

Modelagem e Análise de Serviços de Saúde Baseados em Redes de Petri Interpretadas

Marisa Mitie Miyagi

Hospital Universitário da Universidade de São Paulo
Av. Lineu Prestes, 2565, São Paulo, SP
e-mail: mmmiyagi@usp.br

Paulo Eigi Miyagi

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, São Paulo, SP
e-mail: pemiyagi@usp.br

Marcos Kisil

Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo
Av. Dr. Arnaldo, 715. São Paulo, SP

Este trabalho introduz as Redes de Petri para modelagem e análise de sistemas de saúde que além da complexidade de suas atividades, envolve na sua concepção, implementação, operação e tomada de decisões, vários e diferentes profissionais. Os modelos são desenvolvidos em PFS (Production Flow Schema) e MFG (Mark Flow Graph) que são interpretações de redes de Petri, explicitando os recursos envolvidos e o fluxo de itens (pessoas, equipamentos, informações). Os serviços do Ambulatório do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo são utilizados como estudo de caso para comprovar as vantagens da presente proposta.

Palavras-chave: modelagem de processos, análise de sistemas, redes de Petri, sistemas de saúde

This paper introduces the Petri net for modelling and analysis of health systems where beyond the complexity of they activities, involves in its conception, implementation, operation and decision making several and differents professionals. The models are developed in PFS (Production Flow Schema) and MFG (Mark Flow Graph) that are interpretations of Peri nets aiming the explicit identification of resources and flow of itens (material and information). The services of the ambulatory of Clinic Hospital of University of São Paulo is considered in a case study to confirm the advantages of the proposal.

1. INTRODUÇÃO

Administrar sistemas e serviços de saúde tem exigido um conhecimento e domínio tanto do conceito de processos como das tecnologias de informática relacionadas com coleta e tratamento de dados, tomada de decisões, interface homem-máquina, etc. Neste contexto, os administradores hospitalares têm considerado vários indicadores como média de permanência do paciente, rotatividade do leito, quantidade (peso) de roupa lavada por leito, área limpa por funcionário, quantidade de refeições por leito, quantidade e complexidade de exames por paciente, custo total e custo setorizado, etc. com a finalidade de melhor avaliar os serviços e aperfeiçoá-los sempre que possível. Por outro lado, verifica-se que comparado com um sistema produtivo típico existe uma falta de experiência e prática em técnicas de modelagem e ferramentas computacionais

para a avaliação e tomada de decisões sobre processos e serviços. Assim, este trabalho introduz os conceitos de sistemas a eventos discretos, teorias de redes de Petri e técnicas de simulação para modelagem e análise de sistemas de saúde. A ênfase está na aplicação da teoria de Redes de Petri em função da efetividade desta na modelagem, análise e controle de processos em sistemas complexos, comprovada por inúmeros trabalhos já publicados na área de automação [por ex.:David, 1994; Hasegawa, 1999] e na potencial classificação de sistemas de saúde como sistemas a eventos discretos [Ho, 1992]

Apresenta-se inicialmente os conceitos de organizações complexas, sistemas a eventos discretos (SED) e a teoria de Redes de Petri. A seguir, interpretações para aplicação de Redes de Petri em sistemas de saúde são introduzidas: Production Flow Schema (PFS) e Mark Flow Graph (MFG). O estudo de caso considerado é do

fluxo de pacientes no Ambulatório do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, em que a técnica de modelagem e análise proposta é comparada com as técnicas tradicionalmente utilizadas para análise de serviços de saúde. Por fim apresentam-se as principais conclusões.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Conforme os Relatórios do Banco Mundial, melhorar as condições de saúde da população pode contribuir para o crescimento econômico desta, reduzindo as perdas de produção causadas por doenças do trabalhador, permitindo o uso de recursos que não estariam (totalmente ou parcialmente) acessíveis por motivo de doença, aumentando o número de crianças matriculadas nas escolas e tornando-as mais aptas a evoluir e produzir, e liberando recursos que não sendo utilizados em saúde podem ter outro destino no setor produtivo ou social [Lima, 1998]. Em outras palavras, uma rede assistencial funcional e integrada é fundamental e, neste contexto, o serviço hospitalar tem papel chave. É no hospital que as atividades curativas adquirem maior significado, uma vez que elas possuem uma maior capacidade resolutiva e através do seu serviço de urgência e de emergência evitam o agravamento do estado do paciente. Além disso, os hospitais contribuem efetivamente com a melhora dos indicadores clássicos de mortalidade materna e infantil, auxiliando outros níveis de atendimento em saúde [Paganini, 1994].

