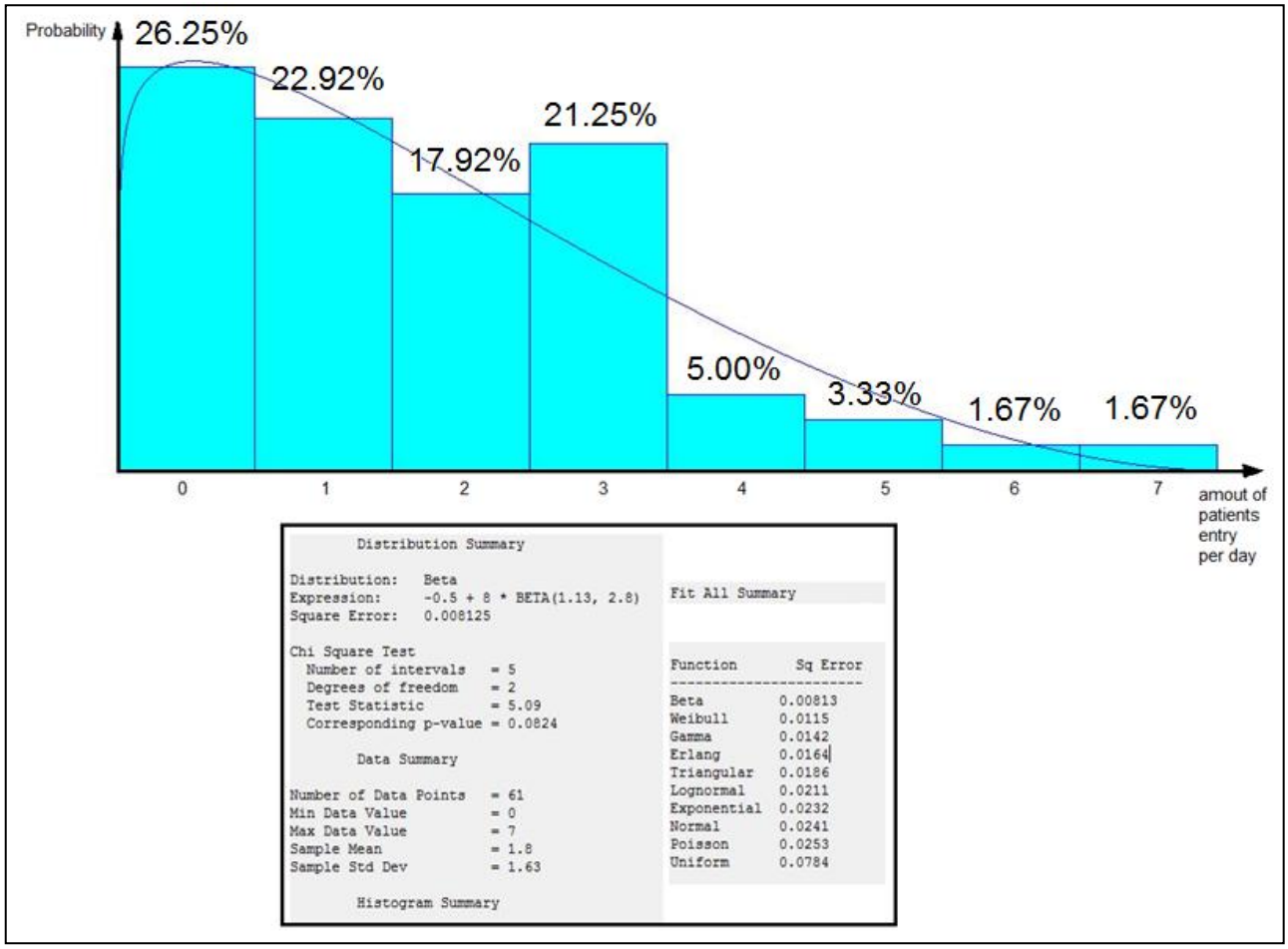

Figura 3.3 – Exemplo de histograma e testes de distribuição

No caso acima se observa que a melhor distribuição sugerida pelo programa é obtida com a seguinte equação:

*-0,5 + 8 * BETA(1,13 , 2,8)*

Diversas são as distribuições utilizadas pelo software, entre as mais comuns estão a Exponencial, Erlang, Beta, Weibull, Log-normal e Poisson.

A distribuição da probabilidade é uma função que determina probabilidades para eventos ou proposições. Para qualquer conjunto de eventos ou proposições existem muitas maneiras de determinar probabilidades, de forma que a escolha de uma ou outra distribuição é equivalente a criar diferentes hipóteses sobre os eventos ou proposições em questão.

Há várias formas equivalentes de se especificar uma distribuição de probabilidade. Talvez a mais comum seja especificar uma função densidade da probabilidade. Daí, a probabilidade de um evento ou proposição é obtida pela integração da função densidade.

A função distribuição pode ser também especificada diretamente. Em uma dimensão, a função distribuição é chamada de função distribuição cumulativa. As distribuições de probabilidade também podem ser especificadas via momentos ou por funções características, ou por outras formas.

Uma distribuição é chamada de distribuição discreta se for definida em um conjunto contável e discreto, tal como o subconjunto dos números inteiros; ou é chamada de distribuição contínua se tiver uma função distribuição contínua, tal como uma função polinomial ou exponencial. A maior parte das distribuições de importância prática são ou discretas ou contínuas, porém há exemplos de distribuições que não são de nenhum desses tipos.

Dentre as distribuições discretas importantes, pode-se citar a distribuição uniforme discreta, a distribuição de Poisson, a distribuição binomial, a distribuição binomial negativa e a distribuição de Maxwell-Boltzmann. Dentre as distribuições contínuas estão a distribuição Normal, a distribuição Gama, a distribuição t de Student e a distribuição Exponencial.

A distribuição exponencial é um tipo de distribuição contínua de probabilidade, representada por um parâmetro específico e que descreve eventos independentes. Já a Erlang, que também é continua, possui um valor para todos os números maiores que zero, valor esse estabelecido de acordo com o parâmetro de forma da curva. A distribuição de Weibull é usualmente plotada em uma escala específica (gráfico de Weibull), no qual a função é representada por uma reta. Esse caso demonstra boa representaçãode falha de equipamentos, necessitando de menos ocorrências que outras distribuições. Por fim, a distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade discreta. Ela expressa, por exemplo, a probabilidade de certo número de eventos ocorrerem num dado período tempo, caso estes ocorram com uma taxa média conhecida e caso cada evento seja independente do tempo decorrido desde o último evento.

3.3 – Introdução ao software

Uma breve introdução ao simulador de processos Arena versão 11 será apresentada. Software esse produzido pela Rockwell Automation e que usa o processamento SIMAN para a linguagem de simulação.

Como descrito anteriormente, os parâmetros de entrada necessários para o software são: conhecimento do fluxograma do sistema e das distribuições estatísticas de cada processo (obtido por exemplo pelo *Input Analyzer*).

O passo a seguir é a construção feita pelo usuário utilizando módulos que representam os processos envolvidos no sistema (gerando a lógica do fluxo). Linhas de fluxo indicam os possíveis caminhos entre cada etapa e conectam os processos. Importante notar que os módulos realizam ações específicas utilizando não só as entidades que são processadas mas também os recursos para o processamento baseado no tempo do sistema. Como saída do sistema é possível obter o tempo de ciclo, a utilização dos recursos e o *Work in Process* (*WIP*) por exemplo.

Tem-se, a seguir, uma figura representativa da janela de processos para o software. Nela é possível ver exemplos de gráficos funções, as quais podem ser selecionadas pelo programador.

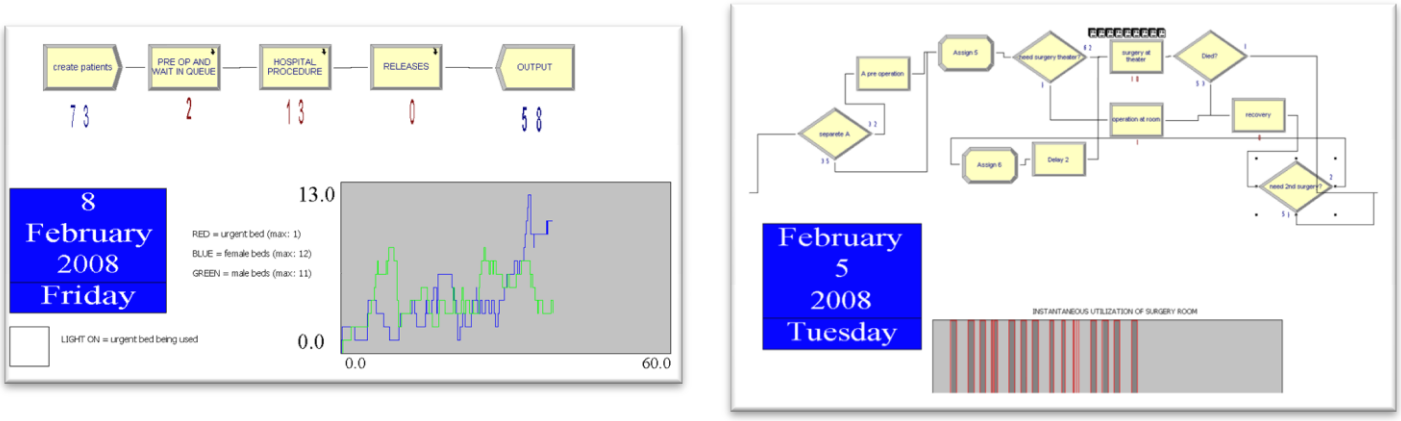

Figura 3.4 – Exemplos da janela de processos do software

Um correto funcionamento do software permite que situações adversas sejam modeladas, podendo-se analisar, assim, o comportamento do sistema. Tal consideração é de extrema utilidade principalmente pelo caso tratado no estudo ser um hospital, onde falhas nos processos gera inconveniências aos pacientes, custos desnecessários e uma utilização de recursos abaixo do esperado.

A lógica computacional do programa aborda o método tradicional de filas simulando um espaço de estados discreto. Cada entidade do sistema ocupa um estado específico do sistema de acordo com o tempo, gerando assim informações sobre não só o seu fluxo mas como também referentes ao tempo de atuação em cada processo. Importante porém notar que, caso não estipulado pelo modelista, o modelo considera que as variáveis de estado mudam instantaneamente entre diferentes estados do tempo, denominados eventos (Kelton & Sadowski, 2007).

Os componentes básicos utilizados pelo modelo podem ser resumidos como sendo:

1. Entidades: os elementos a serem simulados no sistema (no caso estudado serão os pacientes que podem ser separados em diversas classes, como pacientes normais, pacientes graves, etc)

2. Atividades: operações e ações que transformam o estado da entidade (por exemplo a pré-análise hospitalar, a cirurgia, uma complicação, a determinação da classe do paciente, etc)
3. Estado do sistema: conjunto de variáveis que descreve o sistema em determinado tempo da simulação (usualmente o número de recursos utilizados para cada processo ou entidade, ou o número de elementos em armazenamento ou filas)
4. Recursos: elementos do sistema que processam as entidades sendo consumidos no decorrer do tempo de acordo com a sua utilização (no caso do hospital eles representam os leitos, os médicos, as salas cirúrgicas, entre outros)

Como resultado da simulação é possível obter por exemplo a utilização (u) de cada processo específico. Obtida pela fórmula a seguir:

$$\boldsymbol{u = \frac{TH}{TH_{max}} = \frac{WIP}{Capacidade}} \qquad (4)$$

Onde se tem que:

$$\boldsymbol{TH}: \boldsymbol{Throughput}$$

$$\boldsymbol{TH_{max}}: \boldsymbol{Maximum\ Throughput}$$

$$\boldsymbol{WIP}: \boldsymbol{Work\ in\ Process}$$

Throughput é, simplificadamente, a quantidade de dados transferidos de um processo a outro, ou a quantidade de dados processados em um determinado espaço de tempo. O *throughput* pode ser traduzido como a taxa de transferência efetiva de um sistema a qual pode ser menor que a taxa de entrada devido às perdas e atrasos no sistema.

Já o *Work in Process* é dado pela multiplicação do tempo de um ciclo (em inglês chamado de *cycle time*, ou *CT*) e o *throughput* já determinado anteriormente. Temos então:

$$\boldsymbol{WIP = CT \times TH} \quad (5)$$

Ele determina uma ação que já foi inicializada porém ainda não completada. No caso da engenharia, é o inventário que já começou a ser trabalhado (não servindo mais como matéria prima para o fluxo) mas que ainda não é considerado um produto final.

A grande vantagem de simulações de eventos discretos deriva da facilidade de adaptar o modelo físico a um sistema de filas, que incorpora delimitações de capacidades e limitações no uso dos recursos, à simulação do sistema. Realizando o mesmo de forma simples e eficiente. É possível então, para o caso estudado, levar em consideração a alta variabilidade do sistema hospitalar, aliando a mesma com a flexibilidade de se mudar o sistema e testar novos parâmetros.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1– Foco do estudo

Como já citado anteriormente, a visita de campo se demonstra como o passo inicial para o estudo de caso aqui tratado. Dados devem ser extraídos corretamente de forma a garantir um nível de confiança na simulação, possibilitando que o modelo computacional retrate fielmente o modelo real.

Diversas visitas ao Hospital Universitário da USP foram realizadas e inúmeros dados e informações foram obtidas não só através de armazenamentos de dados dos sistemas como também através de argüições diretas com responsáveis da área. Serão apresentadas a seguir todas as informações relevantes obtidas, bem como suas análises e comparações construtivas com o semelhante caso estudado na Itália.

Importante porém é definir o foco do estudo. Sabendo-se que um hospital se divide em diversas áreas e departamentos é necessário estipular o nicho que será estudado. Uma vez que o estudo no hospital italiano se focou no departamento de cirurgias oncológicas que possui cerca de 30 leitos e atendia aproximadamente 125 pacientes por trimestre, no caso do HU-USP tentou-se delimitar uma área de semelhantes características e porte, para garantir uma futura comparação entre o desempenho de ambos.

Logo, foi estipulado, com o auxílio dos médicos e coordenadores do Hospital Universitário, que o departamento a ser abordado será o Centro Cirúrgico, que foca em cirurgias eletivas (reservadas pelos pacientes), considerando devidamente as suas ramificações.

4.2– Dados gerais da planta estudada

O Centro Cirúrgico do HU-USP é responsável por atender e realizar cirurgias gerais pré agendadas e de urgência aos pacientes atendidos em tal entidade, sendo a maioria dos casos cirurgias eletivas onde houve uma pré análise dos pacientes a serem atendidos, e apenas

eventualmente casos urgentes e inesperados ocorrem. Dessa forma é possível tratar o processo de estadia hospitalar semelhantemente a um processo industrial, devido à alta previsibilidade do tempo de operação e de recuperação esperado para cada tipo de paciente.

Como o foco principal do Centro Cirúrgico são as cirurgias em si, é necessário primeiramente estudar como se dividem as salas operatórias do hospital. Ao total são cinco centros operatórios (ou também chamados de salas cirúrgicas) divididas entre todos os departamentos. Porém, três dessas são reservadas somente para o Centro Cirúrgico, sendo as outras duas compartilhadas pela Ortopedia, Pediatria, Ginecologia e Clínica Dentária. Além das cinco salas principais existem duas salas denominadas "táticas" cuja função é operar uma vez que todas as outras estejam ocupadas, o que eventualmente ocorre. Importante então notar que essas salas táticas podem ser utilizadas por qualquer departamento do hospital, não possibilitando a reserva. Na figura seguinte ilustra-se essa descrição do departamento.

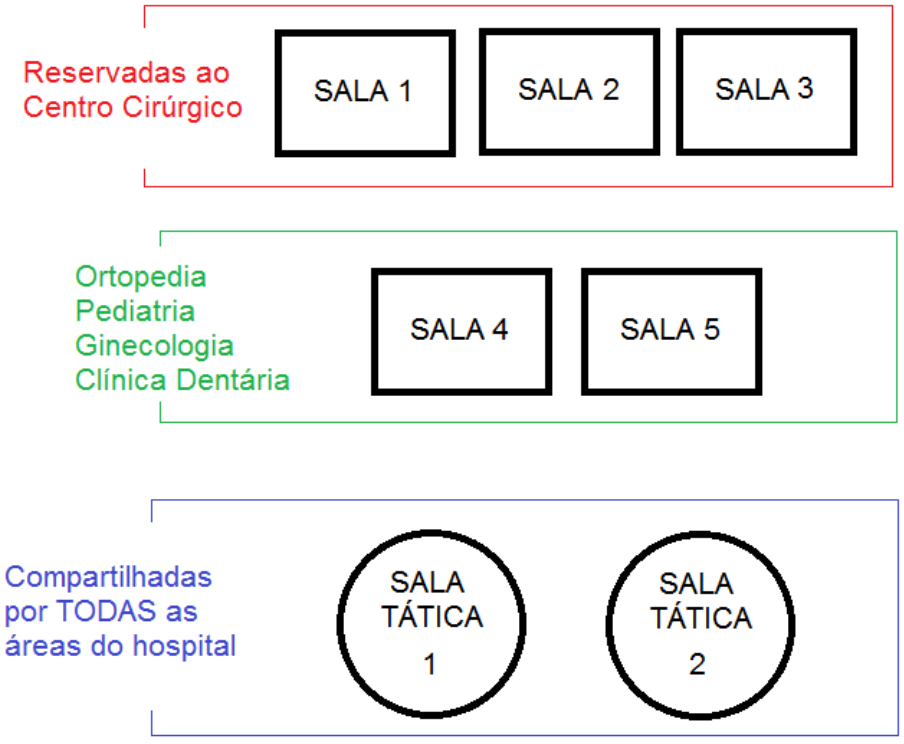

Figura 4.1 – Representação esquemática das salas de cirurgias do hospital

Para o caso das cirurgias eletivas do Centro Cirúrgico, foco desse trabalho, as operações são realizadas apenas de segunda a sextas feiras. Porém, pacientes que estejam em repouso ou observação durante o fim de semana continuam recebendo atendimento médico.

