



SPOLM 2008

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2008.

## **SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS APLICADO EM MANUTENÇÃO DE TOMÓGRAFOS HOSPITALARES**

**Elcio Ribeiro Lima Filho**

Engenharia de Produção – UGF

[elcio.lima@toshibamedical.com.br](mailto:elcio.lima@toshibamedical.com.br)

**Rodrigo Carvalho Pereira**

Engenharia de Produção – UGF

[rodrigo.pereira1@gerdau.com.br](mailto:rodrigo.pereira1@gerdau.com.br)

**Vinícius Freire de Castro**

Engenharia de Produção – UGF

[vinicius\\_f\\_c@hotmail.com](mailto:vinicius_f_c@hotmail.com)

**Prof. M.Sc. Marco Antonio Ribeiro de Almeida**

Engenharia de Produção – UGF

Doutorando – PENO/COPPE/UFRJ

[marcoalmeida@ugf.br](mailto:marcoalmeida@ugf.br)

[marcoalmeida@peno.coppe.ufrj.br](mailto:marcoalmeida@peno.coppe.ufrj.br)

### **RESUMO**

A simulação de eventos discretos vem sendo usada enormemente e com sucesso para modelar sistemas hospitalares e clínicas de saúde com o objetivo de melhorar os seus resultados financeiros e operacionais, pois nas últimas décadas, os custos hospitalares têm crescido dramaticamente e ao mesmo tempo as empresas da área de saúde tem sofrido pressões para fornecer serviços de melhor qualidade aos seus pacientes. Gestores têm usado simulação de eventos discretos como ferramenta para tomada de decisão em várias aplicações como alocação de recursos escassos, fluxo de pacientes, no setor de emergência; e simultaneamente aumentar a satisfação dos pacientes e diminuir os custos dos serviços. Entretanto, mesmo com o sucesso da simulação a nível operacional muito pouco trabalho tem se dedicado a simulação de manutenção em equipamentos hospitalares. Assim, neste trabalho foi desenvolvido um modelo de simulação pelo software Arena para verificar as conseqüências decorrentes de uma parada inesperada de um tomógrafo em dois hospitais, sendo um público e outro privado.

**Palavras-Chaves:** Simulação; Eventos-discretos; tomografia computadorizada, manutenção hospitalar.

### **ABSTRACT**

Discrete-events have been implemented to simulate a healthcare clinic and systems of clinics with a view to their improvement. This technique of mathematical modeling has become more and more widely used because of the pressure resulting from a high level of quality for patient care while reducing costs. However, a despite this success with simulation at on operational level, there is few work reported that uses discrete event simulation applied in healthcare

maintenance. This paper develops an Arena simulation model to analyse the consequences of the breakdown of computerised tomography.

**Keywords:** *Simulation; Discrete-events; computerised tomography; healthcare maintenance.*

## 1. Introdução

As técnicas de modelagem matemática têm sido aplicadas em projetos e análises de operações das instalações de hospitais e clínicas de saúde ao longo das últimas décadas (McGuire, 1994; Drevna e Kasales, 1994).

Uma das várias razões para o crescimento das técnicas de modelagem matemática é a redução da pressão por qualidade nas prestações de serviços das empresas de saúde pelos usuários desses serviços, como na redução dos custos operacionais e conseqüentemente aumento das receitas.

As técnicas de modelagem matemática incluem simulação, análise estatística, otimização entre outros que permitem otimizar recursos escassos sujeitos as várias restrições (Evans e Unger, 1996).

A aplicação da técnica de simulação por eventos discretos em organizações da área de saúde tem sido desenvolvida ao longo dos anos no Brasil, ver (Coelli *et al*, 2006) como no exterior (Boginski et al, 2007; Gunal e Pidd, 2005; Blasak e Armel, 2003). Contudo, nota-se que poucos trabalhos tem se dedicado a simulação de manutenção em equipamentos hospitalares.

Portanto, a proposta deste artigo é o desenvolvimento de um modelo de simulação pelo software Arena para verificar as conseqüências decorrentes de uma parada inesperada de um tomógrafo em dois hospitais, sendo um público e outro privado.

## 2. Manutenção

A partir da década de 80, do século passado a manutenção deixou de ser uma simples atividade de reparo para se tornar um meio essencial ao alcance dos objetivos e metas da organização. Coloca-se estrategicamente como parte fundamental do processo produtivo em um ambiente onde cada vez mais se utilizam equipamentos de última geração, com os mais modernos sistemas mecânicos e eletro-eletrônicos de maior grau de complexidade, alto custo e exigências elevadas quanto ao nível da manutenção.

A maior complexidade dos equipamentos e diversidade dos ativos físicos fizeram da manutenção uma função igualmente complexa, levando ao desenvolvimento de novas técnicas, modernas ferramentas de gestão e abordagens inovadoras quanto à organização e estratégia de manutenção.

Gerenciar corretamente esses modernos meios de produção exige conhecimentos de métodos e sistemas de planejamento, programação, controle e execução que sejam ao mesmo tempo eficientes e economicamente viáveis.

Equipamentos parados em momentos inoportunos comprometem a produção e podem significar perdas irrecuperáveis em um ambiente altamente competitivo.

Além do caráter tecnológico envolvido neste processo, a mudança exige também novas atitudes e habilidades do pessoal de manutenção. É preciso, sobretudo uma visão sistêmica do negócio, espírito de equipe e uma disposição irrevogável de mudar paradigmas e assumir desafios (Calil, 1998).