Atualmente, o funcionamento dos sistemas e serviços de saúde e em particular nos hospitais, leva em consideração vários conceitos de gerência e avaliação que promovam a qualidade e a eficiência de suas atividades [Bryson, 1989; Certo, 1993; Sanders, 1997]. Neste sentido, existem trabalhos nas áreas da Medicina, Economia, Administração, Engenharia, Sociologia, entre outros, que têm contribuído para o conhecimento destes sistemas, melhorando o seu controle e desempenho dentro de um determinado contexto. Entretanto, persiste a dificuldade de tratamento adequado à flexibilidade e dinâmica destes sistemas.

2.1 Organizações Complexas - Hospital

De acordo com Etzioni [1969] uma "organização" é uma unidade social que é orientada predominantemente para

atingir metas específicas. Assim, "organização complexa" é uma entidade de grande porte como por exemplo: hospitais, universidades, grandes empresas, etc. onde existe uma relação de "consentimento" entre aquele que têm poder e aqueles em quem este poder é exercido.

Segundo Novaes [1992] o hospital é uma organização complexa que envolve:

- Grande número de cargos e funções diferentes (recursos humanos com diferentes qualificações).
- Grande diversidade e quantidade de unidades e departamentos, geralmente independentes entre si.
- Características relacionadas com a população assistida, com as condições políticas, sociais e econômicas da região a que pertence, incluindo o inter-relacionamento entre os dirigentes de hospitais e, entre estes e os gestores da saúde.
- Interferência dos diversos modos de financiamento público e/ou privado e dos vários sistemas de assistência à saúde-doença (por exemplo: homecare, day hospital, etc.).
- Constante pressão para melhora da qualidade e redução de custos.

Ao comparar o sistema de saúde com um sistema produtivo típico pode-se introduzir o conceito de "produtos" hospitalares e a relação entre estes está ilustrada na Fig. 1. Esta figura ilustra como produtos centrais os serviços médicos e, associados a estes serviços, os produtos periféricos necessários para a realização dos produtos centrais indicando que estes componentes estão inter-relacionados entre si e o desempenho de um influencia no funcionamento de outro e ou até no sistema inteiro.

2.2 Sistema Dinâmico a Eventos Discretos - DES

Na modelagem e análise de organizações de saúde, além do problema de identificar todas as formas de interação de suas partes tem-se também a dificuldade de tratar a aleatoriedade dos fluxos de pacientes e de como dimensionar o grau de inadequação ou desatualização da estrutura física e/ou funcional frente as novas demandas de serviço. Também são comuns os casos em que alterações estruturais ou funcionais causam transtornos durante a sua implantação, tornando discutível a melhora da eficiência e/ou qualidade.

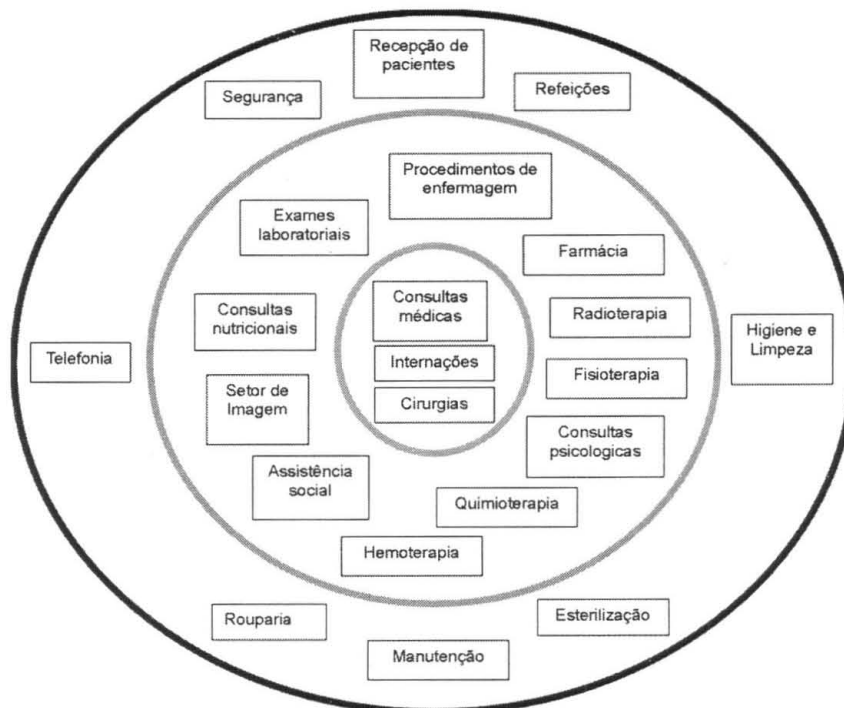


Fig. 1. Alguns “produtos” hospitalares.