A maioria dos casos de urgência e pronto socorro são enviados para salas táticas, portanto não afetam o caso das cirurgias do Centro Cirúrgico, influenciando pouco o funcionamento desse processo. Porém, pacientes que estão dentro da Clínica Médica (atendimento de pacientes que inicialmente não possuíam cirurgias agendadas) podem vir a entrar no processo do Centro Cirúrgico. Um exemplo é o paciente que requer atendimento hospitalar para tratar algum trauma ou dor. Este inicialmente será tratado pela clínica médica, porém uma análise posterior pode indicar que o mesmo necessite de uma cirurgia. Fazendo com que esse adentre no Centro Cirúrgico como um caso de cirurgia inesperada (sem reserva preliminar).

Constantemente ocorrem transferência de pacientes do Centro Cirúrgico para a zona de UTI (Unidade de Tratamento Intensivo). Tanto pacientes que sofreram complicações durante uma cirurgia e devem entrar em observação intensiva, como pacientes que estão na UTI e devem realizar um novo procedimento cirúrgico devem ser estudados pois afetam diretamente o fluxo dos processos da planta estipulada.

Já os dados físicos do departamento foram obtidos através de visitas de campo. Observou-se a disponibilidade de 39 leitos para o Centro Cirúrgico. Divisão essa entre leitos para homens e para mulheres (20 camas femininas, 19 camas masculinas). Dentro da área reservada ao Centro Cirúrgico também existem 8 leitos reservados à Ortopedia. Porém esses não se enquadram no estudo uma vez que esses pacientes são tratados em diferentes salas cirúrgicas e não interferem no processo estudado.

Importante notar que a maioria dos pacientes atendidos em cirurgias eletivas já realizaram pré análises, não havendo a necessidade de se realizar testes preliminares (como exames de ultrassonografia, raios-X, testes de urina, etc). Porém, eventualmente algum paciente possui testes não atualizados, o que gera um atraso em seu processo cirúrgico, sendo necessário a coleta desses exames a fim de prosseguir com o seu fluxo.

Por outro lado, todos os pacientes são submetidos a visitas preliminares tanto do médico cirurgião como do anestesista, não havendo exceções. Tal procedimento gera certo atraso no

processo cirúrgico. No caso do Hospital Universitário da USP (que é uma entidade pública), por exemplo, para garantir esse atendimento é requisitado aos pacientes que realizem a hospitalização com um dia de antecedência da data da cirurgia. Interessante nesse ponto é notar que hospitais da rede privada evitam essa espera e forçam a realização dessas visitas no mesmo dia do procedimento cirúrgico, de modo a reduzir a estadia dos pacientes, diminuindo assim os recursos hospitalares utilizados.

Já uma comparação do HU-USP com o *Alianza Ospedaliero* da Itália, foi interessante notar que o último utilizava um sistema de ranking entre os pacientes, estipulando aqueles cujo procedimento era prioritário a respeito de outros. O ranking era composto por letras (A, B, C e U) onde U representava pacientes Urgentes e que possuíam a maior prioridade. Já A, B e C eram pacientes normais com diferentes prioridades, sendo o A o com maior necessidade de adentrar ao hospital e o C o de menor Já no caso brasileiro aqui estudado, a divisão ocorre apenas entre pacientes Urgentes e Normais, onde Urgentes devem receber prioridades nas filas cirúrgicas.

Nota-se, também, que foram considerados como *outliers* (ou pontos fora do padrão) os casos em que pacientes foram internados no Centro Cirúrgico mas que por alguma razão não realizaram a cirurgia. Esses casos são raros e não foram considerados como impactantes nesse estudo de otimização dos processos (o percentual de outliers foi aproximadamente 0,7%).

Utilizando os dados acima obtidos e com a ajuda dos profissionais responsáveis pelo departamento foi possível criar o fluxograma de processos da planta estudada. O que será apresentado no tópico a seguir.

4.3 – Fluxograma de processos

Indispensável para o futuro desenvolvimento do software é o fluxograma de processos estudado. Como já comentado, a área analisada é o Centro Cirúrgico. Porém, devido a sua interligação com outros dois departamentos (Clínica Médica e UTI) é necessário uma visão abrangente do fluxo geral do sistema.

A seguir na figura 4.3é apresentado de forma simples e clara o caminho ao qual pacientes são submetidos dentro desses três departamentos estudados, sendo eles: Centro Cirúrgico, Clínica Médica e UTI.

Ressaltamos que o departamento de UTI indicado não é restrito ao Centro Cirúrgico. Obviamente a Unidade de Tratamento Intensivo do HU-USP serve todas as áreas do hospital, porém iremos analisar apenas os leitos que são reservados ao departamento de cirurgias.

A legenda para os blocos utilizados se encontram abaixo:

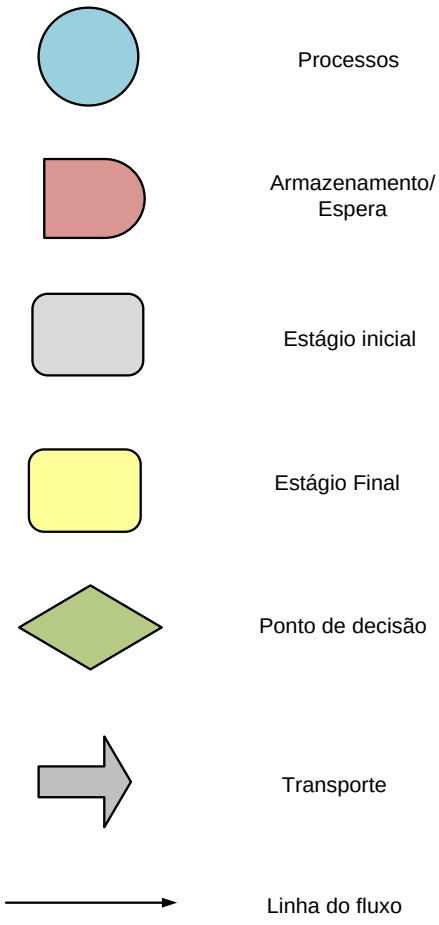

Figura 4.2 – Legenda de blocos utilizada para a planta

E na próxima página encontra-se o fluxograma de processos da planta estudada.

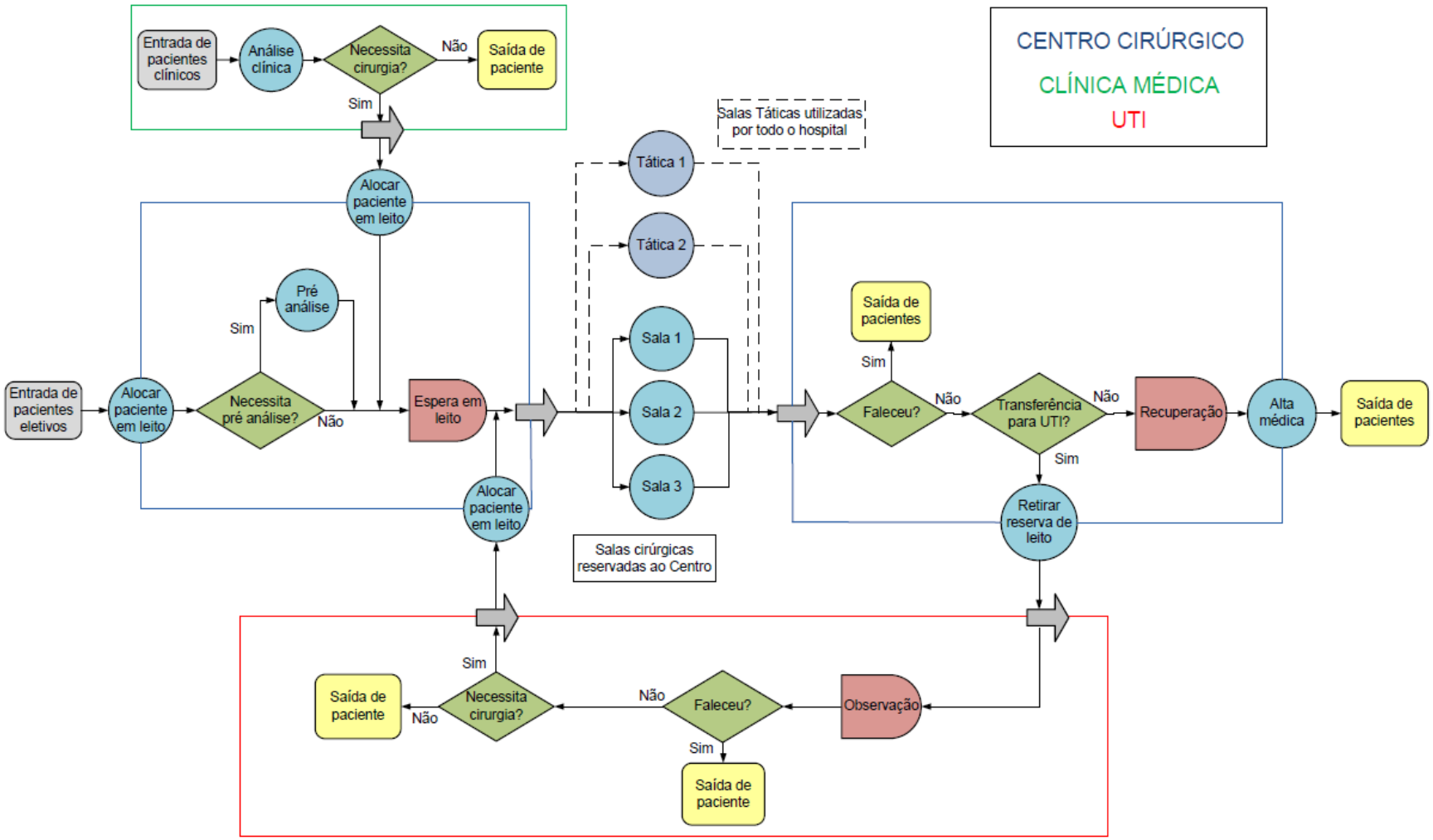

Figura 4.3 – Fluxograma das áreas analisadas do hospital

É possível observar interessantes aspectos a partir do fluxograma obtido. Primeiramente observa-se que a entrada de pacientes se dá de duas maneiras. Existem agendamentos de cirurgias eletivas que possibilitam que o paciente entre diretamente no Centro Cirúrgico (sendo a maioria dos casos). Porém há aqueles enfermos que são transferidos da Clínica Médica e entram no fluxo após o estágio de pré análise, uma vez que todos os exames são realizados dentro da Clínica Médica e tais pacientes devem entrar no Centro Cirúrgico apenas para realizar a cirurgia.

Após a internação e a visita dos médicos e anestesistas (representada como uma espera em leito) é necessário alocar os pacientes a uma das possíveis salas cirúrgicas cujo funcionamento já foi resumido anteriormente.

Por fim, os pacientes retornam aos leitos do Centro Cirúrgico para uma recuperação final e aguardam o recebimento da Alta Médica que garante sua saída do hospital. É interessante notar também os pontos de entrada e saída de pacientes do Centro Cirúrgico para a UTI. Temos que a saída ocorre momentos após a cirurgia e o retorno (para realizar outra operação) é feito diretamente na fila de espera para ocupar uma das salas de operação.

4.4 –Utilização dos recursos

Para indicar com melhor clareza a utilização dos recursos no sistema pode-se utilizar a representação gráfica de centros de serviço, largamente utilizadas em teoria das filas.

Para tal, indicado na figura 4.4 está a rede de filas (conjunto de entidades interligadas que oferecem serviços) para o caso estudado. Nessa rede é possível notar os seguintes componentes:

- Centro de serviço - Representa os recursos do sistema, compreendendo um ou mais servidores e um conjunto de clientes que esperam pelo serviço.
- Fila - Representa os clientes que estão esperando pelo serviço, juntamente com os que estão sendo atendidos pelos servidores.
- Fila de espera - Somente os clientes que estão aguardando pelo serviço.

Dentro de cada centro de serviço é representado o número de servidores (atente para o caso de multiservidores que estão representados nos casos de leitos masculinos e femininos). Temos

também a representação de um centro de atraso (ou servidor infinito) para o caso da Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) pois se sabe que esse departamento não possui restrições no número de leitos.

Já foi definido que o processo de chegada de pacientes apresenta um comportamento estocástico, ou seja, as chegadas ocorrem no tempo e no espaço de acordo com as leis da probabilidade. Logo, é possível que clientes entrem simultaneamente (chegada em batch) no sistema.Tais entradas podem afetar diretamente reação de cada cliente na fila, bem como o seu atendimento. Porém, como estamos tratando de um ambiente hospitalar, partiremos do pressuposto que o cliente irá esperar o tempo necessário, independentemente do tamanho da fila, para ser atendido, o que difere se comparado a outros casos de filas onde o usuário pode analisar o tempo de espera e optar por sair do sistema em determinado momento.

Nesse caso, iremos também desconsiderar qualquer correlação do padrão de chegada de clientes em função do tempo, o que significa que no decorrer das horas do dia a chegada de pacientes irá manter o mesmo padrão. Tal simplificação facilitará a modelagem e simulação computacional do sistema e será utilizada também para a distribuição de probabilidade do tempo de serviço, sendo válidas as mesmas considerações.

O estado do serviço no caso estudado é independente do tamanho da fila, ou seja, o processo de atendimento não depende do número de clientes esperando pelo serviço. No caso oposto existiria um estado dependente onde o processo de atendimento mudaria de acordo com o número de clientes na fila. Por exemplo, um servidor pode trabalhar mais rápido quando a fila aumenta ou, ao contrário, trabalhar mais lento caso haja menor demanda.

Sabe-se também que toda e qualquer experiência adquirida com um serviço repetitivo pode aumentar a produtividade de um operador (sejam eles um médico, uma enfermeira ou atendente). Tal fato é comprovado pelo estudo da “curva de aprendizagem”. Ao mesmo modo sabe-se que o cansaço pode diminuir a mesma produtividade. Iremos, por motivo de simplificação da simulação, considerar que não haja variação no atendimento ao longo dos meses, mesmo tendo o conhecimento que o mesmo não é estacionário.

Representa-se então, na figura seguinte, os servidores e recursos do sistema estudado.

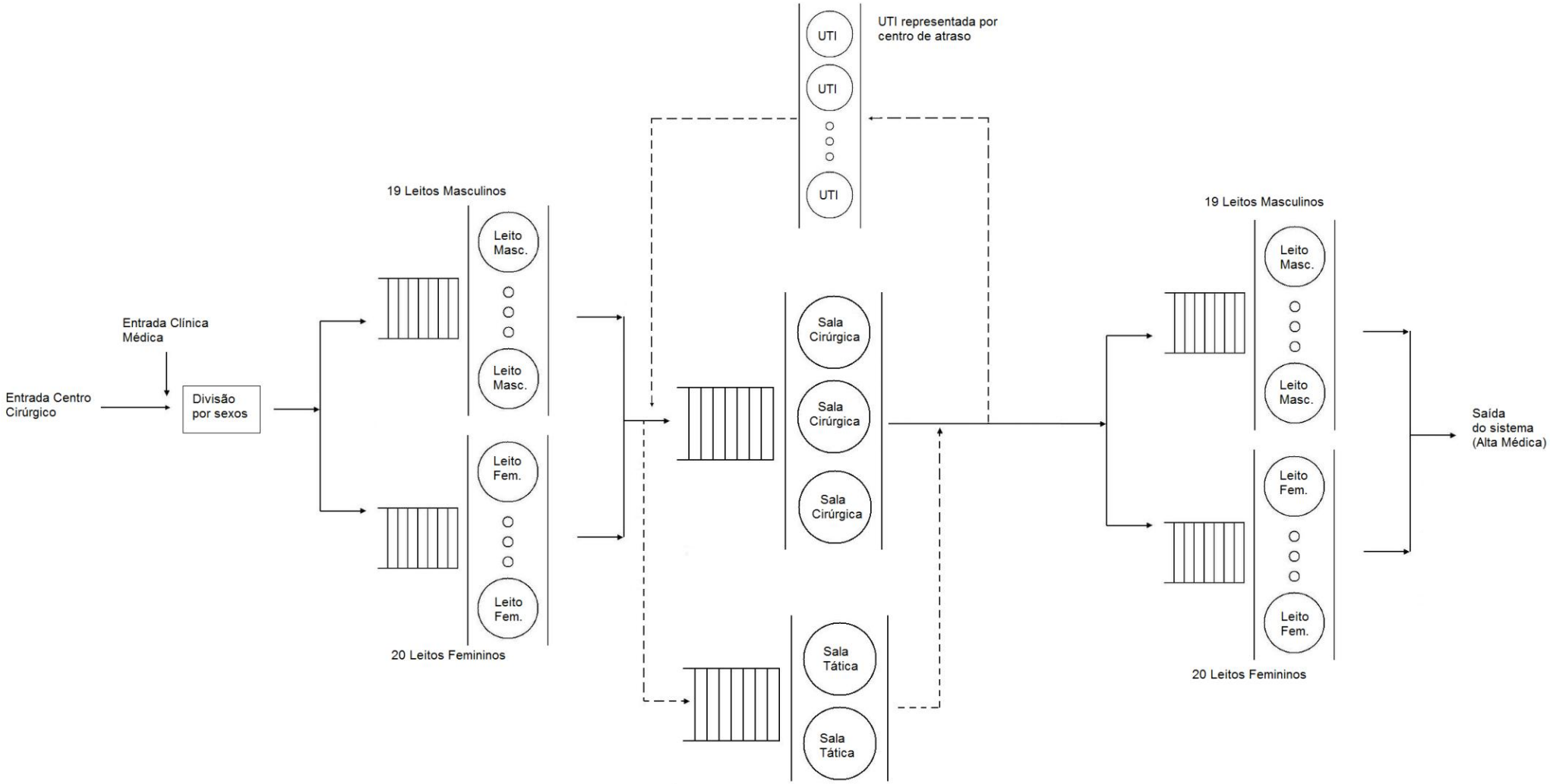

Figura 4.4 – Centros de serviços do sistema

4.5–Estudo analítico

As visitas ao departamento estudado possibilitaram a coleta de dados numéricos armazenados internamente ao hospital. As respectivas tabelas obtidas estão apresentadas no Anexo B desse relatório. Nesse capítulo serão abordados os dados cruciais obtidos por tal coletânea de informação, assim como análises da média e variância do sistema.