### 2.1. Rotinas de Manutenção: Corretiva e Preventiva

Na manutenção é fundamental definir dois conceitos básicos: falha e defeito. A falha é a cessão da capacidade ou habilidade de um equipamento em desempenhar sua função para

qual foi requisitada ou especificada. É o término da capacidade de um componente ou peça de desempenhar sua função durante um período de tempo, no qual o item deverá sofrer manutenção ou ser substituído. A falha leva o equipamento ao estado de indisponibilidade. Um defeito é toda a alteração na função desempenhada por um bem. Não causa paralisação do equipamento, porém ele opera em condições anormais, ou seja, em modo degradado da função, apresentando perda de produtividade, qualidade, entre outras (Tavares, 1999).

Na manutenção, basicamente encontramos dois tipos de atividades: corretiva e preventiva (Calil, 1998).

A *manutenção corretiva* é a atividade mais primária de manutenção; pode sintetizar-se pelo ciclo quebra-repara, ou seja, o reparo dos equipamentos após a avaria. Constitui a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista total do sistema. Também este tipo de manutenção pode ser dividida em *Corretiva Programada* que é utilizada nos casos em que a falha não leva à indisponibilidade do equipamento e em casos onde o custo envolvido é menor que o custo de Manutenção Preventiva. Geralmente, realizada em um item quando o defeito já foi identificado, restituindo à condição admissível, sendo que de forma planejada para um determinado instante e *Corretiva Não-Programada ou Emergencial* que é todo o trabalho de manutenção imediato, realizado em equipamentos que estejam em falha.

A *manutenção preventiva* obedece a um padrão previamente esquematizado, que estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir a troca de peças gastas por novas, assegurando assim o funcionamento perfeito da máquina por um período pré-determinado.

A manutenção preventiva deve ser sistematizada para que o fluxo dos trabalhos se processe de modo correto e rápido. Sob esse aspecto, é necessário estabelecer qual deverá ser o sistema de informações empregado e os procedimentos adotados. O desenvolvimento de um sistema de informações deve apresentar definições claras e objetivas; e conter a delegação das responsabilidades de todos os elementos participantes. O fluxo das informações deverá fluir rapidamente entre todos os envolvidos na manutenção preventiva.

Por isso, para um perfeito andamento do processo, é de suma importância que todos os dados sejam transformados em informações, avaliando-se o seu grau de relevância, para que todos os itens inerentes ao sistema possam ser identificados e quantificados, e a partir daí criar um padrão de manutenção eficaz e eficiente.

A execução das manutenções preventivas deve seguir sistematicamente o cronograma definido no plano elaborado. Mesmo com a ocorrência de corretivas, o plano não pode ser atrasado, pois caso haja uma interrupção da rotina de preventiva, o sistema torna-se vulnerável aumentando muito o risco do surgimento de novas corretivas.

A manutenção preventiva em equipamentos de tomografia, segue basicamente esses mesmos princípios. Existe um fluxograma de atendimento onde estão descritas todas as etapas, com todas os dados necessários para um bom atendimento.

### **3. Equipamento de tomografia computadorizada**

Tomografia por computador, técnica de diagnóstico não invasivo, radiografia, computadores digitais, manipulação rápida de sinais analógicos e um sistema altamente sofisticado de formação de imagens, utilizando como base a coleta de informações através dos raios X; estas técnicas combinadas em um só aparelho proporcionam uma grande resolução de imagem, que permite individualizar as menores anomalias do corpo humano (Barsali, 1983).

O termo *tomografia* tem sua raiz na palavra grega *tómos*, que significa literalmente pedaço. É basicamente isso que faz a tomografia em nosso corpo: apresenta uma vista em corte do mesmo; esse corte é transversal e não longitudinal como estamos acostumados a ver nas radiografias convencionais (Kak, 1979).

Os fótons de raios X são basicamente os mesmos que os fótons de luz visíveis, mas

têm muito mais energia. Este nível de energia mais alto permite que os feixes de raios X passem direto através da maioria do material macio do corpo humano, registrando assim basicamente uma sombra em filme fotográfico.

No aparelho de raios X tradicional, a pessoa é simplesmente exposta à radiação vinda de uma ampola fixa, capaz de deslocar-se apenas para cima e para baixo, a fim de focalizar as partes de interesse no interior do corpo. Após atravessar a pessoa, a radiação impressiona o filme fotográfico, por trás da mesa de exame com todos os detalhes das partes pelas quais passou. A imagem torna-se possível porque os tecidos absorvem os raios X em níveis diferentes, formando regiões claras e escuras no filme.

Se utilizarmos, porém, ao invés de um *facho* de radiação, um feixe colimado, bastante estreito, define um plano vertical na pessoa, tão fino quanto o próprio feixe. Aumentando a radiação para vários feixes colimados paralelos ou um facho estreito, em forma de leque, o feixe de raios X se move ao redor do paciente, digitalizando centenas de ângulos diferentes, podendo cobrir toda área que nos interessa, na cabeça ou no corpo do paciente. Ao invés de impressionar diretamente em um filme com a radiação útil, ela será enviada a um conjunto de detectores, onde teremos uma seqüência de sinais elétricos que serão processados por meio de um computador. Estas informações formam uma imagem em 3-D que é apresentada em um terminal de vídeo (Kak, 1979).

Com a ajuda do computador, podemos focalizar ora os ossos, ora os tecidos mais moles, com uma só varredura; modificar o contraste entre as áreas a vontade; alterar a resolução das imagens; ampliar determinadas regiões, com qualquer formato, sempre com indicação do tamanho da área; sobrepor setas e cursores indicativos, histogramas, grades; e, depois de selecionar as imagens desejadas, passá-las diretamente a uma máquina reprodutora, que pode imprimi-las em papel ou película.