Assim, é fundamental um estudo efetivo de cada situação através de modelos que expressem as principais características do objeto de estudo, com precisão e detalhamento suficientes evitando o desperdício de tempo e energia na implementação de mudanças inadequadas [Miyagi PE, 1997]. Um modelo deve ser um meio de abstração do entendimento do sistema e sua documentação deve prover uma visão comum do mesmo a todos os envolvidos.

Considerando-se “estado” do sistema a configuração ou situação em um dado instante, um hospital é um sistema dinâmico onde seus estados mudam ao longo do tempo; é também um sistema a eventos discretos (DES) [Ho, 1992] pois seus componentes (pacientes e recursos) interagem de uma forma discreta. Por exemplo, existe uma quantificação (discreta) do número de pacientes no serviço, médicos, exames, equipamentos, etc. no sistema assim como uma qualificação (discreta) dos serviços executados.

Considerando então um sistema de saúde como um DES, será explicitado a seguir as ferramentas de análise existentes.

2.3 Ferramentas para Análise de Sistema de Saúde

Para análise de sistemas de saúde dentro do contexto de DES, existem atualmente diversos softwares, isto é, programas de simulação discreta disponíveis comercialmente como por exemplo: ProModel-MedModel®, CLINSIM®, Arena-Siman®, SLAM®, etc. [Garcia, 1995; Kirtland, 1995; McGuire, 1994; Pardue, 1995; Paul, 1995]. Entretanto diversos estudos comprovam que estas ferramentas são efetivas apenas quando se utiliza um modelo adequado e, para isto deve-se dispor de [Leemis, 1995; Lowery, 1994]:

- Conhecimento detalhado de todos os fluxos de itens,
- Conhecimento e classificação de todos os tipos de ocorrências,
- Conhecimento da frequência das ocorrências e,
- Conhecimento funcional do software utilizado para avaliação dos resultados.

Os três primeiros itens, frequentemente, não estão disponíveis no início da modelagem, pois, normalmente os gerentes têm pouca ou nenhuma percepção dos fluxos

fora do seu setor, acarretando em inconsistências de informação ao se combinar os vários desenhos de fluxos. Existe nesta fase em retrabalho que necessita ser minimizado a cada introdução de um novo dado.

2.4 Técnicas de Modelagem de DES

Dentre as técnicas de modelagem para análise de DES mais conhecidas têm-se [Cao, 1991; Ho, 1992]:

- Processo Semi Markov Generalizado
- Rede de Filas
- Rede de Petri

Diversos trabalhos confirmam também que para os DES ainda não existe uma técnica geral de modelagem e cada uma das técnicas existentes pode levar a resultados diferentes, pois envolvem pré-requisitos (informações e visões) diferentes para um mesmo objeto. Além disso, todas estas teorias obedecem regras formais relativamente complexas do ponto de vista do gerente de serviços de saúde e, em função disto podem ser interpretadas de diferentes formas.

Entretanto, entre as técnicas propostas, a Rede de Petri é a que apresenta várias características apropriadas para modelar o serviço de saúde [Miyagi MM, 2000]:

- Possui uma representação gráfica relativamente "simples", que permite uma interpretação precisa e que facilita o diálogo entre diferentes equipes que participam da análise do sistema.
- Permite a construção do modelo em diferentes níveis hierárquicos de abstração (com maior ou menor grau de detalhamento).
- Explicita casos em que itens (pacientes, médicos, prontuários, equipamentos, etc.) interagem em situações

de: conflito - ocorrência de competição entre os itens pelo mesmo recurso, paralelismo - ocorrência de eventos em paralelo e, sequencialização - ocorrência de eventos em sequência.

- Possui uma teoria bem fundamentada para a verificação de propriedades qualitativas e quantitativas do sistema.

Enquanto a Rede de Petri pode se concentrar apenas na estrutura lógica do sistema, adiando a inclusão dos tempos e probabilidades para um passo posterior de detalhamento, nas outras técnicas é necessária a inclusão de todas estas informações desde o início da modelagem. Outra característica a ser notada é que as outras teorias geralmente consideram que o processo pode ser definido como um conjunto de fluxo de atividades de sequência fixa, o que não ocorre, necessariamente, nos serviços de saúde.