Primeiramente é conveniente delimitar o período estudado. Foram obtidos dados de 3 meses referentes ao ano de 2010, sendo o primeiro dia coletado 01/02/2010 e o último 30/04/2010. Ao todo a clínica cirúrgica realizou 1126 cirurgias cada qual em pacientes diferentes. Com tais valores é possível estimar uma média de 375 pacientes por mês, o que indicaria grosseiramente 12 pacientes por dia. Porém tal análise não é confiável, principalmente devido à dispersão das datas em que são realizadas as cirurgias, sendo sua maioria realizada apenas durante os dias da semana. Estudos serão realizados de forma a estudar fielmente esses dados.

Verificou-se também uma divisão entre 532 pacientes femininos (47,25%) e 594 masculinos (52,75%) o que não indica significativa diferença entre os ambos. Portanto, como futura entrada no software será utilizado uma divisão igualitária entre os sexos (50% para cada).

Já com relação às idades dos pacientes observou-se uma grande dispersão, com o paciente mais jovem tendo apenas 3 meses de idade e o mais idoso com 96 anos de idade. A seguir é apresentada a tabela referente às idades:

Tabela 4.1 – Divisão de pacientes em função da faixa etária

Faixa Etária	***Quantidade de pacientes atendidos***	***Porcentagem***
Menos de 20 anos	221	20%
Entre 20 e 40 anos	303	27%
Entre 40 e 60 anos	308	27%
Entre 60 e 80 anos	236	21%
Acima de 80 anos	58	5%

É interessante realizar também um estudo entre o tempo de estadia dos pacientes e a sua faixa etária, para determinar se existe alguma correlação entre ambos os fatores. Tal análise será estudada no item 4.7.

De grande importância é a análise obtida referente ao tipo de cirurgia realizada, mais precisamente se é uma cirurgia eletiva (previamente programada) ou emergencial. De acordo com as tabelas fornecidas pelo departamento cirúrgico, 795 operações foram programadas, contra 331 emergenciais. Temos, porém, que as cirurgias emergênciascompreendem todas as que se enquadram fora do programa eletivo, sendo elas os pacientes provenientes da clínica médica ou da UTI. Infelizmente o departamento não soube indicar a exata divisão dessas operações de emergência, portanto para o estudo computacional será utilizado um valor de divisão referente ao obtido, com 70% de cirurgias eletivas e 30% de cirurgias de urgência.

Por fim, uma análise profunda referente ao fluxo dos pacientes pode ser realizada, uma vez que as tabelas de dados possuem não somente as proveniências dos pacientes assim como o seus destinos antes e após o procedimento cirúrgico. Tal resumo de informação pode ser observado nas tabelas que seguem.

Tabela 4.2 – Proveniência dos pacientes atendidos no Centro Cirúrgico

	Departamento	*Quantidade de pacientes*	*Porcentagem por departamento*	*Porcentagem da área*
Agendamento Cirúrgico	Clínica Cirúrgica	486	43,16%	73,62%
	Alojamento conjunto	66	5,86%	
	Hospital dia	240	21,31%	
	Pediatria	37	3,29%	
Clinica Médica	Clinica médica	14	1,24%	23,18%
	PS adulto	196	17,41%	
	PS infantil	51	4,53%	
UTI	Semi intensiva	4	0,36%	3,20%
	UTI	32	2,84%	

Tabela 4.3 – Destino dos pacientes após cirurgia realizada pelo Centro Cirúrgico

	Departamento	*Quantidade de pacientes*	*Porcentagem por departamento*	*Porcentagem da área*
Agendamento Cirúrgico	Alojamento conjunto	68	6,04%	87,57%
	Clínica Cirúrgica	580	51,51%	
	Hospital dia	253	22,47%	
	Pediatria	85	7,55%	
Clinica Médica	Clinica médica	9	0,80%	0,80%
UTI	Semi intensiva	51	4,53%	11,63%
	UTI	80	7,10%	

Como verificado nas tabelas acima, temos que a proveniência dos pacientes se dá basicamente de 3 departamentos, sendo a maioria oriunda do próprio Centro Cirúrgico (73,62%) ou da Clínica Médica (23,18%) e também da Unidade de Tratamento Intensiva (UTI com 3,20%). Já o destino final indica que a maioria dos pacientes retorna ao Centro Cirúrgico, comprovado pelo aumento com relação à proveniência (novo valor de 87,75%).

Temos um valor quase desprezível (aproximadamente 0,80%) de casos onde o paciente retorna para a Clínica Médica – argüições com médicos responsáveis indicou que esse valor possivelmente é oriundo de casos onde o paciente não estava preparado para realizar o procedimento cirúrgico, ou até mesmo seu estado clínico era insatisfatório e um número maior de análises deveriam ser realizadas para garantir uma eficiência cirúrgica. Consideraremos esses casos como sendo *outliers* ao processo (casos desconsiderados devido a sua irrisória probabilidade de acontecimento, onde eliminá-los da análise computacional não afeta de forma significativa os resultados finais analisados).

Obviamente, pacientes provenientes do Pronto Socorro (nas tabelas indicados com a sigla PS) não retornam ao mesmo, uma vez que esse departamento faz parte da clínica médica e tem como função atender casos de urgência e selecionar aqueles que devem realizar procedimentos cirúrgicos.

As tabelas anteriores comprovam os dados já obtidos que indicam que aproximadamente 70% das cirurgias são previamente programadas (são aquelas provenientes do Centro Cirúrgico e no caso apresentado indicou 73,62%) garantindo uma confiabilidade na extração dos dados.

É importante também notar que aproximadamente 2% dos pacientes vieram a falecer. A maioria decorrente de complicações pois foi indicado que o último departamento em que o paciente esteve era a UTI, uma unidade voltada a casos excepcionais e que necessitam de atendimento diversificado.

Por fim, é possível também extrair das tabelas que certos pacientes realizaram mais de um procedimento cirúrgico, muitas vezes fora do programado, o que também indica possíveis complicações durante a cirurgia principal. Ao total, 9% dos pacientes realizaram 2 cirurgias e apenas 1% realizou 3 cirurgias ou mais. Dessa forma é possível desconsiderar o caso de mais de 3 cirurgias, porém aqueles com 2 cirurgias não podem ser descartados ao se realizar a análise computacional dos processos.

Temos a seguir uma tabela que ilustra todos os dados significativos extraídos do Hospital Universitário da USP.

Tabela 4.4 – Dados gerais extraídos do Hospital

	Quantidade de cirurgias realizadas por dia	*Tempo de espera entre Entrada e cirurgia (em dias)*	*Tempo de repouso - espera entre cirurgia e alta (em dias)*	*Tempo total de internação(em dias)*
Média	12,64	1,94	2,40	3,34
Desvio Padrão	6,87	1,34	1,67	2,12
Coeficiente de Variação	0,54	0,69	0,70	0,48

4.6– Teorema de Little

Para futuramente comparar os valores extraídos do software com o caso real, devemos calcular uma estimativa da utilização. Para tal iremos utilizar o teorema de John Little e as fórmulas identificadas nos capítulos introdutórios desse relatório. Onde temos que:

$$\boldsymbol{u = \frac{TH}{TH_{max}} = \frac{WIP}{Capacidade}} \quad (6)$$

A capacidade máxima do Centro Cirúrgico é conhecida sendo 40 leitos. Para obtermos então o *Work in Progress*, utilizamos:

$$\boldsymbol{WIP = CT \times TH} \quad (7)$$

Onde *CT* é o tempo de ciclo e *TH* é o *Thrughput*, ambos já definidos anteriormente. Seus valores são respectivamente:

$$\boldsymbol{TH = \frac{1100}{90} = 12,22} \quad (8)$$

$$\boldsymbol{CT = 3\ dias} \quad (9)$$

Logo, utilizando o obtido (8) e (9) em (7) resulta em:

$$\boldsymbol{WIP = 36,66} \quad (10)$$

Substituindo então em (6) se obtém finalmente:

$$\boldsymbol{u = \frac{36,66}{40} = 91,65\%} \quad (11)$$

Temos, por estimativa, que o departamento cirúrgico utiliza em média 91% de seus leitos. Tal valor deve ser confirmado por estudos de alocação (realizados analisando dados históricos do

departamento – não obtidos para esse relatório) e também pode ser testado utilizando a simulação computacional (o que será estudado em capítulos futuros desse relatório).

4.7– Dispersão das datas cirúrgicas

A seguir pode-se analisar uma distribuição gráfica da quantidade de cirurgias realizadas de acordo com o decorrer dos dias.

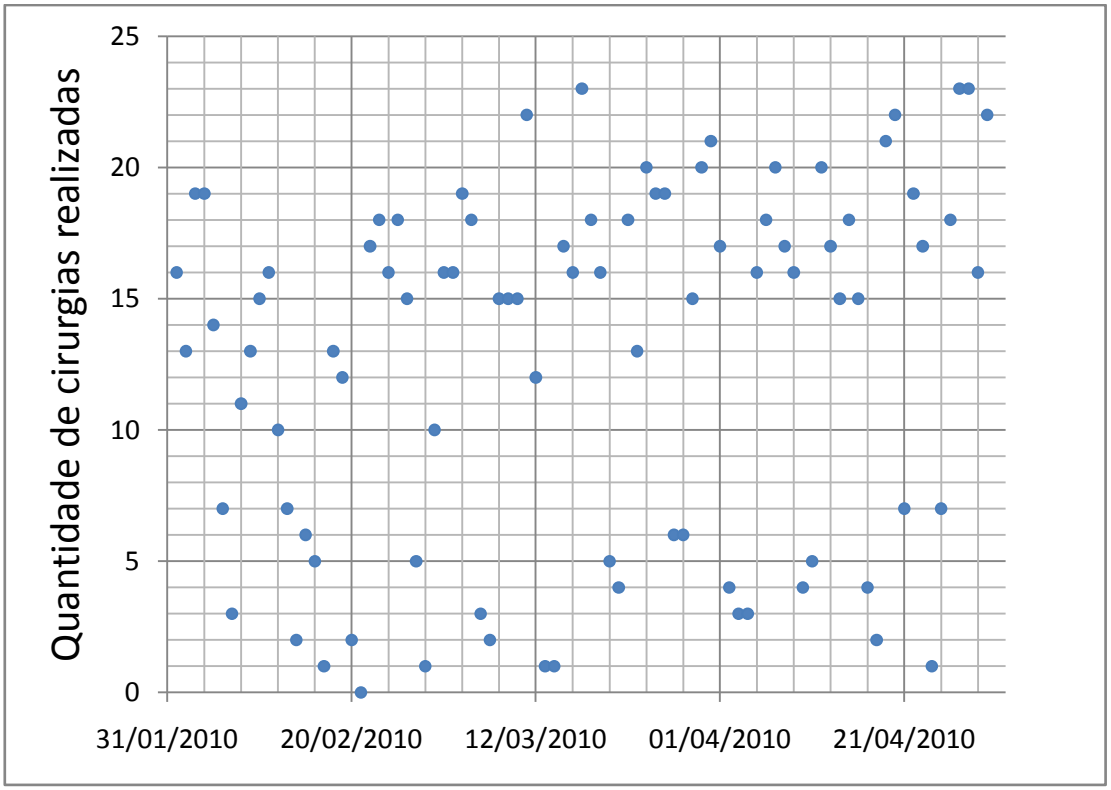

Figura 4.5 – Dispersão da quantidade de cirurgias ao longo do período analisado

Não se encontra nenhum padrão de acordo com as datas, o que era esperado. E se tem que é difícil obter uma média que seja confiável nesses caso devido ao seu alto desvio padrão.

Devido a essa dispersão fora do padrão, houve uma discussão referente aos dias em que eram distribuídas as cirurgias. O problema principal derivava do fato de cirurgias realizadas no

fim de semana serem consideradas na análise e entrarem das tabelas de datas utilizada para o estudo. Porém, soube-se pelos médicos responsáveis pelo departamento Centro Cirúrgico do HU-USP que as mesmas eram apenas casos emergenciais, não se enquadrando no estudo de pacientes eletivos. Tal conclusão levou a necessidade de se filtrar os dados de forma a estudar apenas os casos eletivos. Obtemos então novos valores, dados pela tabela seguinte.

Tabela 4.5 – Dados refinados dos processos cirúrgicos

Média	16,01 cirurgias/dia
Desvio Padrão	4,52
C.V.	0,28

Percebe-se considerável aumento na média de operações realizadas por dia, bem como uma redução no desvio padrão, indicando uma melhor distribuição. Nesse ponto é interessante também notar que estudos de casos estocásticos (como o de um centro cirúrgico) raramente apresenta índices compatíveis a casos determinísticos como os encontrados em processos industriais de manufatura, onde coeficientes de variabilidade como o apresentado nesse caso seriam inaceitáveis devido à alta variância de resultados. Porém, a alta imprevisibilidade existente em um ambiente hospitalar leva a tal dispersão, o que dificulta consideravelmente futuras estimações.

Interessante também é analisar a dispersão entre os dias da semana, buscando assim conferir se há um padrão de dispersão entre as operações cirúrgicas. Analisou-se a média de processos cirúrgicos realizados para cada dia da semana, apresentado no gráfico a seguir.

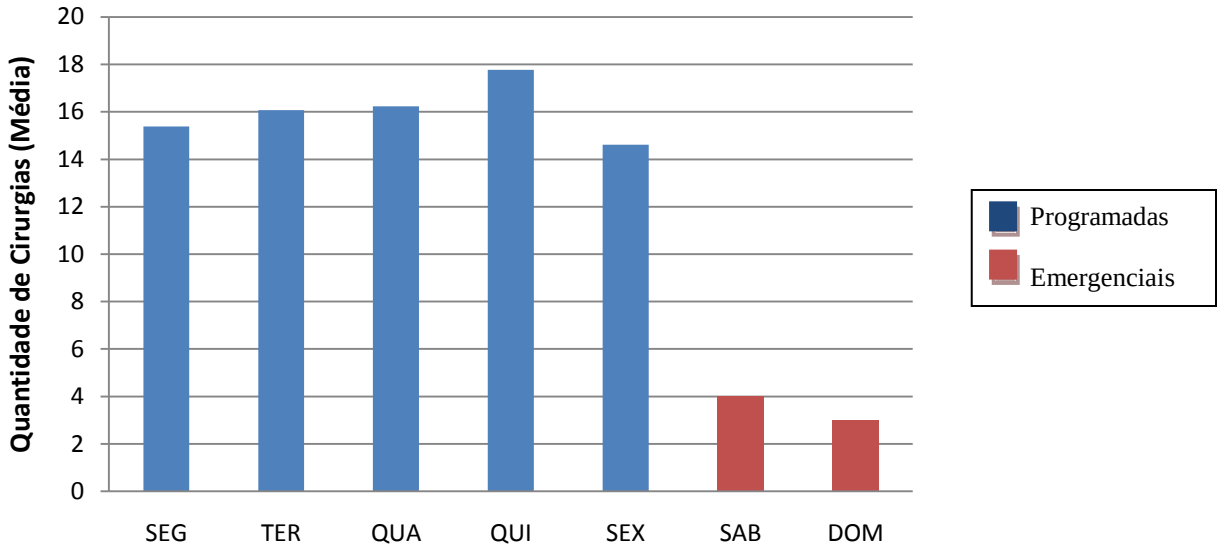

Figura 4.6 – Quantidade de cirurgias distribuídas pelos dias da semana

Nesse caso, obviamente não existe discrepância entre os dias da semana. O gráfico não indica favorecimento algum da parte dos médicos para a realização de cirurgias se considerado o intervalo de Segunda à Sexta Feira. É indicado também no gráfico as poucas cirurgias emergenciais realizadas no fim de semana, e que não afetam o caso das cirurgias eletivas.

4.8– Análises e correlações

Nesse instante é interessante realizar uma análise de correlação entre os diversos fatores obtidos da tabela de dados. Correlação, também chamada de coeficiente de correlação, indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No uso estatístico geral, esse termo se refere à medida da relação entre duas variáveis, embora correlação não implique causalidade. Neste sentido pode-se utilizar vários coeficientes que medem o grau de correlação entre as entidades, adaptados à natureza dos dados.

Esse estudo de correlação foi requisitado principalmente pelos médicos do departamento que requisitaram uma análise para determinar se há relacionamento a idade dos pacientes, o tipo de

cirurgia realizada e o tempo de estadia dentro do departamento cirúrgico. Outras relações como foram descartadas *a priori* como por exemplo o sexo dos pacientes e o tempo de recuperação (parte-se do princípio que enfermos do sexo masculino comportam-se semelhantemente aos do sexo feminino).

Primeiramente analisamos uma comparação entre o tempo de espera entre pacientes Eletivos (cirurgias programadas) e casos Emergenciais (não programadas).Obtemos então a seguinte tabela comparativa.

Tabela 4.6 – Tempo de internação (em dias) total de acordo com pacientes Programados e Emergenciais

	Programada	*Emergencial*
Média	3,87	2,02
Desvio Padrão	1,92	4,2
Coeficiente de Variabilidade	0,50	0,72

Como esperado, temos que casos emergenciais possuíam uma maior variância no que diz respeito ao tempo de internação, principalmente devido a seus casos serem inesperados, gerando complicações e necessidades não encontradas no caso programado. Um exemplo é o fato que pacientes eletivos realizam pré exames antes de se internarem, quando por outro lado os pacientes de emergência não os possuem e devem realizar exames após a internação. O tempo alocado desses pacientes também é reduzido pois eles muitas vezes são provenientes da clínica médica ou da UTI, e nesse caso estamos considerando apenas a alocação de pacientes em leitos do Centro Cirúrgico, desconsiderando a utilização de outros departamentos.