### 3.1. Princípios de funcionamento

O primeiro tomógrafo comercial surgiu em 1972. Seu inventor não tinha relação com a eletromedicina. O engenheiro de áudio da EMI inglesa, Hounsfield, teve a idéia de construir o tomógrafo a partir de conversas que mantinha com um médico seu amigo, que lhe falava da dificuldade de se obter radiografias rápidas e precisas do corpo humano (Barsali, 1983)

O protótipo de tomógrafo levava algumas horas para fazer a varredura para formar a imagem, e os primeiros aparelhos comercializados, em alguns minutos. Atualmente, com o avanço da tecnologia, estas varreduras são realizadas em segundos, expondo o paciente a uma dosagem mínima de raios X. O paciente permanece deitado em uma mesa, enquanto é varrido por um feixe colimado, em forma de leque, sob vários ângulos; atualmente esta varredura é feita em 360°; e para cada corte, o sistema recolhe mais de 100 mil níveis de absorção, sob a forma de sinais elétricos. À medida que a exploração vai evoluindo, reunindo medições sob todos os ângulos, o computador recebe esses milhares de níveis diferentes de absorção e os processa para formar uma matriz, que é guardada em sua memória; em seguida, essa matriz de níveis vai se transformar em uma outra, com milhares de elementos de imagem na tela do monitor.

Atualmente, o método de varredura para efetuar a aquisição das imagens são os feixes em forma de leque, os detectores giram com o tubo de raios X em torno do paciente, com o incremento contínuo do tampo da mesa, na direção de entrada o saída do *gantry*<sup>1</sup>. Os sinais para reconstrução das imagens são originados no detector que os converte em sinais elétricos; os mais utilizados são os de xenônio e os cristais de cintilação. Cada detector de xenônio contém gás sob pressão e 3 eletrodos, sendo um central e dois laterais, submetidos a uma alta tensão. Os fótons de raios X, ao adentrarem a câmara de detector, provocam

---

<sup>1</sup> Componente do Tomógrafo; suporte circular onde está instalada a ampola de raios e o detector responsável por captar a radiação.

ionizações com uma probabilidade que depende da extensão do mesmo e da pressão do gás. Assim, a corrente resultante pelos eletrodos é diretamente proporcional à radiação incidente. Os detectores de cintilação, por sua vez, é um cristal normalmente de iodeto de cézio. Os cristais cumprem duas funções no tomógrafo: em primeiro lugar, eles aprisionam grande parte dos fótons de raios X que os atingem, com uma eficiência que depende da energia desses fótons, então eles são absorvidos fotoeletricamente, resultando na produção de elétrons secundários; tendo como segunda função a conversão de energia cinética dos elétrons secundários em luz. Estes sinais são recolhidos e processados pelo computador que os expõe à tela, para serem analisados. Uma conclusão intuitiva é que essa representação deve se basear no nível de absorção de raios X verificado em cada órgão ou tecido do corpo humano. Assim, por exemplo, as áreas que menos absorvem radiação podem estar representadas em níveis mais claros, enquanto que as mais absorventes ficariam mais escuras. Para melhor análise dos níveis de absorção, foi criada uma escala de unidades de tomografia, denominada escala de Hounsfield, em homenagem ao idealizador do processo. Essa escala varia entre -1000 e 1000, onde a água encontra-se no nível igual a zero; no nível positivo encontra-se: sangue, osso...; no negativo encontra-se: gordura, ar, etc. Para apresentar a imagem final, o computador calcula a atenuação de cada um dos elementos da matriz e dispõe todos os valores em seus respectivos endereços. Na formação da imagem, cada um dos valores numéricos assim distribuídos recebe o nível de cinza correspondente ao seu grau de atenuação. A estas escalas foram atribuídos nada menos que 256 níveis de cinza, todos reconhecíveis pelo computador. Porém, nossos olhos só conseguem individualizar entre 15 e 30 níveis, do branco ao preto. Devido a isto, surgiu o conceito de janela em tomografia que consiste, basicamente, em ampliar pequenas partes da escala Hounsfield, conferindo a elas um número reduzido de níveis de cinza. A janela tem plena mobilidade, podendo ser ampliada, reduzida e deslocada ao longo de toda a escala de unidades tomográficas. Além disso, a distribuição de valores de cinza entre preto e branco pode ser alterada da forma linear para outra logarítmica, por exemplo. Assim, consegue-se mais um recurso para destacar fronteiras entre áreas adjacentes ou contrastar certos pontos de maior interesse, em detrimento de outros (Kak, 1979).

Conclui-se, portanto, que a tomografia permite uma focalização rápida e segura das várias partes situadas na área visada do corpo, pelo simples deslocamento da janela e pela alteração de alguns parâmetros que determinam a distribuição de níveis ao longo da escala. Portanto, em uma única varredura, o computador armazena todas as informações possíveis sobre a área varrida; a partir daí, o operador pode selecionar essas informações a vontade, realçando continuamente certas partes em relação a outras.

Entre a coleta de dados, através de inúmeras projeções, e a exibição da imagem na tela, existe muito trabalho para o computador. Em alguns segundos, ele deve reunir todas as leituras efetuadas em uma matriz de pontos na tela, formando uma imagem nítida e bem definida, denominada de processo de reconstrução da imagem (Figura 1). O computador se utiliza de uma ferramenta matemática, denominado algoritmo de filtragem e retroprojeção. Com ela o computador é capaz de reconstruir um corte transversal do corpo humano, à partir das várias projeções parciais. A projeção de um corte do corpo humano é definida pela função bidimensional  $f(x,y)$ . A linha AB, definida pela equação  $x\cos\theta + y\sin\theta$ , que atravessa o corte dos feixes de radiação (raio), forma uma integral ao longo desse raio que é chamada de integral de raio e um conjunto dessas integrais é chamada de projeção. A integral da função  $F(x,y)$  ao longo dessa linha é dada pela transformação de Radon, definindo as projeções paralelas. Por sua vez a transformada inversa de Fourier no domínio da frequência, por toda a banda passante do sistema (Kak, 1979).