Analisaremos agora uma correlação entre a idade dos pacientes e o tempo de espera. Será utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de "ρ de Pearson" que mede o grau da correlação (e a

direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de razão).

Este coeficiente, normalmente representado por ρ assume apenas valores entre -1 e 1. Como exemplificado a seguir:

- $\rho = 1$: Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.
- $\rho = -1$: Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.
- $\rho = 0$: Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado $\rho = 0$ deve ser investigado por outros meios.

Obtemos os seguintes resultados para essa análise.

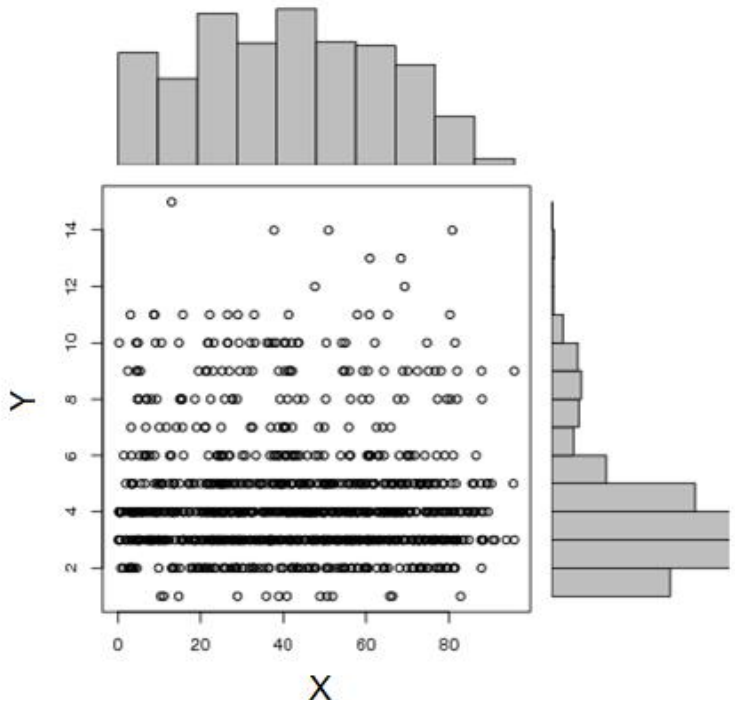

Figura 4.7 – Histograma e dispersão da análise de correlação

Tabela 4.7 – Dados da correlação entre idade e tempo de internação

	(X) Idade	*(Y) Tempo de Internação*
Média	42,55 anos	4,34 dias
Variância	552,55	4,51
Desvio Padrão	23,50	2,12
Covariância	-1,63	
Correlação	-0,03	
Valor p	0,27	
Graus de liberdade	1123	
Observações	1125	

Temos um valor de correlação que indica claramente que não há uma relação entre a idade do paciente e o tempo de internação do mesmo, o que é comprovado se analisarmos exemplos específicos da tabela do Anexo B.

4.9– Histogramas

Como base de entrada para os processos gerados no software é necessário uma distribuição probabilística que represente fielmente cada subsistema. Para tal, os dados obtidos na tabela apresentada no Anexo B foram utilizados de forma a gerar histogramas. Com esses gráficos em mãos é possível então analisar aproximações utilizando diferentes distribuições probabilísticas conhecidas de forma a obter a que melhor represente o caso real. Usualmente utiliza-se a que

obteve o menor erro quadrático, porém é possível considerar distribuições que possuam um erro maior mas que se enquadram de forma mais satisfatória ao estudo.

A seguir serão apresentados os histogramas e estudos dos processos principais que regem o sistema estudado. São esses respectivamente: alocação de pacientes, processo cirúrgico e recuperação pós-cirúrgica.

4.9.1 – Histograma da alocação de pacientes

A alocação de pacientes indica o número médio de pacientes que é internado por dia no centro cirúrgico do HU-USP.

Tanto o gráfico de histograma como a tabela a seguir apresentada foram obtidos através do software *Rockwell Arena*, utilizando a função *Input Analyzer*. Observa-se que a determinação da melhor curva característica da distribuição é dada analisando-se o menor erro quadrático obtido ao se aproximar a dispersão por funções de distribuição probabilísticas. No exemplo citado a seguir, temos que o menor erro (0,0075) foi obtido utilizando-se uma distribuição Triangular com os parâmetros (-0,5;16;22,5). Interessante notar que a curva plotada no gráfico é exatamente a melhor aproximação, utilizando os devidos índices calculados.

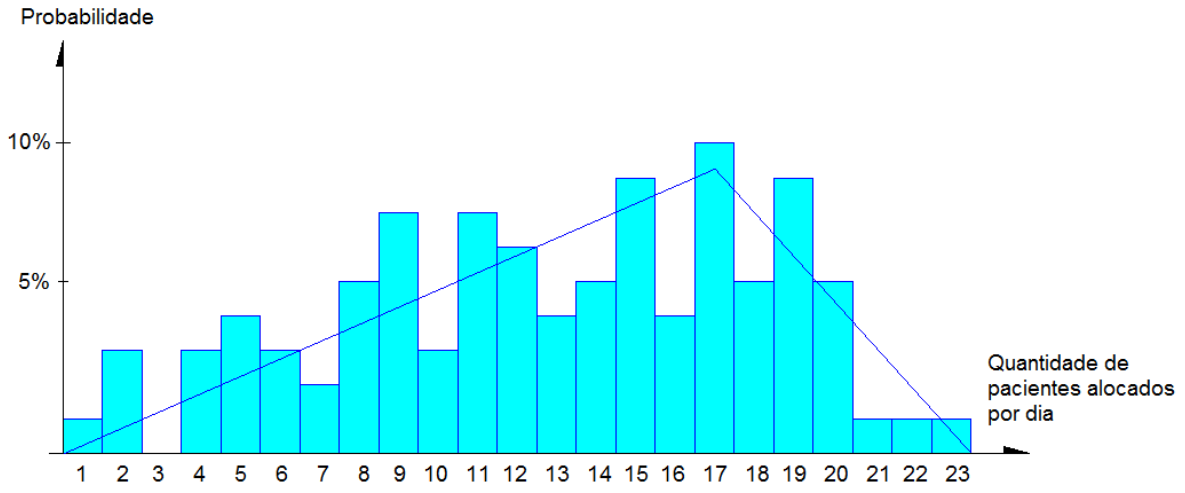

Figura 4.8 – Histograma da alocação de pacientes

Tabela 4.8 – Dados da análise da alocação de pacientes

Distribuição	Triangular
Expressão	TRIA(-0,5, 16, 22,5)
Erro quadrático	0,007497
Intervalos	7
Graus de liberdade	5
Valor P	0,473

Valor mínimo	1
Valor Máximo	23
Média	11,8
Desvio Padrão	5,3

Função	**Erro quadrático**
Triangular	0,0075
Beta	0,00764
Normal	0,0097
Weibull	0,0107
Gamma	0,0142
Erlang	0,0149
Uniform	0,0158
Lognormal	0,0192
Poisson	0,0271
Exponential	0,0333

4.9.2 – Histograma do processo cirúrgico

De suma importância é a análise da distribuição a ser utilizada para o procedimento cirúrgico. Importante ressaltar que para computar o histograma foram utilizados apenas os dados referentes às cirurgias eletivas, desconsiderando-se portanto os processos realizados durante o fim de semana, uma vez que esses eram apenas operações emergenciais. Temos então os seguintes resultados.

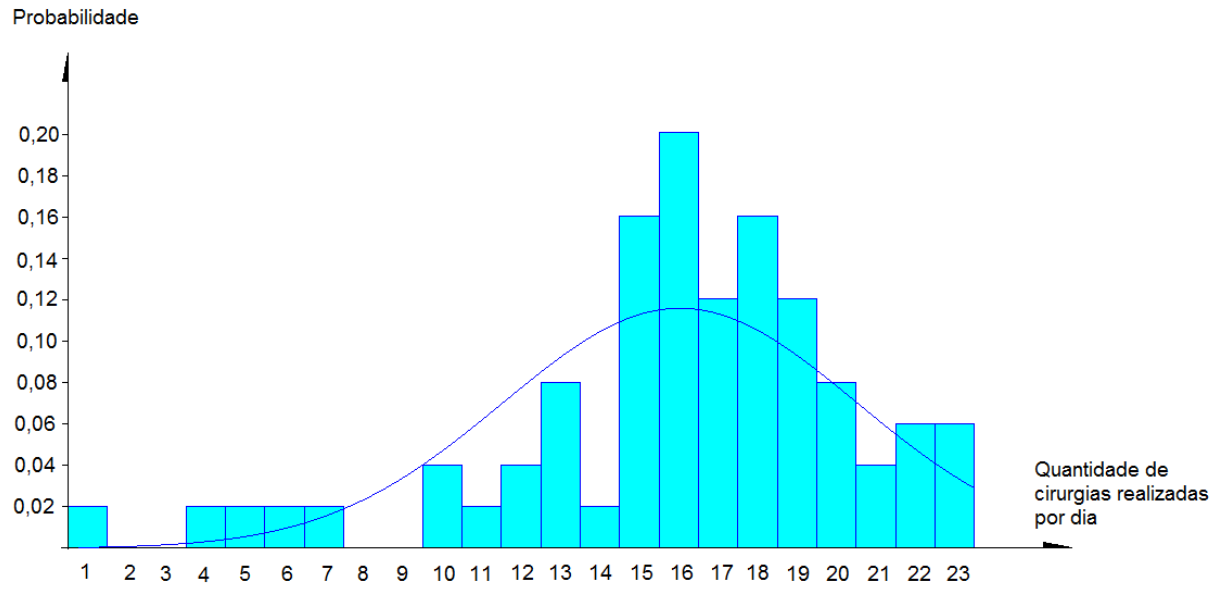

Figura 4.9 – Histograma do processo cirúrgico

Tabela 4.9 – Dados da análise do processo cirúrgico

Distribuição	Normal
Expressão	NORM(16, 4,49)
Erro quadrático	0,016449
Intervalos	7
Graus de liberdade	4
Valor P	0,0466

Valor mínimo	1
Valor Máximo	23
Média	16
Desvio Padrão	4,52

Função	Erro quadrático
Normal	0,0164
Weibull	0,0165
Poisson	0,0169
Beta	0,0192
Triangular	0,0273
Erlang	0,0315
Gamma	0,0317
Lognormal	0,043
Uniform	0,0439
Exponential	0,0682

Interessante notar que houve pouca discrepância entre os erros quadráticos das 3 melhores funções aproximadas, o que indica a possibilidade de se escolher dentre as mesmas a que melhor se enquadraria ao problema. Portanto, escolheu-se a que obteve o melhor desempenho, no caso a distribuição Normal com média 16 e desvio padrão de 4,49.

4.9.3 – Histograma da recuperação pós-cirúrgica

Por fim temos que analisar o período de recuperação do paciente. Após realizar o processo existe a necessidade de o médico responsável analisar o estado clínico pós operatório. A alta médica normalmente é realizada após certos dias do processo. Ressalta-se que para essa análise foi necessário desconsiderar os casos aonde o paciente veio a falecer durante ou logo após o processo cirúrgico, uma vez que tais dados indicariam uma recuperação nula, o que não é condizente com o real fluxo dos processos.

Obtemos então os seguintes resultados apresentados a seguir.

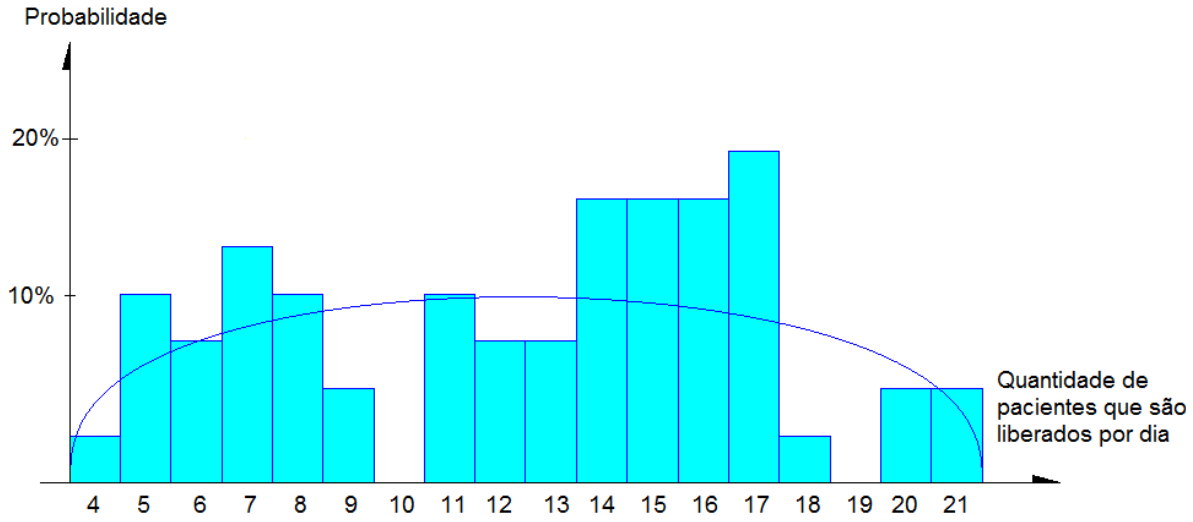

Figura 4.10 – Histograma da recuperação pós cirúrgica

Tabela 4.10 – Dados da análise da recuperação pós cirúrgica

Distribuição	Beta
Expressão	4.5 + 18 * BETA(1.38, 1.39)
Erro quadrático	0,018954
Intervalos	8
Graus de liberdade	5
Valor P	0,0981

Valor mínimo	4
Valor Máximo	21
Média	13,5
Desvio Padrão	4,63

Função	Erro quadrático
Beta	0,019
Triangular	0,0219
Uniform	0,0223
Normal	0,0225
Weibull	0,0255
Erlang	0,0275
Gamma	0,0284
Lognormal	0,0334
Poisson	0,0337
Exponential	0,0388

4.10– Desenvolvimento da simulação computacional

Após a obtenção de todos os dados e parâmetros necessários vem o estudo computacional que visa simular a planta do sistema. O intuito de se utilizar recursos informáticos para representar ambientes físicos vem da possibilidade de se realizar modificações sem necessidade de alterar o objeto real de estudo. Dessa forma pode-se testar melhoras na eficiência do sistema caso modifique-se determinados parâmetros.

Obteve-se do item anterior os seguintes dados de entrada para os processos cruciais do sistema:

Tabela 4.11 – Distribuições probabilísticas utilizadas como entrada computacional

Processo	***Distribuição***
Alocação de pacientes	TRIA(-0,5, 16, 22,5)
Processo cirúrgico	NORM(16, 4,49)
Alta médica pós recuperação	4.5 + 18 * BETA(1.38, 1.39)

Somando a esses dados os diversos índices obtidos da tabela em Anexo B e com o fluxograma de processos em mãos, é possível iniciar a simulação computacional.

Primeiramente é necessário criar o fluxo de processos utilizado pelo software (já mencionado sendo o *Arena 11* da empresa *Rockwell Automation*). Obteve-se a seguinte representação.

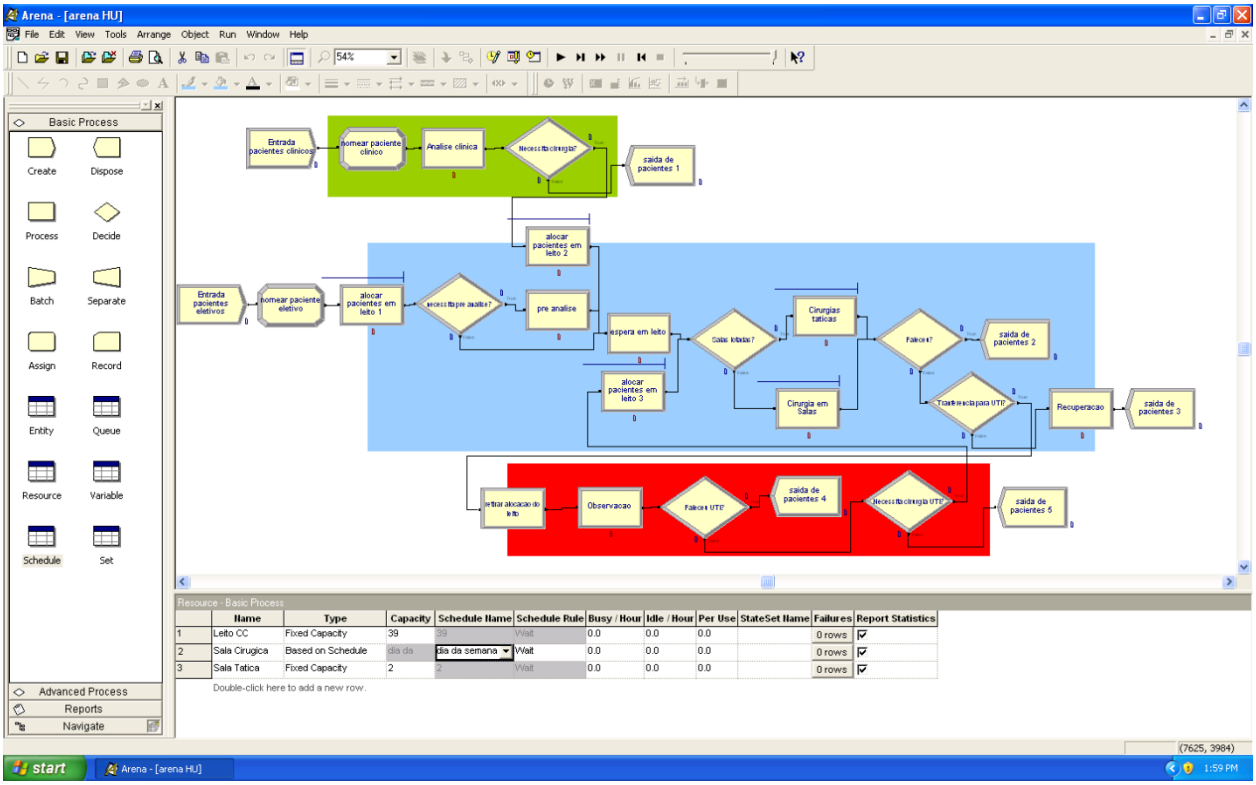

Figura 4.11 – Exemplo da janela do software com o modelo da simulação

Interessante notar a distinta semelhança entre o fluxograma criado no software apresentado na figura anterior e o semelhante fluxo de processos que representa o sistema real, apresentado no 4.3.

Foi necessário realizar diversas particularidades no software de modo a garantir conformidade com o sistema real. Um exemplo são as salas cirúrgicas que, de acordo com médicos responsáveis, funcionam apenas durante os dias de semana, com os fins de semana reservados às cirurgias emergenciais que são alocadas em salas táticas. Logo, foi necessário realizar um calendário de utilização para determinar, assim, os dias em que essas podem ser utilizadas.

Outra importante consideração é o tempo de estabilização da simulação. Obviamente, ao iniciar a simulação computacional não existem entidades alocadas aos recursos da planta, o que é não condizente com o caso real, onde o HU-USP está sempre em operação. Portanto, é necessário descartar certo intervalo de tempo relativo ao tempo de estabilização do sistema. A figura a seguir ilustra a utilização dos recursos, indicando que demora cerca de 1 mês para a planta simulada atingir um nível estável e em regime permanente.

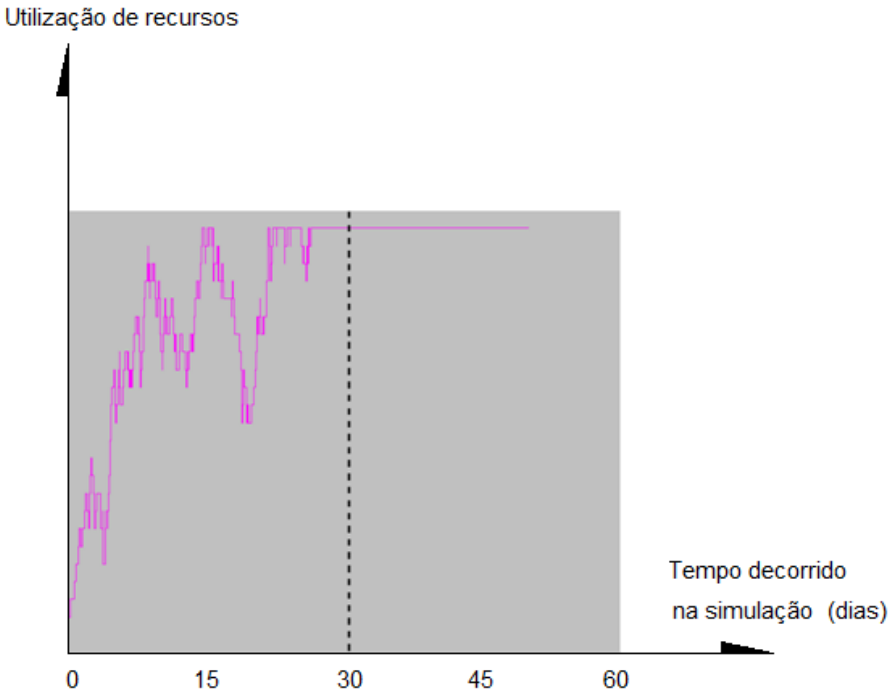

Figura 4.12 – Saída gráfica da utilização de recursos em função do tempo

Com esse tempo de estabilização em mãos, determinou-se que a simulação iria durar 120 dias, sendo os 30 primeiros descartados, restando para estudo 90 dias, referente aos 3 meses obtidos pelas tabelas hospitalares, possibilitando assim uma comparação direta entre o caso simulado e o real. Outra particularidade é estipular o número de iterações que o software irá realizar. Obviamente cada simulação computacional difere da anterior, portanto é aconselhável realizar um alto número de simulações e se obter médias devidamente calculadas dos resultados obtidos. Nesse caso serão utilizadas15 replicações.

As saídas originais do sistema podem ser encontradas no Anexo C. Como não são todos os dados de saída que devem ser considerados, no item 5 serão apresentados apenas os resultados relevantes.

4.11– Resultado da simulação

Nessa etapa serão apresentados os resultados obtidos da simulação e análise do Hospital Universitário da USP bem como comparações com os valores obtidos pela análise analítica dos dados de entrada serão realizadas.

Primeiramente deve-se comparar os índices de desempenho obtidos pelo software e verificar se representaram com confiabilidade os mesmos valores apresentados pela planta física. A seguir temos tabelas comparativas entre os mesmos (relembrando que temos o mesmo intervalo de tempo de 3 meses para ambas as análises).

Tabela 4.12 – Resultados comparativos entre os dados reais e os obtidos pela simulação

Parâmetro	***Amostra***	***Simulação (valores médios)***	***Erro (%)***
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,72%
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	1,47%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	5,43%
Pacientes Emergenciais	27%	32%	
Pacientes Eletivos	73%	68%	

Percebe-se uma boa aproximação da simulação pelo caso real, uma vez que os índices obtidos são próximos e condizentes com o encontrado através de análises analíticas da planta real.

É interessante também analisar casos extremos e o comportamento do sistema quando excitado por distúrbios em sua entrada, o que é uma tarefa simples de se realizar em um sistema computacional, bastando modificar poucos parâmetros da simulação. Nesse âmbito é possível estudar a estabilidade da planta quando casos imprevistos ocorrem. Para exemplificar, realizou-se um aumento e uma redução na entrada de pacientes. Temos que o valoresperado para a entrada de pacientes é 12,5 pacientes por dia. Realizaremos o estudo da utilização dos leitos para um incremento de 30% e uma redução de mesma magnitude, indicados pelas entradas de 16,25 pacientes/dia e 8,75 pacientes/dia respectivamente. Sendo possível a obtenção do seguinte gráfico:

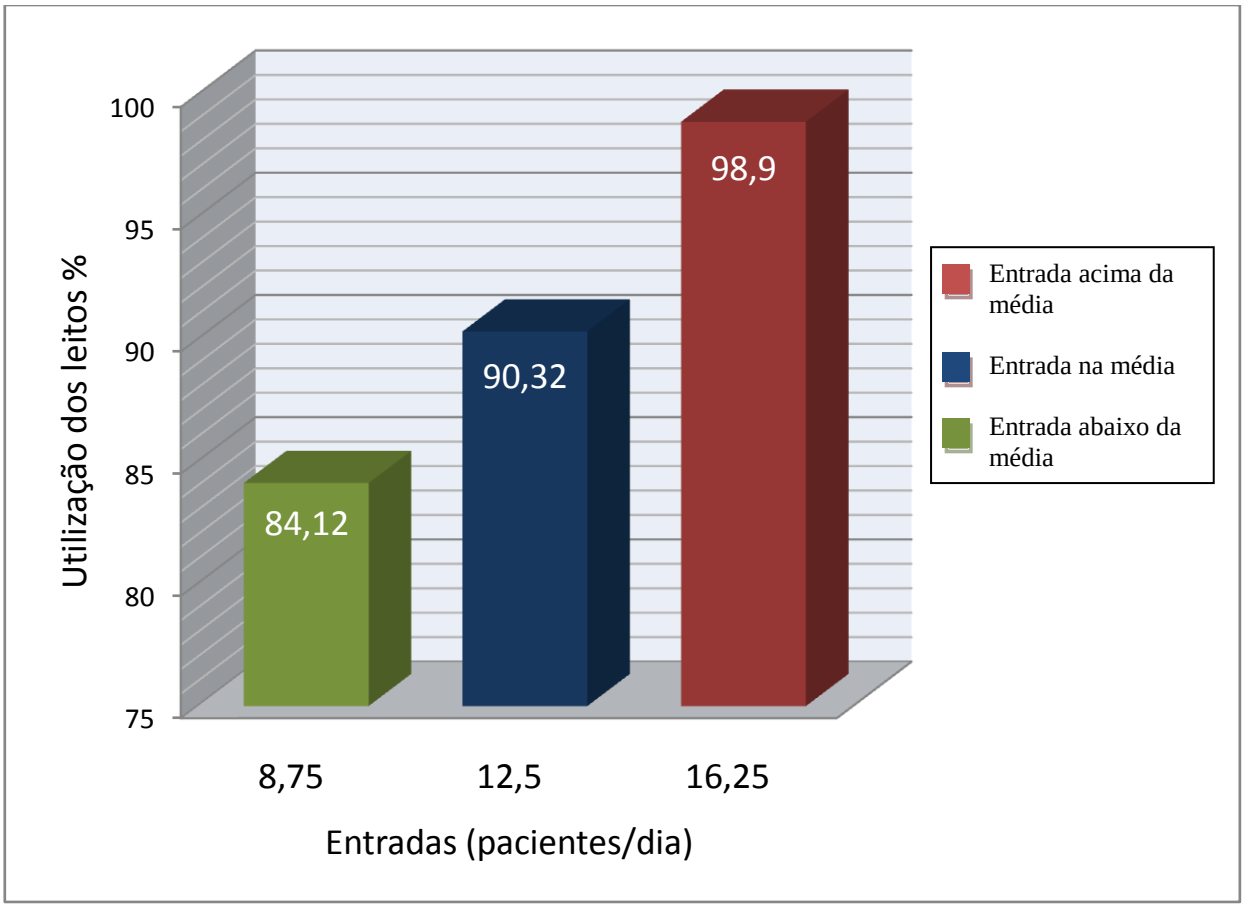

Figura 4.13 – Comparação da utilização de leitos em função da entrada do sistema

Observando o gráfico anterior é possível analisar que casos extremos e inesperados que exijam alta ocupação dos leitos provocam uma séria instabilidade ao sistema. Argumentando tais eventos com médicos do departamento soube-se que casos históricos já apresentaram tal “engarrafamento” ao sistema, como acidentes de trânsito envolvendo transporte público na região próxima ao HU-USP.

Interessante também é comparar os dados obtidos com os semelhantes encontrados no hospital italiano Alianza Ospedaliero, porém essa análise será focada no relatório a ser apresentado no segundo semestre de 2010, para a disciplina referente ao TF3, uma vez que servira de base para justificar implementações e otimizações ao sistema.

5. PROPOSIÇÃO DE OTIMIZAÇÕES

Nessa etapa, implementações ao sistema modelado serão propostas visando uma melhoria dos processos. Para tal, diferentes fluxos de atividades serão analisados de forma a encontrar uma melhoria no desempenho geral do sistema. Serão testadas também mudanças no que diz respeito à utilização dos recursos, testando e comparando o impacto que se obteria ao aumentar ou reduzir certos parâmetros e índices. Espera-se que tais mudanças na simulação computacional impliquem em diferentes resultados na saída da modelagem, possibilitando assim uma comparação com o caso de controle modelado no item 4.

Comparando-se os novos índices com os desenvolvidos anteriormente será indicar se há um ganho em eficiência ao se aplicar tais otimizações ao processo. É importante ressaltar que muitas das propostas de melhorias ao sistema possuem baseamento literário, sendo já estudadas por outros autores. Outras, porém, foram obtidas por sugestões do autor e dos médicos e funcionários consultados durante a pesquisa, a fim de testar novos métodos de alocação de recursos e fluxo de processos.

Por fim, os resultados serão comparados como caso estudado no hospital italiano Alianza Molinette e, para finalizar, será realizada uma análise no que tange a aplicação de tais implementações no sistema físico real.

5.1 – Introdução às modificações propostas

A partir dos dados estatísticos analisados, pode-se claramente perceber que reduzir de alguma maneira o tempo de espera para realizar cirurgias irá afetar drasticamente o tempo de espera total ao qual pacientes hospitalares são submetidos. Fica, portanto, ao encargo da equipe de gerência estudar meios de otimizar os processos e a estadia dos pacientes seja modificando o fluxo ou aumentando os recursos disponíveis.

Sabe-se de antemão que aumentar os recursos hospitalares (criar mais leitos, salas cirúrgicas, contratar novos cirurgiões) irá obviamente possibilitar uma maior eficiência e garantir menores filas de espera nos hospitais. Infelizmente nos hospitais da rede pública nem sempre é possível

arcar com tais custos principalmente devido a falta não apenas de verba mas como de espaço físico.

Um método mais eficiente e prático de otimizar o fluxo é garantir que apenas casos onde a cirurgia é mandatória sejam enviados ao centro cirúrgico, criando alas específicas para os chamados “atendimentos em leito” onde apenas micro cirurgias ou operações simples são realizadas nos pacientes, não havendo a necessidade de alocar uma sala de cirurgia ou um leito específico para tais casos. Uma correta divisão entre os diferentes níveis de emergência garantirá uma melhor eficiência geral da área hospitalar, possibilitando assim uma redução tanto na espera em leito como na espera para adentrar o hospital.

Há também estudos recentes que visam agregar estações clínicas que realizem tarefas homogêneas, independentemente do seu departamento, de forma a compartilhar leitos e recursos básicos. Tal método não é difundido uma vez que nos hospitais da rede pública se preza por atender pacientes separadamente de acordo com a triagem realizada, porém instituições da rede particular (onde a maioria dos pacientes possuem um quarto privado) procuram sempre unificar as atividades de modo a reduzir custos utilização e, conseqüentemente, aumentar o lucro.

Esse estudo irá apresentar algumas propostas de modificações aos atuais processos existentes no Centro Cirúrgicoe serão divididas basicamente em dois segmentos, um que trata de Processos e outro que analisa Recursos. Os tópicos a serem abordados serão os seguintes:

- Modificações de Processos
    - Separar pacientes de estadia longa e estadia curta
    - Realizar pré análise obrigatoriamente fora do centro cirúrgico
- Modificação de Recursos
    - Aumentar a quantidade dos leitos
    - Aumentar a quantidade de salas cirúrgicas

Obviamente espera-se que no caso em que se aumentam os recursos disponíveis haverá uma melhora na utilização do sistema, reduzindo o tempo de espera dos pacientes. Nesse caso o

interesse maior é realizar o estudo para indicar qual dos recursos afetará de forma mais impactante o desempenho geral do hospital. Será possível também testar os limites operacionais do fluxo uma vez que a simulação irá permitir aumentar a taxa de entrada de pacientes, testando assim a estabilidade do sistema.

Espera-se também que esse estudo auxilie o centro de gerência hospitalar no que tange a implantação de novos leitos e novos salas operatórias possibilitando uma comparação entre o desempenho de ambos os casos oriundos da simulação computacional.

5.2 – Modificações de processos

A modificação dos processos de um sistema consiste em encontrar novos fluxos de atividades que obtenham o mesmo resultado final mas que apresentem ao mesmo tempo uma vantagem se comparados ao sistema original, seja essa vantagem repercutida em melhor desempenho ou em menor utilização dos recursos.

5.2.1 – Distinção entre estadia longa e estadia curta

Um método estudado no caso italiano desenvolvido pelo aluno em parceria com a faculdade "Politecnico di Torino" propunha uma separação de pacientes na fase de admissão. Tal separação consistia em distinguir aqueles pacientes com maior probabilidade de estadia longa e alocá-los a leitos distintos daqueles com maior probabilidade de ter uma estadia curta.

O intuito dessa divisão é proporcionar uma maior rotatividade dos pacientes com estadia curta além de impedir que o hospital entre em período de estagnação por possuir em seus leitos uma maioria de pacientes de estadia longa. A figura 5.1 procura ilustrar tal conceito.

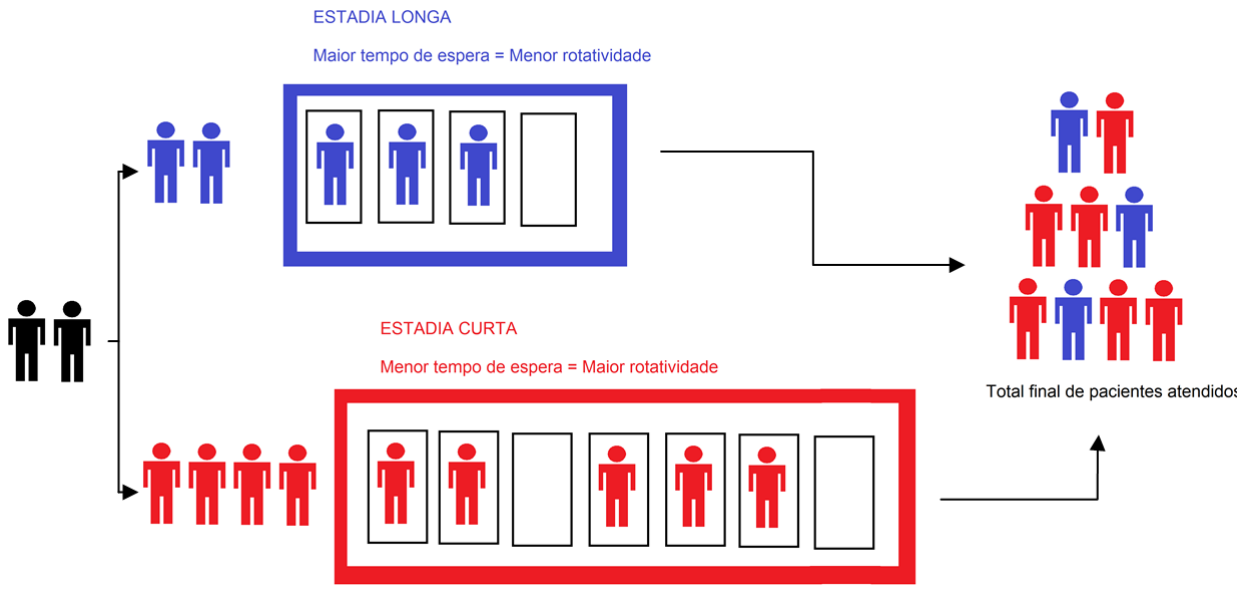

Figura 5.1 – Ilustração do conceito de divisão de leitos

Na figura anterior percebe-se que a divisão entre pacientes possibilitaria que haja um maior atendimento de pacientes de estadia curta o que implicaria, no longo prazo, em um maior atendimento de pacientes no total. Além disso, essa divisão evita que todos os leitos sejam ocupados por pacientes de estadia longa o que implicaria na criação de um gargalo no sistema.