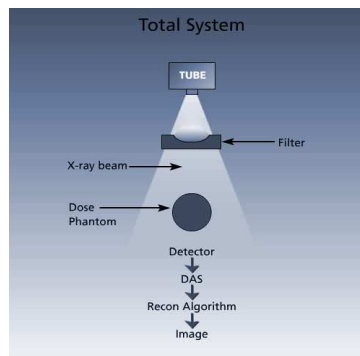


Figura 1 – Sistema de reconstrução de imagem, Toshiba.

Baseado nessas equações, o computador realiza a implementação digital do algoritmo de reconstrução em duas etapas principais: filtragem e retroprojeção.

Segundo Barsali (1983) se o corpo humano for dividido em pequenos cubos, cada um com valor específico de absorção, então a soma da absorção de cada cubo atravessando será igual à absorção total sofrida pelos raios X durante a sua passagem. Cada um desses cubos é denominado *voxel*; o *voxel* é, portanto, a menor unidade volumétrica que compõe a matriz. Cada um possui um valor específico de atenuação ou densidade. Na imagem final, cada *voxel* será representado por um pixel e receberá uma cor da escala cinza dependendo do seu valor. Por isso, os tecidos são classificados de acordo com a cor dos pixels que os compõem em hipodensos (escuras), isodensos (cinza) e hiperdensos (brancos).

#### 4. Simulação Computacional

Simulação consiste em empregar técnicas matemáticas com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real (Prado, 1999).

O mercado está cada vez mais competitivo o que leva as empresas a reduzir custos; uma forma de fazê-lo é a otimização de processos, mas de tal forma que não tenha perda na qualidade do serviço. Com a evolução da informática e o aparecimento de ferramentas computacionais, a Simulação Computacional se tornou uma importante ferramenta na melhoria de processos e tomada de decisão.

A simulação pode ajudar a identificar como o sistema está funcionando, esta fase pode se chamar de avaliação. A pergunta chave é: Quão eficiente e eficaz está a operação atualmente? Outra finalidade da simulação é responder perguntas do tipo: O que aconteceria se (*What if*)? e assim, desenvolver cenários de como o sistema pode funcionar no futuro. Torna-se uma ferramenta de análise de impacto de mudanças. Em virtude da grande versatilidade e flexibilidade, a simulação computacional pode ser aplicada em diversas áreas, podendo representar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real (Kelton, Sadowski e Sturrock, 2004).

Uma vez que a simulação pode ser encarada como uma metodologia experimental e aplicada, faz-se necessário o uso de uma abordagem sistêmica, pois se busca analisar o desempenho total do sistema e não apenas de suas partes. Isso significa que quando se tem uma parte do sistema otimizada, não necessariamente o desempenho global também estará funcionando da mesma forma; é preciso observar a interação das partes.

A simulação computacional vem evoluindo ao longo dos anos e esse processo se iniciou em 1950, onde foram originadas as linguagens computacionais utilizadas em programas de simulação. O técnico que iria desenvolver o programa ou que iria operar o modelo utilizado na empresa deveria ter um grande conhecimento de programação

computacional. Outro problema é que muito dos computadores da época não eram capazes de executar os programas de simulação. Mas, a partir de 1980, tanto os computadores quanto os programas foram se desenvolvendo, os computadores se tornando cada vez mais rápidos e os programas de simulação cada vez mais precisos na reprodução de sistemas, até chegar aos programas que conhecemos hoje.

Atualmente, a simulação é uma técnica de planejamento muito difundida, principalmente nos EUA, Japão e Europa. No Brasil, esta técnica vem sendo utilizada desde 1970, pelas grandes empresas.

Simulação computacional é uma ferramenta usada para estudar reações de um determinado sistema através de modelos. A simulação representa na totalidade ou em parte o comportamento de um determinado sistema, obtendo dados importantes para análise detalhada de processos, o que facilita a manipulação do mesmo. A simulação computacional permite criar modelos de um sistema real, onde se podem fazer alterações a fim de realizar estudos, mas sem necessidade de alterar o sistema na prática.

Os modelos de simulação podem ser classificados em (Altiok e Melamed, 2007):

**Estático ou Dinâmico:** os modelos estáticos representam o estado de um sistema que em suas formulações não levam em consideração a variável tempo; o tempo é fixo. Já os modelos dinâmicos representam as alterações de estado do sistema ao longo da contagem de tempo de simulação, o tempo é variável.

**Contínuo ou Discreto:** modelos contínuos, o avanço do tempo acontece de forma contínua; ou seja, o estado do sistema pode mudar continuamente com o tempo. Caso contrário é um modelo discreto.

**Determinístico ou Estocástico:** modelos determinísticos são aqueles que não têm entradas aleatórias, onde o comportamento é completamente previsível. E modelos estocásticos utilizam variáveis aleatórias ou descritas por distribuições de probabilidade.

A simulação computacional é uma excelente ferramenta utilizada no estudo de pesquisa operacional, e caracteriza-se por oferecer uma grande flexibilidade a este estudo. As grandes vantagens em utilizar esta ferramenta estão descritos a seguir (Kelton, Sadowski e Sturrock, 2004):

- O modelo criado em uma simulação pode ser utilizado várias vezes, para que possa ser realizado um estudo detalhado do modelo. Podem-se fazer alterações no modelo até que sejam atendidas as necessidades esperadas e assim poder aplicar no sistema real;
- O tempo pode ser manipulado facilmente, onde se pode realizar simulações de forma lenta ou acelerada, de acordo com a necessidade do projeto, a fim de poder realizar um estudo melhor do modelo;
- Uma simulação normalmente mostra, de uma forma bem real, como um sistema opera;
- O custo de uma experimentação direta pode inviabilizar a realização de um projeto. As simulações têm custos bem menores do que uma experimentação direta e pode realizar uma experimentação de forma bem real e com resultados muito satisfatórios;
- A experimentação direta pode causar prejuízos, pois às vezes é necessário parar um processo produtivo para realizar um experimento, e assim a empresa deixa de produzir. Com a simulação se podem tirar conclusões sem precisar alterar as atividades da empresa e
- Na simulação se tem garantia de segurança dos envolvidos no projeto, já que para realizar os modelos não se correm riscos de acidentes.