Obviamente há ressalvas a serem feitas para esse caso. Primeiramente é necessário relembrar que por se tratar de um atendimento cirúrgico o tempo de hospitalização de um paciente raramente é determinístico, acontecendo corriqueiramente casos inesperados onde estadias mais longas que as estimadas são necessárias. Além disso salienta-se que a divisão entre pacientes que possuirão estadia longa e curta, que deverá ser realizada no início do sistema, é um processo baseado em analises históricas referentes aos dados do paciente e ao tipo de cirurgia ou procedimento a ser realizado. Logo, fica claro que tais dados históricos podem eventualmente não condizer com a realidade o que tornaria o processo de divisão relativamente difícil.

Desconsiderando as dificuldades de implementação, necessita-se realizar uma análise de dispersão do tempo de estadia dos pacientes a fim de se encontrar um ponto de divisão que seja significativo. Para tal análise criou-se o seguinte gráfico.

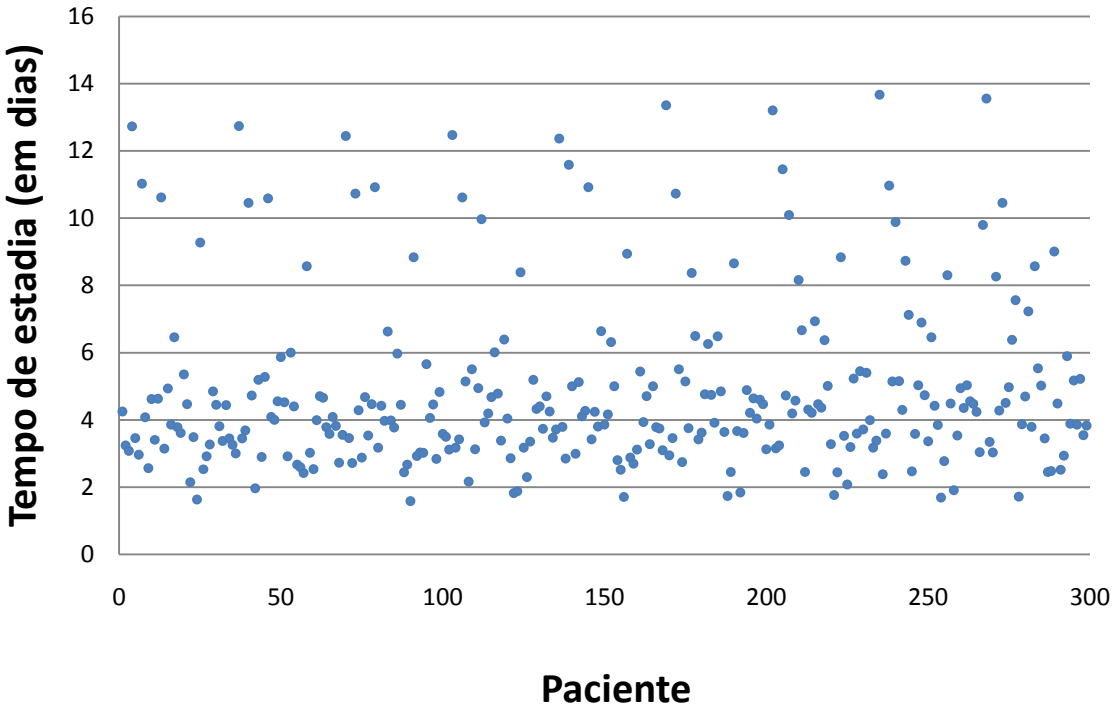

Figura 5.2 – Gráfico da dispersão do tempo de estadia por paciente

Relembrando que o tempo total de internação é em média 3,64 dias, e observando as dispersões do gráfico acima podemos então estimar que uma razoável divisão entre longa e curta estadia sejam 6 dias. Logo, todos os pacientes que tiverem um tempo médio menor que 6 dias serão considerados de Estadia Curta, já os que foram internados por um período maior ou igual a 6 dias serão considerados Estadia Longa. Tal estudo foi necessário para obter a correta porcentagem a ser utilizada na simulação, resultando em 19% pacientes de estadia longa e 81% pacientes de estadia curta.

No que tange a simulação computacional foi necessário mudar obviamente o método de alocação de leitos, criando um comando de seleção no início do sistema que realiza a lógica exemplificada na Figura 5.1 e respeitando as porcentagens calculadas no parágrafo anterior. Os limites calculados de leito foram respectivamente 10 camas para Estadia Longa e 30 camas para Estadia Longa.

Os resultados a serem apresentados serão o tempo de internação (nesse caso explicitado para cada tipo de paciente), quantidade de pacientes atendidos e utilização dos leitos (também

dividido entre os setores de estadia longa e estadia curta). A saída completa da simulação pode ser contemplada no Anexo D e na tabela abaixo se encontram os valores significativos de forma resumida.

Tabela 5.1 – Resultados comparativos entre os dados reais, da simulação inicial e da modificação proposta

Parâmetro	***Amostra***	***Simulação Inicial (valores médios)***	***Simulação Modificada***	
			Estadia Longa	***Estadia Curta***
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	9,80 dias	2,40 dias
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	99,10%	62,33%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	1087	

Percebe-se claramente que tal modificação impactou consideravelmente a saída da simulação. Encontrou-se uma divisão tanto no tempo de internação como na utilização dos leitos. Para o caso dos pacientes de estadia curta obteve-se uma redução expressiva no percentual de utilização de leitos. Tal valor indica que há a possibilidade nesse caso de aumentar a taxa de entrada de pacientes o que indicaria maior número de pacientes atendidos durante mesmo período. Fato esse comprovado no aumento em cerca de 11% na quantidade de pacientes internados se comparado com a simulação inicial. Porém encontra-se um gargalo expressivo para o caso da estadia longa que obteve uma taxa de utilização de 99%, indicando que em quase nenhum momento houveram leitos livres em tal departamento.

5.2.2 – Pré análises realizadas fora do centro cirúrgico

Seguindo uma linha de raciocínio diferente da apresentada anteriormente e retornando ao sistema original percebe-se, ao se observar o fluxograma dos pacientes, que pacientes que entram no centro cirúrgico por vezes necessitam realizar uma análise prévia. Tal processo influencia diretamente não apenas o tempo de internação como também contribui para um aumento na utilização dos leitos do centro cirúrgico.

Ao adentrar o sistema um paciente irá instantaneamente ocupar uma cama (recurso hospitalar foco desse estudo). Porém, por vezes ele deve realizar análises imprevistas em outros departamentos (análise de sangue, raio-x, etc) não liberando o seu leito durante esse breve período.

Propõe-se então eliminar dos leitos do centro cirúrgico toda e qualquer análise prévia que deva ser realizada no paciente, alocando esses processos ao departamento da clínica médica ou até mesmo requisitando ao paciente que seja hospitalizado já com todos os devidos exames necessários para o início do processo cirúrgico.

A maior dificuldade em aplicar tal mudança advém de possíveis restrições físicas de outros departamentos em atender pacientes que *a priori* eram designados ao centro cirúrgico. Além desse fato é possível que os mesmos pacientes estejam sujeitos a maior desconforto por serem obrigados a adentrarem no processo de hospitalização com obrigatoriamente todos os exames em mãos.

Importante destacar que para efeito de simulação retirou-se o processo de pré análise do centro cirúrgico e o alocou fora desse departamento, mantendo-se as mesmas características de distribuição bem como médias e desvios padrões.

A figura 5.3 indica de forma mais clara a mudança proposta ao fluxo inicial do sistema.

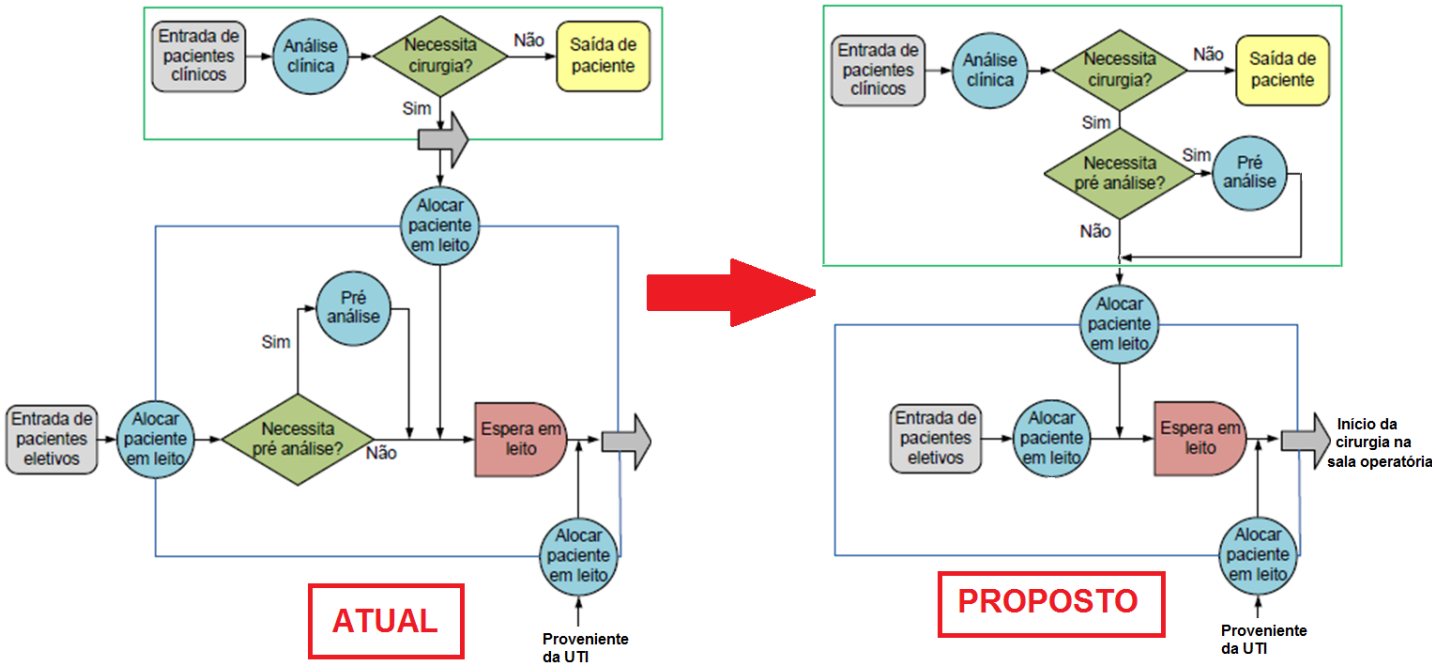

Figura 5.3 – Comparação entre fluxo atual e proposto

Apresenta-se, então, os resultados obtidos pela simulação computacionaldessa nova configuração.

Tabela 5.2 – Comparação de resultados para pré análises realizadas fora do centro cirúrgico

Parâmetro	***Amostra***	***Simulação Inicial (valores médios)***	***Pré Análise fora do Centro Cirúrgico***
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,02 dias
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	88,14%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	1084

Claramente percebe-se uma redução no tempo de internação médio dos pacientes, o que é sensato uma vez que um processo inteiro (pré-análise) foi praticamente eliminado do centro cirúrgico e realocado a outro departamento. Porém ressalta-se que houve um leve decréscimo na utilização de leitos, bem como um acréscimo no número total de pacientes atendidos. No que tange a diminuição da utilização pode-se entender que tenha ocorrido devido a umamelhor eficiência no atendimento aos pacientes já que houve redução no tempo total de ciclo, possibilitando melhor dispersão entre as cirurgias. Já o aumento na quantidade final de pacientes atendidos não foi significativo a ponto de ser estudado e pode ser resultado de instabilidades na simulação.

É importante ressaltar que em todos os casos simulados uma média de 15 replicações foram realizadas a fim de se eliminar discrepâncias entre as simulações e com a finalidade de se obter uma média com baixo desvio padrão. Entretanto, garantir total fidelidade ao processo simulado e afirmar que o mesmo é uma representação perfeita da realidade é errôneo e insensato. Deve-se sempre manter em mente que os programas computacionais estudam e oferecem apenas um conceito do sistema físico real, nunca resultando em idênticos índices e parâmetros que seriam obtidos do caso físico.

5.3 – Aumento nos recursos

Em contrapartida à modificação de processos será proposto nesse item um aumento direto dos recursos hospitalares. As análises já realizadas do fluxo do sistema, bem como o observado nas visitas de campo, indicaram claramente que as limitações hospitalares encontram-se nas quantidades de recursos, nesse caso tratam-se das salas cirúrgicas e leitos.

Fica claro que trabalhar com tais parâmetros irá decididamente afetar as saídas do sistema. Resta a esse estudo quantificar e comparar em quanto melhoraria a eficiência do processo de internação ao se aumentar o número de salas de operação e de camas para pacientes no departamento do centro cirúrgico.

5.3.1 – Aumento no número de leitos

Para esse estudo será proposto um aumento em 25% na quantidade total de leitos do centro cirúrgico (em igual proporção para leitos femininos e masculinos). Teremos então um acréscimo de 10 leitos resultando em um total de 50 camas (26 camas femininas e 24 masculinas – respeitando a divisão proporcional já utilizada no hospital).

Nesse caso não houve nenhuma necessidade de promover mudanças no fluxo da simulação, bastando modificar parâmetros no código de comando a fim de aumentar a quantidade disponível do recurso estudo. Os resultados serão apresentados em uma tabela unificada com o próximo item que estuda o aumento da quantidade de salas cirúrgicas.

5.3.2 – Aumento na quantidade das salas cirúrgicas

Como apresentado anteriormente na análise do caso estudado, são as salas cirúrgicas que representam o gargalo do sistema. Fica claro então que uma modificação direta na quantidade total desse recurso irá afetar drasticamente o desempenho geral do processo de internação.

Atualmente o hospital está dividido em 5 salas de operação regulares das quais 3 são reservadas ao Centro Cirúrgico. Existem também as salas táticas que podem ser utilizadas em situações emergenciais ou quando há uma completa ocupação das salas de operação convencionais. Todo esse sistema de regras foi exemplificado no item 4.2 bem como com o auxílio da figura 4.1 para ilustrar o problema.

Será proposto nessa simulação um incremento em 1 sala para o Centro Cirúrgico e 1 sala tática. Sabe-se, porém, que implementar tal modificação no caso real não é tarefa fácil, principalmente por se tratar de um hospital da rede pública onde há inúmeras restrições física bem como de verba bem. Ressalta-se também que o Centro Cirúrgico é apenas um dos nove departamentos que compõe o Hospital Universitário da USP e cabe a gerência hospitalar decidir quais as áreas críticas do hospital que devem ser aprimoradas com prioridade.

Apresenta-se então a tabela unificada a seguir que engloba os resultados de ambos os aumentos de recursos (salas cirúrgicas e leitos) bem como a comparação dos mesmos com o caso simulado inicialmente e os dados obtidos da amostra do histórico de internações:

Tabela 5.3 – Resultados para aumentos nos recursos hospitalares

Parâmetro	***Amostra***	***Simulação Inicial***	***Aumento em recursos***	
			Maior número de leitos	***Maior quantidade de salas cirúrgicas***
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,20 dias	2,95 dias
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	81,95%	84,84%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	1101	1097

Os resultados foram condizentes com o esperado. Primeiramente observou-se uma redução significativa na utilização de leitos para ambos os casos em que se aumentou o número de recursos, porém tal redução foi mais expressiva no caso em que se modificou diretamente o número de camas hospitalares no centro cirúrgico. Percebe-se também que uma redução expressiva no tempo de internação ocorreu ao se aumentar o número de salas cirúrgicas, o que era esperado uma vez que o processo de cirurgia é o gargalo do sistema e seu funcionamento é restrito ao número de salas disponíveis para operação.

Interessante notar que a quantidade de pacientes atendidos não sofreu significativa modificação. Isso é esperado uma vez que a taxa de entrada do sistema não foi alterada. Logo, os índices de desempenho obtidos indicam que nessas novas configurações seria possível aumentar o número de pacientes admitidos no hospital sem impactar negativamente o atendimento.

Mostra-se interessante no futuro testar uma simulação semelhante porém modificando as taxas de entrada de pacientes a fim de testar a estabilidade do sistema.

5.3.3 – Tabela geral dos resultados

Para resumir comparativamente todos os resultados apresentados tem-se a tabela 5.4 na página seguinte que apresenta os valores não apenas da amostra e simulação de controle como também os parâmetros obtidos para as modificações propostas.

Tabela 5.4 – Resultados das modificações comparados com o controle

	CONTROLE		***MODIFICAÇÕES***				
			Aumento em recursos		***Modificações em Processos***		
	Amostra	***Simulação Inicial***	***Maior número de leitos***	***Maior quantidade de salas cirúrgicas***	***Pré Análise fora do Centro Cirúrgico***	***Divisão de Pacientes***	
						Estadia Longa	***Estadia Curta***
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,20 dias	2,95 dias	3,02 dias	9,80 dias	2,40 dias
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	81,95%	84,84%	88,14%	99,10%	62,33%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	1101	1097	1084	1087	

5.4 – Comparação gráfica entre os casos estudados

Nesse item serão apresentados gráficos comparativos entre as soluções propostas de modo à melhor indicar o desempenho entre cada método e compará-los com a simulação de controle e com a amostra.

Em todos os casos apresentados tomou-se como parâmetro de análise o tempo de internação, a utilização dos leitos de pacientes e a quantidade final de pacientes atendidos durante o período simulado (idêntico ao período obtido da amostra – 3 meses).Porém, o último parâmetro é obviamente derivado direto do fluxo de entrada estipulado para o sistema (o qual foi mantido constante para todas as simulações). Logo, não convém analisar esse último parâmetro já que se espera uma grande semelhança entre o número total de pacientes atendidos para todos os casos simulados computacionalmente.

Para todos os próximos gráficos se utilizará da seguinte legenda de cores:

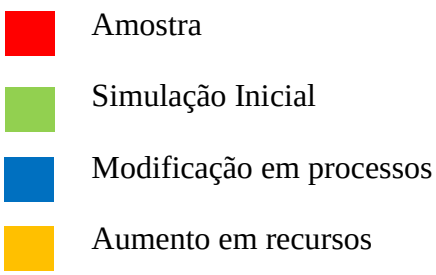

Figura 5.4 – Legenda de cores para os gráficos de comparação

Importante notar que nessa primeira análise os gráficos a serem apresentados indicam, para o caso da de divisão de pacientes por Estadia Longa e Curta, uma média ponderada entre os tipos de pacientes. Porém esse método será comparado no próximo item de forma separada.

5.4.1 – Comparação entre os tempos médios de internação

Temos, então, o primeiro parâmetro analisado que é o tempo total médio de internação de um paciente no centro cirúrgico. Apresenta-se o seguinte gráfico de comparação:

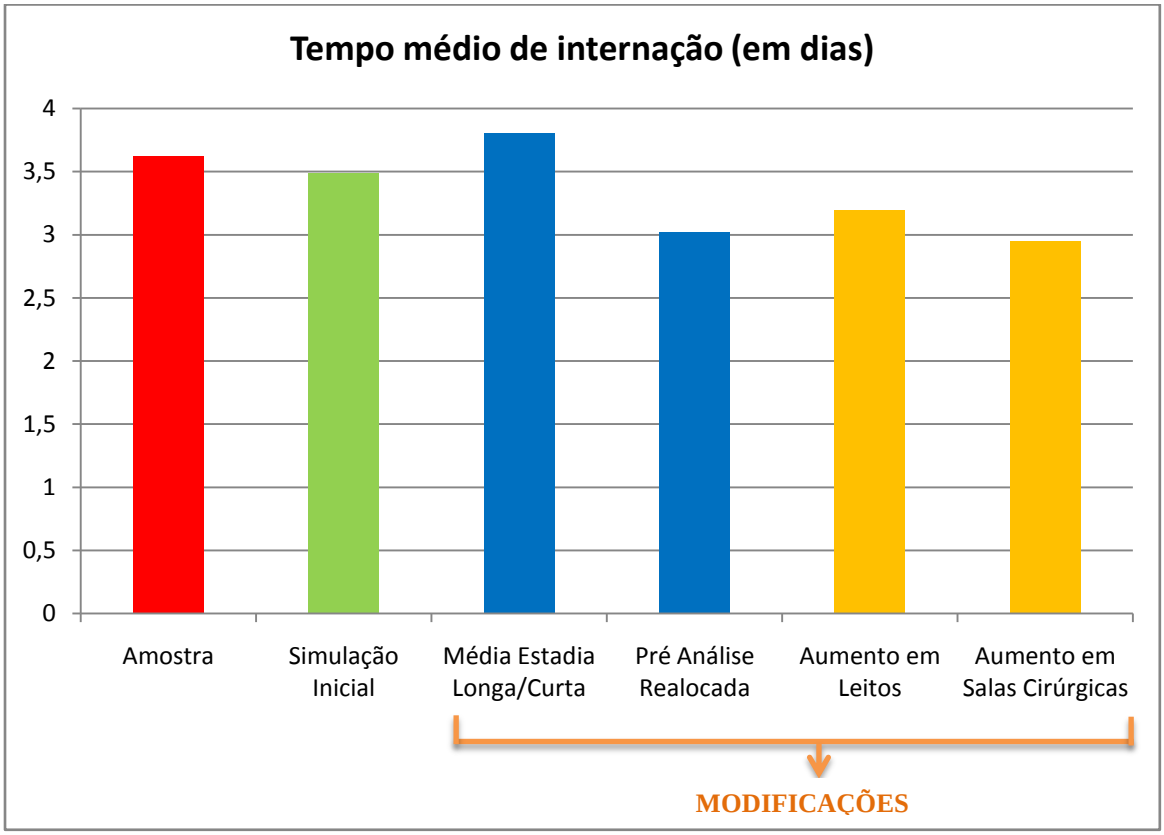

Figura 5.5 – Comparação entre os casos estudados a respeito do tempo de internação

Importante notar que, com a exceção do caso de estadia longa e curta, todas as propostas de modificação obtiveram valores de internação menores que a amostra e menores que a simulação inicial de controle. Um menor tempo de internação garante não apenas uma maior satisfação dos pacientes mas principalmente possibilita que um número maior de pacientes sejam atendidos, uma vez que se pode aumentar o fluxo de entrada no sistema.

Como era esperado, o caso em que se aumentou o número de salas cirúrgicas foi o que obteve maior redução no tempo de internação. Já se apresentou, previamente, que o

procedimento cirúrgico representa o gargalo do sistema, logo, um direto aumento nos recursos desse processo irá, obviamente, otimizar o procedimento de hospitalização, reduzindo assim o tempo de espera em fila e, conseqüentemente, o tempo de internação total dos pacientes.

Interessante porém é notar que o método que propõe realocar a pré análise hospitalar se provou, na análise do tempo de internação, mais satisfatório que aumentar o número de leitos total do sistema. Logo, deve-se ponderar a respeito de um aumento dos leitos hospitalares dentro do centro cirúrgico uma vez que pode ser mais satisfatório realocar as pré análises para a clínica médica e, se necessário, aumentar os leitos dessa clínica para atender o aumento da demanda.

5.4.2 – Comparação entre as utilizações de leitos

Um dos fatores mais importantes a ser analisado é a utilização dos leitos do centro cirúrgico durante o período. O esperado para as otimizações é que o valor de utilização seja menor do que o valor do sistema original, uma vez que indicaria uma maior eficiência geral, possibilitando assim um aumento no fluxo de entrada dos pacientes resultando em maior número de atendimentos durante um mesmo intervalo de tempo.

Compara-se então, na próxima figura, os valores obtidos para a utilização de leitos.

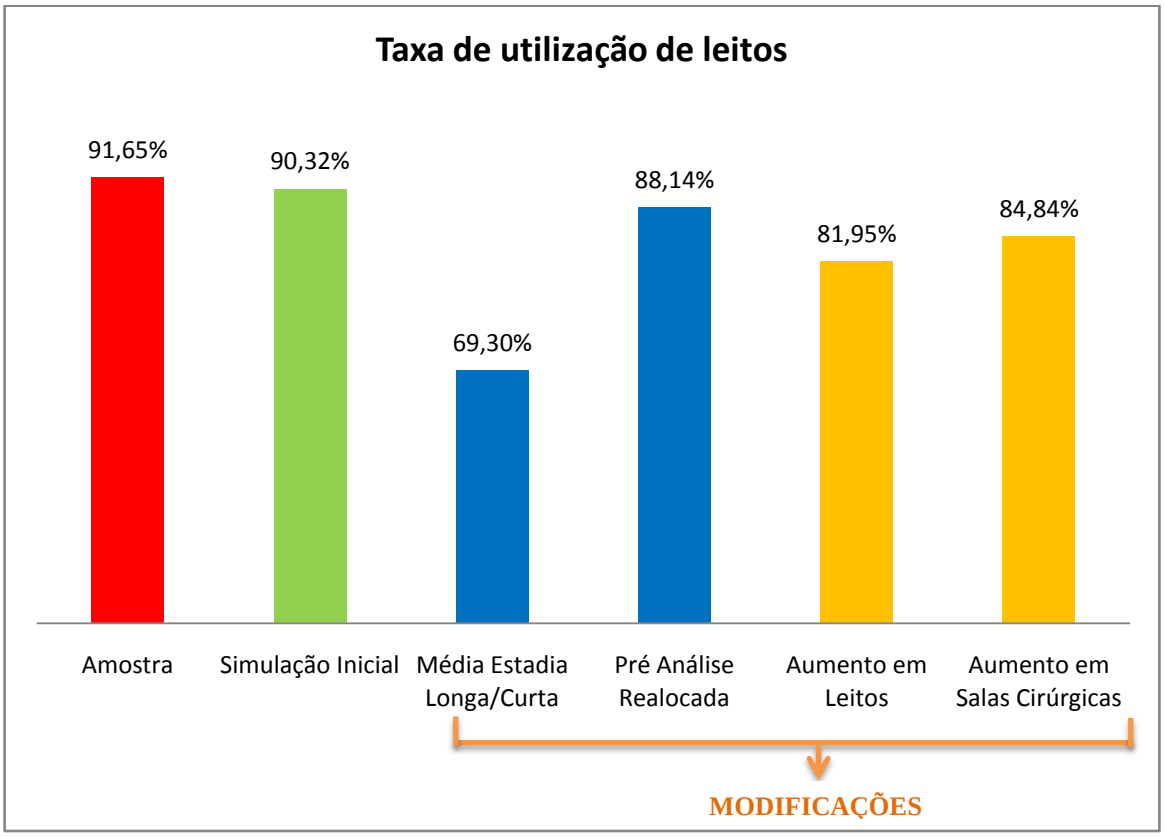

Figura 5.6 – Comparação entre os casos estudados a respeito da utilização de leitos

Reafirma-se que no caso em que se propôs a criação de pacientes de estadia longa e curta a taxa de utilização foi obtida ponderando-se adequadamente os valores encontrados, por isso obteve-se uma taxa de apenas 69,30%, muito abaixo dos 90% da simulação inicial.

Comparando-se as modificações em recursos, percebeu-se que, como esperado, o caso onde se aumentou o número total de leitos disponíveis indicou uma redução na taxa de utilização maior que no caso em que se aumentou as salas cirúrgicas. Esse resultado era esperado uma vez que aumentar o número total do recurso "leitos" irá diretamente reduzir a sua taxa de utilização uma vez que o fluxo de entrada do sistema é mantido constante entre ambas as análises.

Importante notar que a redução menos expressiva na taxa de utilização se deu no caso da pré análise realocada fora do centro cirúrgico. Esperava-se uma redução mais significativa para esse caso e não foi possível encontrar uma razão para tal valor de utilização relativamente próximo à

simulação de controle. Procurou-se realizar um maior número de simulações simultâneas baseando-se na lei dos grandes números, com a finalidade de eliminar quaisquer discrepâncias,porém os novos valores encontrados não se mostraram mais satisfatórios.

5.4.3 – Comparação específica da divisão entre Estadia Longa e Curta

Nesse item serão apresentados gráficos específicos com a finalidade de melhor comparar os parâmetros de controle com o caso proposto de se dividir os pacientes de acordo com seu coeficiente de variação.

Temos primeiramente o tempo de internação na figura 5.7 e em seguida a taxa de utilização na figura 5.8.

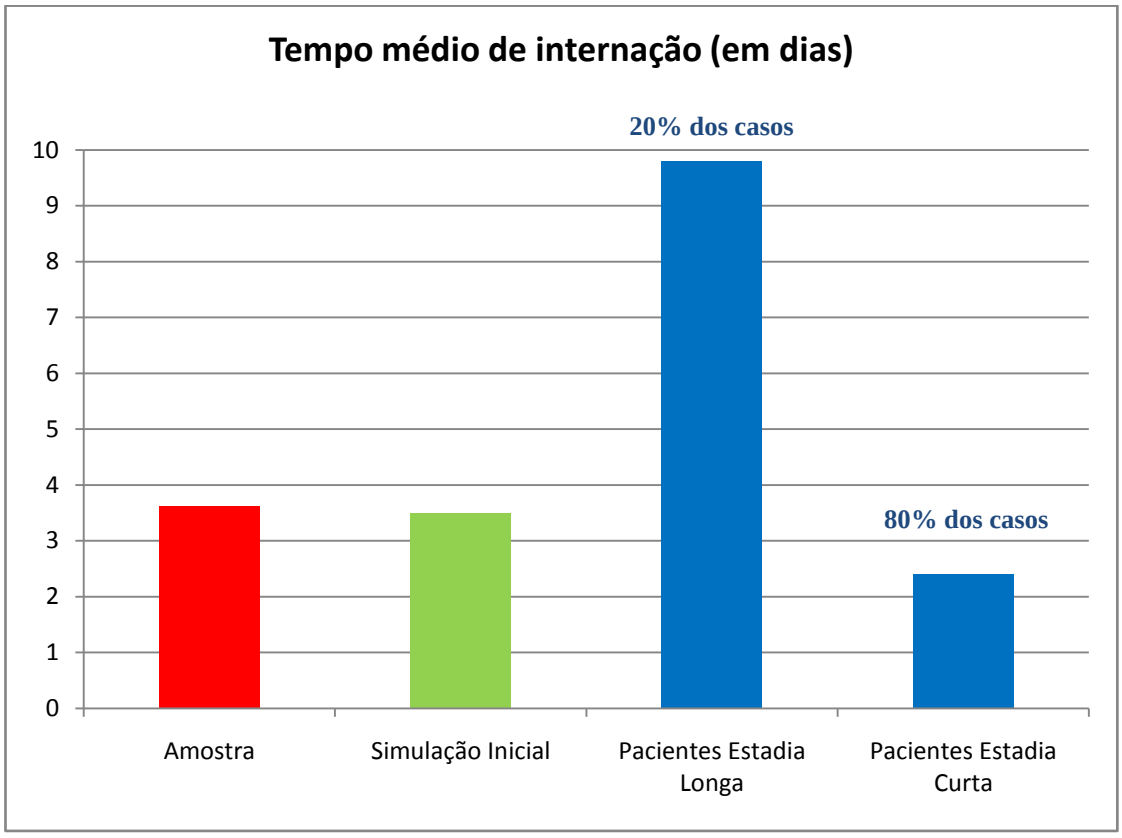

Figura 5.7 – Comparação entre os tempo de internação de pacientes de Estadia Longa e Curta

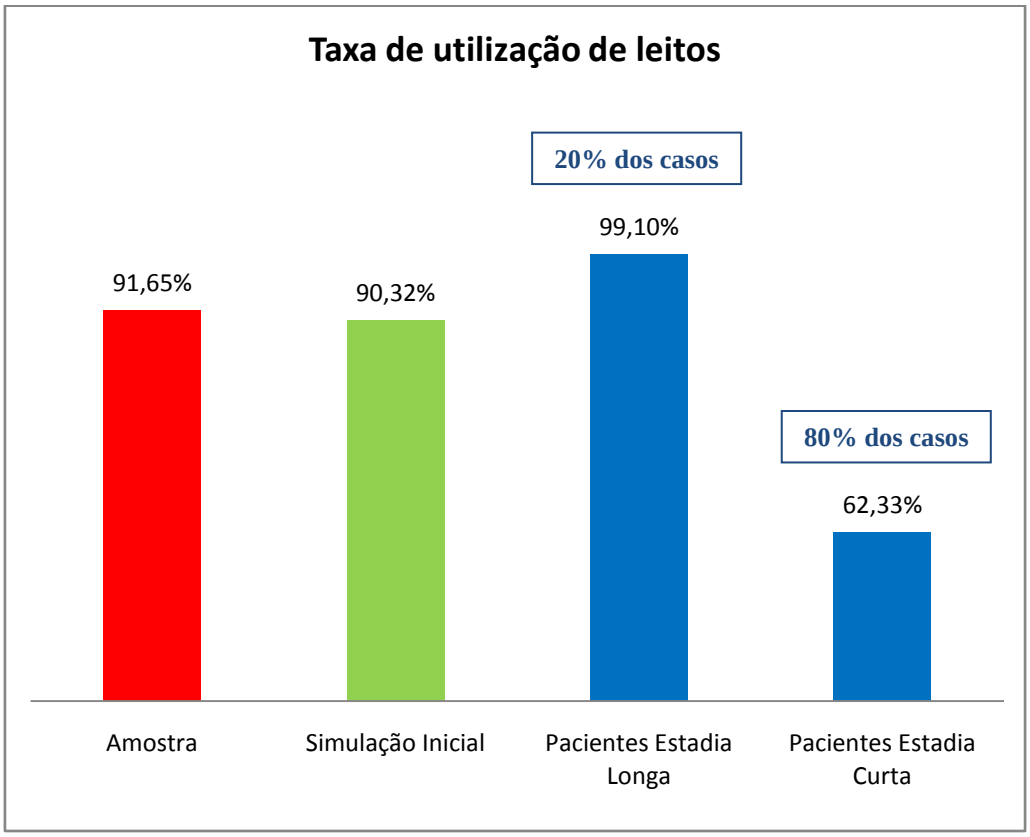

Figura 5.8 – Comparação entre as utilizações de pacientes de Estadia Longa e Curta

Para ambas as figuras anteriores apresentou-se a separação entre os parâmetros para os pacientes que tiveram estadia longa e os que tiveram estadia curta bem como se identificou as proporções para cada caso (80% dos pacientes tiveram estadia curta e 20% longa).

O tempo médio de internação indicado era esperado já que o objetivo desse caso é exatamente separar os pacientes que possuem uma internação longa daqueles que possuem uma internação curta. Portanto o mais importante é analisar o comportamento de ambos os casos no que tange a taxa de utilização de leitos.

Relembra-se que ao se separar o centro cirúrgico em leitos de longa estadia e curta estadia respeitou-se a proporção estimada entre ambos os casos e dividiu-se os recursos em 10 leitos para pacientes longos e 30 leitos para curtos. Com essa configuração observou-se após o intervalo de simulação uma redução para aproximadamente 62% de utilização no caso da estadia

curta e um aumento para 99% no caso da estadia longa. Tais indicadores permitem afirmar que é possível realizar um aumento no fluxo de entrada do sistema para o caso de pacientes de estadia curta, fazendo com que durante um mesmo intervalo de tempo sejam admitidos mais pacientes e, conseqüentemente, sejam realizadas mais cirurgias.