Simulação é um processo amplo, compreendendo não somente a construção do

modelo, mas também todo o método experimental que se segue, buscando:

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas e
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados.

## 5. Estudo de Caso

É extremamente importante que sejam feitas manutenções em equipamentos médicos, para que estes trabalhem em ótimas condições de operação e segurança, evitando problemas de perda de receita, pelo lado do setor privado e sociais se considerarmos um hospital público. A manutenção preventiva é essencial para este propósito. Efetuando-se uma revisão preventiva, o equipamento que apresenta defeito pode ser analisado e reparado antes que aconteça uma falha. O estudo e seus resultados estão diretamente relacionados com a área hospitalar, onde os clientes diretos são hospitais e clínicas. Como o projeto pretende avaliar a disponibilidade do equipamento de tomografia computadorizada, temos, por conseqüência, os clientes indiretos que são os pacientes, que necessitam do uso da técnica de tomografia para diagnósticos de doenças.

O equipamento em estudo é composto por três módulos:

- 1º *Gantry* (gerador de raios x, servo de giro, placas de interfaces e fontes);
- 2º Mesa de paciente (motor hidráulico e servo de posicionamento) e
- 3º Console (monitor de vídeo, mouse, painel de controle e unidade de processamento).

O equipamento de tomografia computadorizada da Toshiba apresenta atrás do *gantry*, um contador de exposições de raios X por cada corte realizado. Este contador nos dá parâmetros para os desgastes dos componentes eletromecânicos, providenciando assim sua substituição (Fujise, 2006).

Nas visitas de manutenção preventiva, são realizadas verificações conforme *check-list*, elaborado pelo fabricante, onde todos os pontos que possam ocasionar falhas são verificados.

### 5.1. Processo de trabalho

O fluxograma do processo de atendimento no software Arena tem como objetivo principal obter dados que permitam avaliar detalhadamente os aspectos e impactos inerentes aos processos de manutenção corretiva e preventiva. A partir daí é possível demonstrar para os gestores as vantagens de se ter um bom sistema de manutenção.

Segue abaixo a seqüência básica de atendimento, tanto para o hospital privado como público, para que sejam feitos exames de tomografia computadorizada.

- 1) O paciente chega na emergência e vai para o setor de tomografia computadorizada.
- 2) O atendente faz a triagem, caso o tomógrafo esteja parado, o paciente é informado de que o equipamento está com problemas e transferido para outro hospital.
- 3) O atendente faz a triagem, caso o tomógrafo esteja em condições de operação, o



paciente faz o exame.

4) O paciente é liberado.

## 5.2. Levantamento de Dados

Uma planilha contendo todos os atendimentos num período de 1 (um) ano é utilizada como referência das amostras. A média de tempo entre falhas é contabilizada, assim como a média de tempo para reparo, gerando assim as distribuições estatísticas, produzidas pela ferramenta do *Arena Input Analyser*, caracterizando o processo de atendimento.

Com o intuito de evitarmos excesso de informação e possíveis erros de análises os dados para este projeto serão retirados de 2 hospitais, sendo 1 hospital particular com contrato de manutenção preventiva (modelo 1) e 1 hospital público sem contrato de manutenção preventiva (modelo 2). Os tomógrafos dos dois hospitais estão no setor de emergência e trabalham vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana.

Os tempos de falhas são disparados a partir da parada de operação dos equipamentos nos locais de funcionamento.

A seguir os dados do modelo 1 na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do Modelo 1 – Hospital Particular.

Parâmetros do Modelo	Valores
1. Chegada de clientes	Chegada Máxima: Infinito
1.1. Intervalo entre chegada em minutos	10 + LOGN(48.9,85.6)
2. Processo de Atendimento na triagem	Standard
2.1. Recurso: Atendente	1
2.2. Tempo de Atendimento em minutos	Normal (15, 0.3)
3. Decisão por condição	State(Equipamento Hosp Part) = -4
4. Processo de Atendimento no tomógrafo	Other
4.1. Recurso: Tomógrafo	1
4.2. Recurso: Médico	1
4.3. Tipo de Falha no tomógrafo:	Preventiva e corretiva
5. Tempo de Atendimento no tomógrafo em minutos	TRIA( 20, 30 , 40)
6. Liberação dos recursos	Tomógrafo e Médico
7. Saída do paciente do setor de tomografia	Fim
8. Dados da Falha Preventiva (preempt):	Por tempo
8.1. Tempo entre Falhas (Up to Time) em dias	14.5 + 78*BETA(1.25,0.255)
8.2. Tempo de Manutenção (Down Time) em horas	Normal (8 ,0.632 )
9. Dados da Falha Corretiva (Ignore):	Por tempo
9.1. Tempo entre Falhas (Up to Time) em dias	TRIA( 76 , 187 , 546 )
9.2. Tempo de Manutenção (Down Time) em horas	13.5+GAMM( 3.04 ,1.25 )

A seguir os dados do modelo 2 na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do Modelo 2 – Hospital Público.

Parâmetros do Modelo	Valores
1. Chegada de clientes	Chegada Máxima: Infinito
1.1. Intervalo entre chegada em minutos	10 + EXPO( 29.2 )
2. Processo de Atendimento na triagem	Standard
2.1. Recurso: Atendente	1
2.2. Tempo de Atendimento em minutos	Normal (30, 0.2)
3. Decisão por condição	State(Equipamento Hosp Pub) = -4
4. Processo de Atendimento no tomógrafo	Other
4.1. Recurso: Tomógrafo	1

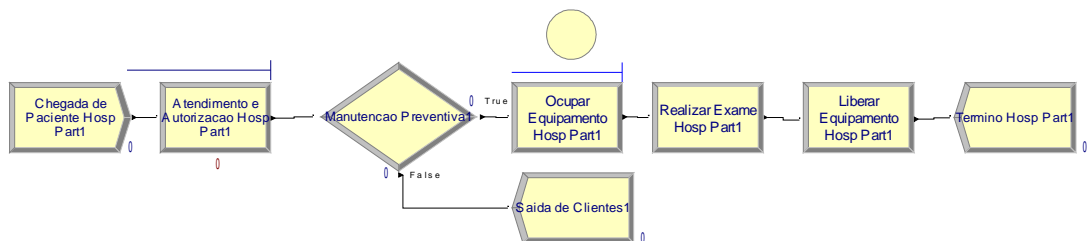
4.2. Recurso: Médico	1
4.3. Tipo de Falha no tomógrafo:	Corretiva
5. Tempo de Atendimento no tomógrafo em minutos	TRIA( 20, 30 , 40 )
6. Liberação dos recursos	Tomógrafo e Médico
7. Saída do paciente do setor de tomografia	Fim
8. Dados da Falha Corretiva (Ignore):	Por tempo
8.1. Tempo entre Falhas (Up to Time) em dias	11.5 + WEIB( 46.5 , 2.29 )
8.2. Tempo de Manutenção (Down Time) em horas	350+69*GAMM(0.574 ,0.529 )

## 6. Modelagem e Resultados

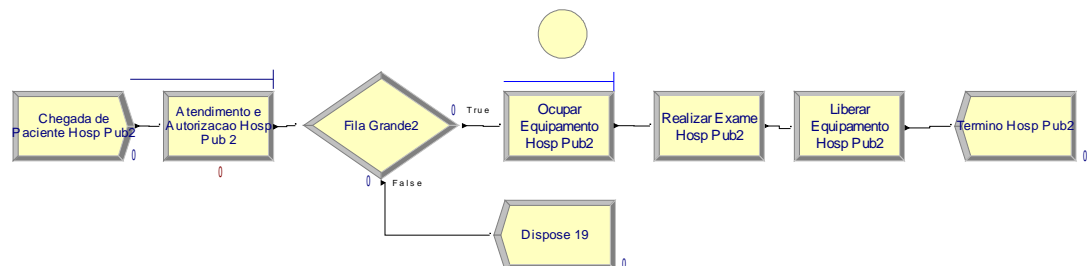
A modelagem no software Arena é realizada integralmente a partir do fluxograma dos processos de atendimento, onde todas as etapas são descritas e tratadas como parte intrinsecamente necessária para um bom aproveitamento do modelo.

Dois modelos são utilizados com o intuito de simular as falhas inerentes aos equipamentos de tomografia tornando a utilização do Arena muito mais dinâmica e proporcionando uma melhor visualização do processo que está sendo analisado.

### Modelo 1 – Hospital Particular



### Modelo 2 – Hospital Público



Os modelos gerados responderão as perguntas: 1) Se houver aumento da demanda como o sistema responderá? 2) Os recursos utilizados nos sistemas são satisfatórios? Os resultados deste projeto são analisados com o objetivo de se propor aos gestores desses hospitais a necessidade de se ter uma manutenção bem planejada e estruturada. Para tanto, são analisados os seguintes indicadores de desempenho: O tempo de tomógrafo parado para corretiva/preventiva, tempo médio de espera do paciente na fila do tomógrafo, número médio de paciente na fila do tomógrafo, taxa de utilização do tomógrafo. Os modelos foram executados por um período de 365 dias.

### 6.1. Resultados e Análise

Os resultados dos modelos e cenários gerados estão indicados nas tabelas abaixo. Sendo que os cenários estão indicados a seguir.

Tabela 3 – Cenários elaborados

<b>CENÁRIOS</b>	<b>Hospital Particular Taxa de chegada</b>	<b>Hospital Público Taxa de chegada</b>
<b>CENÁRIO 1</b>	9 + LOGN(48.9, 85.6)	9 + EXPO(29.2)
<b>CENÁRIO 2</b>	8 + LOGN(48.9, 85.6)	8 + EXPO(29.2)
<b>CENÁRIO 3</b>	7 + LOGN(48.9, 85.6)	7 + EXPO(29.2)
<b>CENÁRIO 4</b>	6 + LOGN(48.9, 85.6)	6 + EXPO(29.2)
<b>CENÁRIO 5</b>	5 + LOGN(48.9, 85.6)	5 + EXPO(29.2)

Tabela 4 – Indicadores de Desempenho para Hospital Particular: Tomógrafo

<b>HOSPITAL PARTICULAR - DADOS DO TOMÓGRAFO</b>			
<b>Taxa de Chegada (minutos)</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO</b>		
	<b>Tempo Médio na Fila (pacientes) - horas</b>	<b>Número Médio na Fila (pacientes)</b>	<b>Taxa de Utilização (tomógrafo)</b>
10 + LOGN(48.9, 85.6)	0,1982	0,1967	0,4973
9 + LOGN(48.9, 85.6)	0,2048	0,2101	0,5128
8 + LOGN(48.9, 85.6)	0,2298	0,2330	0,5064
7 + LOGN(48.9, 85.6)	0,2876	0,3046	0,5303
6 + LOGN(48.9, 85.6)	0,3136	0,3369	0,5376
5 + LOGN(48.9, 85.6)	0,3850	0,4156	0,5424