Entretanto é necessário realizar uma análise mais profunda a fim de se obter a correta divisão entre leitos que melhor otimizaria o desempenho do sistema, bem como se deve analisar o impacto de se atender casos de cirurgias de longa estadia separadamente de cirurgias de curta estadia.

5.5 – Análise de implantação das otimizações

É necessário não apenas analisar o possível comportamento das otimizações propostas como também se deve comentar a possível implementação de tais modelos no sistema físico.

Como já ilustrado, dois métodos de melhorias foram propostos sendo o primeiro voltado aos processos do sistema e o segundo aos recursos. Fica claro que aumentar os recursos como método de otimização irá decididamente melhorar o desempenho do hospital.Porém sabe-seque,devido a restrições não apenas físicas como também de verba (por se tratar de um hospital público), esse método pode muitas vezes não ser aplicado. Esse estudo não propôs analisar a disponibilidade financeira para futuros investimentos do departamento hospitalar do HU-USP, portanto não é possível indicar o impacto orçamentário que tal modificação causaria.

Já no que tange as modificações de processos dentro do departamento foram propostas duas mudanças. A primeira consistia em criar leitos específicos para cada classe de variação estimada do paciente no momento em que esse entra no processo hospitalar. Consistia então em se basear no histórico de determinado procedimento e alocar o paciente em leitos rápidos ou longos (estadia curta ou longa). Espera-se que realizando tal separação seja possível otimizar os processos e aumentar o fluxo atual de cirurgias realizadas por mês. Porém tem-se que por se tratar de um ambiente altamente estocástico é difícil garantir que todo paciente que a princípio seja de estadia curta não ultrapasse o tempo limite de seu leito. Acredita-se, porém, que esse método irá garantir que não aconteçam casos onde a maioria dos pacientes atualmente no

hospital sejam aqueles de estadia longa o que implicaria em um atraso no desempenho geral do sistema.

A segunda proposta que visa modificar o sistema consistia em eliminar o processo de pré análise do departamento cirúrgico realocando-o para a clínica médica. Dessa forma todos os pacientes que entrarem no centro cirúrgico já estariam prontos para a cirurgia bastando um breve intervalo de tempo de espera em fila. A dificuldade de implantação nesse caso consiste em estudar a viabilidade de se agregar um novo processo na clínica médica, o que infelizmente levaria a necessidade de maiores recursos físicos (leitos, enfermeiros, etc) para esse departamento, recaindo no caso em que se estudou o aumento dos recursos hospitalares.

Infelizmente o estudo de viabilidade das propostas é extenso e requer uma análise mais detalhada não apenas dos recursos orçamentários como também os físicos do hospital. O objetivo desse trabalho não é entrar em maiores detalhes já que o proposto era estudar o desempenho atual do sistema e testar semelhante desempenho de simulações computacionais que possam vir a servir como alternativa para o mesmo.

6. COMPARAÇÃO COM O ESTUDO DE CASO ITALIANO

Para finalizar o estudo propõe-se dedicar um breve capítulo à comparação entre ambos os estudos de casos realizados, analisando o caso do Hospital Universitário da USP e o Hospital Universitário Molinette de Torino (Itália). Serão apresentadas as semelhanças e diferenças básicas entre ambos os casos e uma análise macro do desempenho de ambos será comentada.

Primeiramente deve-se destacar a existência de grandes diferenças entre ambos os casos. No Hospital Universitário da USP foi estudado todo o desempenho de um departamento cirúrgico completo que realiza todo tipo de operação, tendo a sua disposição cerca de 40 leitos e 5 salas cirúrgicas. Já no caso italiano foi estudado apenas um departamento específico (cirurgias oncológicas) que consistia em 25 leitos e apenas 1 sala de operação. Ressalta-se também que o caso da USP apresentava vasta integração com outras áreas do hospital, diferentemente do caso da Itália onde havia vasta independência dos outros departamentos hospitalares.

Devido a tal discrepância de magnitudes a amostra obtida para o caso do HU-USP foi relativamente maior que o caso do Hospital Molinette de Torino, porém acredita-se que análises comparativas no que tange o desempenho de ambos os casos podem ser realizadas já que ambos os departamentos analisados lidavam com cirurgias eletivas em sua maioria e apenas alguns casos emergenciais.

Salienta-se que as propostas de otimizações em ambos os hospitais foram divididas em aumentos em recursos e modificações em processos, de forma que é possível realizar uma comparação breve dos resultados.

É possível comparar de forma mais clara ambos os estudos de caso através da seguinte tabela.

Tabela 6.1 – Resultados comparativos do caso brasileiro e italiano

		CONTROLE		***MODIFICAÇÕES***				
				Aumento em recursos		***Modificações em Processos***		
		Amostra	***Simulação Inicial***	***Maior número de leitos***	***Maior quantidade de salas cirúrgicas***	***Pré Análise fora do Centro Cirúrgico***	***Divisão de Pacientes***	
							Estadia Longa	***Estadia Curta***
Estudo de caso brasileiro (HU-USP)	Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,20 dias↓8%	2,95 dias↓15%	3,02 dias↓13%	9,80 dias↑181%	2,40 dias↓31%
	Utilização de leitos	91,65%	90,32%	81,95%↓8%	84,84%↓5%	88,14%↓2%	99,10%↑9%	62,33%↓28%
Estudo de caso italiano (Molinette)	Tempo de internação	9,1 dias	8,9 dias	8,6 dias↓3%	6,7 dias↓25%	8,4 dias↓6%	15,7 dias↑76%	6,8 dias↓24%
	Utilização de leitos	79%	80%	69%↓11%	53%↓27%	72%↓8%	81%↑1%	74%↓6%

Na tabela anterior é possível não apenas comparar os parâmetros mas também está indicado o quanto eles melhoram ou pioram com relação ao controle (no caso considerando-se uma comparação direta com a simulação inicial).

Percebe-se claramente que para ambos os casos uma maior quantidade de salas cirúrgicas seria a modificação que implicaria em melhor desempenho. Tal afirmação é consistente pois em ambos os casos o processo cirúrgico é o gargalo do sistema sendo limitado pelo seu número total de recursos (número fixo de salas).

Interessante porém é notar ligeira diferenças no caso da divisão de pacientes em estadia Longa e Curta. Percebeu-se um melhor desempenho desse modelo no caso italiano do que no hospital brasileiro. Acredita-se que tal discrepância deriva da existência de uma melhor distribuição dos pacientes no hospital da Itália onde, por se tratar de um departamento específico de oncologia e não uma clínica geral é possível realizar uma melhor distribuição dos pacientes de acordo com dados históricos cirúrgicos.

Já observando-se as outras modificações propostas (exclusão da pré-análise do departamento e aumento do número de leitos) obteve-se valores semelhantes para ambos os casos.

7. CONCLUSÕES FINAIS

O esperado com esse trabalhoera realizar uma análise geralista dos processos existentes no departamento Centro Cirúrgico do Hospital Universitário da USP, realizando estudos analíticos e de funcionalidade, bem como determinando os parâmetros e índices de desempenho do mesmo.

Os dados obtidos através de visitas de campo e de tabelas históricas hospitalares permitiram uma ampla abordagem do sistema e inúmeras considerações foram realizadas de modo à melhor estudar a planta física. Com os devidos dados em mãos foi possível construir um fluxo dos processos e analisar suas relações com os recursos utilizados, de modo a constituir a base de entrada da simulação computacional.

Utilizando o software de simulação de processos foi possível reproduzir computacionalmente o comportamento do sistema, determinando seus índices de desempenho de forma gráfica, possibilitando direta comparação com os valores obtidos através da extração direta dos dados de entrada.

A comparação entre o caso simulado e o real provou baixas divergências entre ambos, o que garante confiabilidade à representação computacional. Portanto, como essa se porta como uma fiel representação da planta física, é possível analisar modificações na mesma e testá-las computacionalmente, visando no futuro aplicar as otimizações obtidas no sistema real.

Por fim, implementações e melhorias ao atual sistema foram propostas e testadas. Além disso, comparações diretas do estudo de caso do HU-USP com o semelhante caso estudado na Itália foram realizadas, onde os respectivos índices dedesempenhoforam comparados bem como as distinções e semelhanças que cada caso apresentou foram analisadas.

7.1 – Dificuldades encontradas

O aluno encontrou uma ligeira dificuldade de marcar entrevistas com encarregados do sistema logístico do HU-USP. Porém, foi realizada, através de contatos do aluno com residentes da medicina, uma primeira conversa com o superintendente geral do hospital, Prof. Dr. Paulo Andrade Lotufo. Este se demonstrou disposto a auxiliar no projeto, uma vez que a resolução do mesmo trará possíveis benefícios a uma das áreas de maior criticalidade em hospitais (nesse

casoa alocação de recursos e o fluxo de processos). Tal superintendente possibilitou que o aluno obtivesse contatos com os atuais responsáveis do gerenciamento de leitos Dr. Carlos Eduardo Marcello e Dra. Lucia Mendes.

Mesmo com um contato direto com os responsáveis ainda se demonstrou difícil a coleta de dados, novamente devido à intensa carga horária impostaaos responsáveis de um hospital de tamanha magnitude como o HU-USP.

Com relação às análises incial, alguns *outliers* foram encontrados e houve a necessidade de filtrar certos dados. Entendeu-se através de discussões com os responsáveis pela área que certas informações não puderam ser asseguradas, como por exemplo o horário em que cada cirurgia iniciava e terminava (houveram afirmações de que tais dados poderiam não condizer com os reais). Tais parâmetros podem contribuir a uma maior variância, como a encontrada nos resultados do software.

Aproveitando para comentar a respeito da simulação computacional, é sempre uma tarefa árdua representar fielmente um sistema físico através de um programa de simulações, independente da sua linguagem. Diversas iterações foram necessárias para se obter a simulação final apresentada, e ainda assim sua representação divergiu ligeiramente dos dados reais (porém dentro do esperado). O que convém em tais métodos computacionais é a possibilidade de se analisar implementações e modificações sem causar perjúrio ao sistema físico real. Caso o obtido pela simulação se mostre estável e eficiente quando imposto uma modificação drástica em seu fluxo, é muito provável que o sistema real comporte-se semelhantemente.

Portanto, obteve-se os resultados esperados e os pequenos distúrbios encontrados não foram de magnitude significativa de modo a influenciar o estudo e o seu objetivo.

7.2 – Proposição de trabalhos e estudos futuros

É do conhecimento geral que recursos hospitalares são, em sua maioria, escassos e caros, ainda mais quando se trata da rede pública. Dessa forma é necessário que administradores de hospitais estejam sempre balanceando de forma adequada o serviço de saúde com a utilização de

recursos. Tem-se também a criação de novas técnicas de operação e de gerencia hospitalar que visam auxiliar médicos e administradores em suas decisões diárias, servindo-se muitas vezes de ferramentas computacionais para garantir um sistema eficiente e que visa sempre a qualidade de atendimento ao paciente.

Logo é possível concluir que a contribuição de todas as áreas hospitalar junto com a cooperação de todo o sistema é crítico para o sucesso da gerência do fluxo de pacientes. Além disso é intuitivo que melhorias na admissão e processo de pacientes leva a um bem estar da população bem como diminui o número de complicações e pode inclusive reduzir a taxa de mortalidade hospitalar.

Porém na maioria dos hospitais da rede pública (incluindo o caso estudado nesse trabalho) a alocação de leitos e a utilização das salas cirúrgicas são realizadas por métodos desatualizados e ineficientes, em muitos casos sem programação prévia nenhuma e com pouco auxílio computacional. No caso estudado percebeu-se que raramente utiliza-se o histórico de pacientes de forma eficiente bem como não são realizados estudos que estimem instantaneamente o tempo de espera em leito dos pacientes.

Percebeu-se também que, ao contrário dos hospitais particulares de primeira linha onde são utilizados sistemas informatizados de automação e que possibilitam dados instantâneos do número de pacientes sendo atendidos, no caso estudado, por se tratar da rede pública, realizam-se apenas relatórios mensais que indicam ineficientemente a taxa de utilização dos leitos hospitalares e das salas cirúrgicas.

A utilização de métodos de automatização e de controle instantâneo (monitoramento) são de suma importância em hospitais, porém não existem ainda ferramentas físicas e computacionais de baixo custo que atendam de forma eficiente tais necessidades, impossibilitando assim o gasto da verba pública hospitalar em tais mecanismos uma vez que é necessário atender a prioridade de outros recursos hospitalares como remédios, leitos cirúrgicos, equipamentos de operação, etc.

Entre os possíveis estudos futuros que podem ser realizados no que tange o tema fluxo de pacientes e utilização de recursos em hospitais da rede pública estão os seguintes:

- Implementar o cargo degerente de fluxo de pacientes, responsável por garantir a transferência entre processos e utilização de leitos de forma eficiente e estável;

- Impor permissões a enfermeiros e residentes que os possibilitem realizar a alta médica a pacientes, reduzindo o tempo total de internação;

- Integrar eficientemente os processos de registro e triagem hospitalar;

- Criar salas e leitos específicos para pacientes que aguardam transporte, medicação final ou até mesmo educação médica mas que não tem a necessidade de se ocupar de um leito destinado a pacientes cirúrgicos;

- Implementar incentivos financeiros e não financeiros para médicos e enfermeiros que sejam eficientes e que reduzam o tempo total de internação de seus pacientes;

-Estabelecer sistemas de monitoramento para determinar a capacidade instantânea hospitalar bem como indicar a proximidade do limite máximo de operação garantindo que sempre hajam leitos reservados para urgências;

- Monitorar os estoques de recursos e estudar a implantação de processos lean (manufatura enxuta) de forma a reduzir principalmente excessos de material.

Porém, ressalta-se por mais uma vez que por ser altamente estocástico o processo hospitalar apresenta sempre um alto nível de dificuldade em ser simulado e controlado. Problemas surgem de várias fontes e os encarregados da gestão devem sempre buscar novas inovações e idéias a fim de desenvolver metodologias mais apuradas e eficientes.

Espera-se que esse trabalho sirva como base para futuros estudos que procurem, principalmente, retirar dos médicos e gerentes o encargo de inferir na entrada dos pacientes bem como estarem obrigatoriamente coordenando todas as etapas do fluxo hospitalar. Acredita-se que é possível, através das novas ferramentas tecnológicas, não apenas monitorar a atual utilização de recursos hospitalares mas também otimizar o sistema como um todo, atendendo um maior número de pacientes e contribuindo para reduzir o tempo total de internação. Resultando assim numa melhoria da saúde pública.

BIBLIOGRAFIA

ADELE M. & CHRISTOS V. *Length of stay-based patient flow models: recent developments and future directions*. Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, Queens.University of Belfast, Belfast, UK. 2005

AYFUR A. & BENJAMIN M. *Simulation Modeling and Analysis with Arena*.Academic Press.Department of Industrial Engineering and Department of Management Science and Information Systems.Rutgers University. 2005

BITTAR O. J. N. V. *Hospital: qualidade & produtividade.* Sarvier. São Paulo. 1997.

BITTAR O. J. N. V. *Gestão de processos e certificação para qualidade em saúde.* Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, São Paulo, SP. 2000

DEVORE J.R. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*.Duxbury Press. 6th Edition. 2003

DOGLEI A.F. & DEMARCHI C. & ROSA F.J. *Modelagem e simulação de uma linha de produção para bancos automotivos.* Automação de Processos Industriais. UTFPR. 2007

FERREIRA L. & ANDRADE R. & WANGENHEIM A.V. *Workflow: Uma solução efetiva para o Gerenciamento Hospitalar*. The Cyclops Project. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, Brasil. 2000

KELTON W. & SADOWSKI, R.P. *Simulation with Arena*. Fourth Edition.McGraw Hill. 2007

MARSHALL A. *Patient flow models*.Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, Queens.Harrow School of Computer Science, University of Westminster. 2005

MARSHALL A. & MCCLEAN S. *Conditional phase-type distributions for modelling patient length of stay in hospital*. Queen's University of Belfast, Northern Ireland. 2003

MCCLEAN S. & FADDY M. Markov model-based clustering for efficient patient care: Computer-Based Medical Systems. Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems. 2005.

MEDEIROS D. J. & SWENSON E. & DEFLITCH C. *Improving patient flow in a hospital emergency department*.Industrial and Manufacturing Engineering.Department of Emergency Medicine.Penn State University.Penn State Hershey Medical Center. 2008

MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e Operações*. 3ª Ed. São Paulo. Editora Pioneira. 1998.

MURRAY J.C. *Patient Flow and resource utilization in an outpatient clinic*.Department of Health Care Administration, Trinity University. 1999

MURRAY J.C. & WILLIAM E.S.*An Erlang-based stochastic model for patient Flow*.Department of Health Care Administration, Trinity University. 2000

OLIVEIRA D.P R. *Sistemas, Organização & Métodos*. São Paulo, SP. Editora Atlas. 2002

PARNELL, J.M. *Improving Patient Flow in America's Safety Net Hospitals: An Ethical Obligation to the Nation's Underserved Populations*. Clinical Director of Pediatric Outreach and Clinical Affairs.National Association of Public hospitals and Health Care Systems. 2005

SHACHTMAN R.H. & SCHOENFELDER J.R. & HOGUE C.J. *Using a stochastic model to investigate time to absorption distributions*. Operations Research. 1981

SLACK N. et. al. *Administração da Produção*. São Paulo. Editora Atlas. 1997.

STAFFORD Jr. E.F. & AGGARWAL S.C. *Managerial analysis and decision-making in outpatient health clinics*.Journal of the Operational Research Society. 1999

VISSERB J.M.H.*Patient flow-based allocation of inpatient resources: A case study*. Faculty of Technology Management.Eindhoven University of Technology.Netherlands. 1998

ANEXOS

ANEXO A..... 86
ANEXO B..... 87
ANEXO C..... 89
ANEXO D..... 95