Tabela 5 – Indicadores de Desempenho para Hospital Público: Tomógrafo

<b>HOSPITAL PÚBLICO - DADOS DO TOMÓGRAFO</b>			
<b>Taxa de Chegada (minutos)</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO</b>		
	<b>Tempo Médio na Fila (pacientes) - horas</b>	<b>Número Médio na Fila (pacientes)</b>	<b>Taxa de Utilização (tomógrafo)</b>
10 + EXPO(29.2)	0,1758	0,2128	0,6059
9 + EXPO(29.2)	0,1453	0,1893	0,6524
8 + EXPO(29.2)	0,1380	0,1817	0,6593
7 + EXPO(29.2)	0,1817	0,2583	0,7119
6 + EXPO(29.2)	0,2787	0,3926	0,7063
5 + EXPO(29.2)	0,3043	0,4429	0,7281

Tabela 6 – Frequência de Ocorrência de Falhas: Hospital Particular

<b>HOSPITAL PARTICULAR</b>						
<b>Taxa de Chegada (minutos)</b>	<b>Frequência</b>					
	<b>Ocupado</b>		<b>Em Falha</b>		<b>Ocioso</b>	
	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>
10 + LOGN(48.9, 85.6)	1,1015	3.955	9,61	5	1,1008	3.957
9 + LOGN(48.9, 85.6)	1,1373	3.950	9,17	5	1,0688	3.950
8 + LOGN(48.9, 85.6)	1,1773	3.768	12,01	6	1,1281	3.769
7 + LOGN(48.9, 85.6)	1,2947	3.588	10,15	6	1,1295	3.589
6 + LOGN(48.9, 85.6)	1,3553	3.475	9,51	5	1,1522	3.474
5 + LOGN(48.9, 85.6)	1,4434	3.280	9,39	5	1,2126	3.281

Tabela 7 – Frequência de Ocorrência de Falhas: Hospital Público

<b>HOSPITAL PÚBLICO</b>						
<b>Taxa de Chegada (minutos)</b>	<b>Frequência</b>					
	<b>Ocupado</b>		<b>Em Falha</b>		<b>Ocioso</b>	
	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>	<b>Tempo (h)</b>	<b>Observações</b>

10 + EXPO(29.2)	1,0266	5.170	368,92	5	0,3112	5.167
9 + EXPO(29.2)	1,1117	5.141	368,78	4	0,3053	5.142
8 + EXPO(29.2)	1,2540	4.606	419,20	4	0,2838	4.606
7 + EXPO(29.2)	1,3986	4.459	405,17	3	0,2935	4.457
6 + EXPO(29.2)	1,5612	3.963	374,94	4	0,2710	3.960
5 + EXPO(29.2)	1,7596	3.625	367,82	4	0,2512	3.624

Tabela 8 – Número de pacientes Atendidos ou Não Atendidos

<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	39	8.692	8.731
<b>Hospital Público</b>	2.887	10.602	13.489
<b>Total</b>	2.926	19.294	22.220

Tabela 9 – Cenários: Número de pacientes Atendidos ou Não Atendidos

<b>CENÁRIO 1</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	40	8.983	9.023
<b>Hospital Público</b>	2.351	11.412	13.763
<b>Total</b>	2.391	20.395	22.786
<b>CENÁRIO 2</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	78	8.880	8.958
<b>Hospital Público</b>	2.663	11.533	14.196
<b>Total</b>	2.741	20.413	23.154
<b>CENÁRIO 3</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	66	9.277	9.343
<b>Hospital Público</b>	2.010	12.452	14.462
<b>Total</b>	2.076	21.729	23.805
<b>CENÁRIO 4</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	41	9.409	9.450
<b>Hospital Público</b>	2.552	12.341	14.893
<b>Total</b>	2.593	21.750	24.343
<b>CENÁRIO 5</b>	<b>Cientes Não Atendidos</b>	<b>Cientes Atendidos</b>	<b>Total</b>
<b>Hospital Particular</b>	49	9.456	9.505
<b>Hospital Público</b>	2.579	12.746	15.325
<b>Total</b>	2.628	22.202	24.830

A análise inicial trata dos resultados que validaram os modelos. Neste caso, os resultados apresentados refletem a realidade dos dois hospitais validando assim os modelos gerados no Arena. Observa-se que para os modelos validados os seguintes indicadores de desempenho são descritos.

Para o hospital particular, na tabela 6 apresenta 5 falhas e o tempo médio de falha foi de 9,61 horas, ou seja, o tomógrafo ficou 9,61 horas parado para manutenção. Em relação aos pacientes, na tabela 8 somente 39 pacientes não foram atendidos devido as paradas por manutenção corretiva/preventiva. Assim, foram atendidos 8.692 pacientes, totalizando 8.731 pacientes que passaram pelo sistema. O tempo médio na fila foi de 0,1982 horas, o número médio de pacientes na fila foi de 0,1967 e a taxa de utilização do tomógrafo foi de 0,4973, conforme tabela 4.

Para o hospital público, na tabela 7 apresenta 5 falhas e o tempo médio de falha foi de 368,92 horas, ou seja, o tomógrafo ficou 368,92 horas parado para manutenção. Na tabela 8, não foram atendidos 2887 pacientes devido as paradas por manutenção corretiva. Assim, foram atendidos 10.602 pacientes, totalizando 13.489 pacientes que passaram pelo sistema. O tempo médio na fila foi de 0,1758 horas, o número médio de pacientes na fila foi de 0,2128 e a taxa de utilização do tomógrafo foi de 0,6059, conforme tabela 5.

Comparando os resultados verifica-se que a nível operacional, tanto o tempo na fila como o número de pacientes na fila apresentam valores quase iguais. Isto é fato, visto que o

tempo de procedimento para os exames são os mesmos para os hospitais públicos como privados, pois são equipamentos do mesmo fabricante (Toshiba). Quanto a taxa de utilização o tomógrafo do hospital público é mais solicitado já que atende a população como um todo, tanto para quem tem plano de saúde ou não. No hospital particular o paciente tem que ter plano de saúde para ser atendido. Quanto a demora para manutenção, no hospital particular ele tem um contrato de manutenção preventiva. Já o hospital público não tem contrato de manutenção, atua na corretiva. Em função disto, fica claro que a quantidade de pacientes recusados no hospital particular é muito inferior ao do hospital público. Em termos de receita é fundamental para a competitividade deste hospital. Para o hospital público a perda é mais social, uma vez que este não tem como objetivo o lucro e sim atender a população mais necessitada.

Em relação aos cenários gerados temos a tabela 3 informando as variações das taxas de chegada dos dois modelos. Como o objetivo é analisar o aumento da demanda, as taxas de chegada foram sendo diminuídas criando um aumento da demanda, ou seja, diminuíram-se os tempos de intervalo entre chegadas dos dois hospitais.

A análise geral dos cenários demonstra que os modelos novamente respondem bem a realidade, pois a quantidade de pacientes que passaram pelos hospitais aumentou, indicando uma elevação da demanda. Também, observa-se que o hospital privado, para cada cenário gerado, recusa menos pacientes que o hospital público. Os tempos de falha tanto para o hospital privado como o público apresentam uma curva de tendência positiva, ou seja, de aumento o que é normal já que o aumento da demanda gera maior trabalho. O número de pacientes na fila apresenta o mesmo tipo de comportamento. Quanto a taxa de utilização ocorre um aumento ao longo dos cenários para o hospital privado e público. Contudo, percebe-se que existe ainda uma margem grande para se atender uma demanda crescente para o hospital privado. Para o hospital público começa a ficar problemático em relação ao uso do tomógrafo, o que deve ser levado em consideração pela alta gerência quanto as decisões a serem tomadas. Vê-se que a taxa de utilização do tomógrafo do hospital público é sempre maior do que a do hospital particular, já que ele é solicitado uma quantidade maior de vezes porque atende uma quantidade maior de pacientes.

## 7. Conclusão

Um modelo de simulação é uma ferramenta fundamental para enfrentar a diversidade e dinâmica natural de um setor de emergência de um hospital. Isto fica demonstrado em diversos trabalhos desenvolvidos nesta área, tais como: Coelli *et al* (2006), Boginski *et al* (2007); Gunal e Pidd (2005), Blasak e Armel (2003) entre outros.

Neste estudo foi utilizada a ferramenta de simulação Arena para verificar os impactos de uma parada de manutenção preventiva e corretiva em tomógrafos instalados em dois hospitais; um público sem contrato de manutenção e outro privado com contrato de manutenção. O modelo desenvolvido para este trabalho permitiu avaliar vários cenários quanto ao aumento da demanda de pacientes e os seus respectivos impactos nos principais parâmetros que definem o nível de serviço prestado. Desta forma, o trabalho detectou uma recusa grande de pacientes no hospital público devido a demora na manutenção do tomógrafo. O que demonstra a necessidade de se contratar manutenção preventiva. Por sua vez, para o hospital privado verificou-se uma taxa de utilização deste equipamento relativamente baixa, abrindo possibilidade de atender mais paciente e assim, aumentar as suas receitas.

Logo, com este modelo, os gestores ganharam uma ferramenta poderosa para tomada de decisão.

Existem várias possibilidades para se desenvolver extensões desse trabalho. Como exemplo, está em andamento um modelo de simulação para auxiliar no processo de decisão da empresa prestadora de serviços de manutenção quanto a quantidade de técnicos da equipe do

setor de manutenção integrando simultaneamente, as falhas dos tomógrafos dos hospitais, seja público ou privada num cenário de aumento de demanda de serviços.

## 8. Referências Bibliográficas

ALTIOK, T., MELAMED, B. **Simulation Modeling and Analyses with Arena**. Academic Press, 2007.

BARSALI, J. Tomografia por Computador. Revista Nova Eletrônica, n. 75, Maio, 1983.

BLASAK, R.E., ARMEL, W.S. **The Use of Simulation to Evaluate Hospital Operations Between the Emergency Department and a Medical Telemetry Unit**. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*. 2003.

BOGINSKI, V. *et al.* **Simulation and Analysis of Hospital Operations and Resource Utilization Using RFID Data**. IEEE International Conference on RFID. 2007.

CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. **Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares**: volume 11. São Paulo: Fundação Petrópolis, 1998. [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude\\_cidadania\\_volume11.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_cidadania_volume11.pdf). Acesso em: 14 set. 2008.

COELLI, F. C. *et al.* Simulação por eventos discretos aplicada à otimização do atendimento em uma clínica de mamografia. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. Vol. 22, n. 3, pp. 203-212, 2006.

DREVNA, M.C., KASALES, C.J. **Introduction to Arena**. In *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*. 1994.

EVANS, G.W., UNGER, E. **A Simulation Model for Evaluating Personnel Schedules in a Hospital Emergency Department**. In *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*. 1996.

FUJISE, Mr. **Maintenance and inspection manual for whole-body x-ray CT scanner**. 2006. Manual volume único – Toshiba Sistemas Médicos.

GUNAL, M.M., PIDD, M. **Simulation Modelling for Performance Measurement in HealthCare**. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulating Conference*. 2005.

KAK, A.C. **Computerized Tomography with X-ray, Emission and Ultrasound Sources**, *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, n° 9, 1979.

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., STURROCK, D.T. **Simulation with Arena**, Third edition. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2004.

McGUIRE, F. **Using Simulation to reduce length of stay in emergency departments**. In *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*. 1994.

PRADO, D. **Teoria das Filas e Simulação**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.

\_\_\_\_\_. **Usando o Arena em simulação**: série pesquisa operacional volume 3. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.

TAVARES, L. **Administração Moderna da Manutenção**. Nova Polo Publicações, 1999.