A Rede de Petri é baseada em poucos elementos estruturais e algumas poucas regras (suficientes para representar a lógica e a dinâmica dos sistemas). Ela permite a representação de estruturas hierárquicas, isto é, dependendo do nível de detalhamento desejado é possível desenhar um fluxo somente das atividades principais (conceituais) e à medida da necessidade, desenha-se modelos mais detalhados [Reisig 1992].

Os elementos estruturais da Rede de Petri representados na Fig. 2 são os seguintes [Peterson 1981]:

- As transições (T) que representam as transições de um estado para outro.
- Os lugares (P) que representam os estados do sistema.
- Os arcos orientados que mostram a sequência de evolução dos estados do sistema.

A manutenção de estados é explicitada com marcas que aparecem e desaparecem dos lugares conforme o sistema evolui de acordo com regras específicas, como na sequência da Fig. 3.

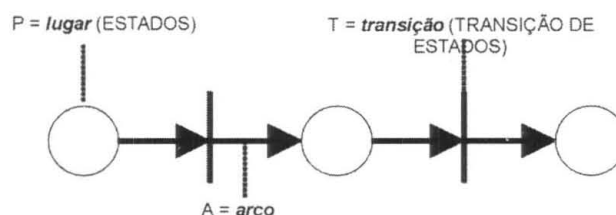


Fig. 2. Elementos estruturais da Rede de Petri.

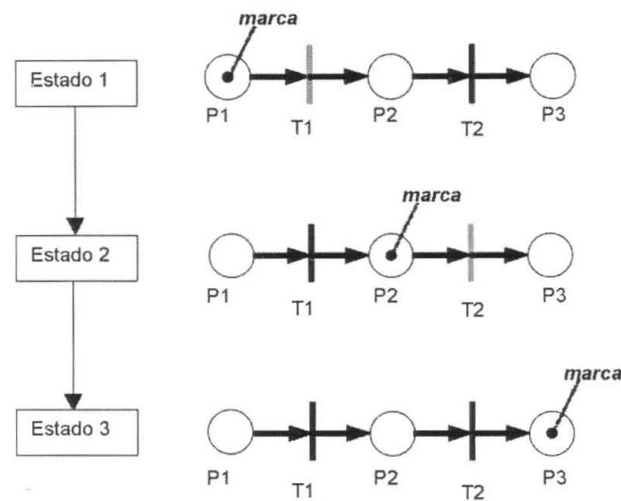


Fig. 3. Representação em Rede de Petri da dinâmica da evolução dos estados.

A evolução dos estados, ilustrado pela evolução da marca na Fig. 3, segue a seguinte regra: quando o evento ou ação associado à transição T1 ocorre, a marca do lugar de entrada P1 é removida e uma marca no lugar de saída P2 é adicionada e assim sucessivamente.

Baseados assim na Rede de Petri, vários pesquisadores e empresas introduziram e/ou adotaram interpretações particulares para os seus elementos visando uma aplicação específica [Santos Filho 1998]. Estas propostas são Redes de Petri distintas do ponto de vista formal pois consideram limitações ou extensões às características dos elementos e regras da rede. Para a aplicação na saúde foram consideradas as redes de Petri interpretadas de aplicação genérica como o Production Flow Schema (PFS) e Mark Flow Graph (MFG) [Miyagi PE, 1996] que serão detalhados a seguir.

3. METODOLOGIA DE MODELAGEM

Na modelagem funcional¹ conceitual², o objetivo é abstrair as características principais para a análise do sistema. Isto envolve a identificação dos relacionamentos precedentes entre as atividades, dos elementos que promovem e controlam o paralelismo dos processos de decisões envolvidos no fluxo dos itens (pacientes,

médicos, equipamentos, prontuários, etc.) e, dos casos de compartilhamento de recursos.

Baseado nas características e propriedades da teoria de Redes de Petri citados anteriormente são introduzidos o PFS e o MFG [Miyagi PE, 1996] para o desenvolvimento de modelos hierarquizados e devidamente interpretados para aplicação em sistemas de saúde.

3.1 Production Flow Schema - PFS

O PFS é uma interpretação da Rede de Petri para a representação num nível conceitual de abstração do sistema sem consideração de sua dinâmica. A premissa é de que adiando a inclusão de regras de dinâmica existe um adiamento no comprometimento do modelo, evitando uma restrição indesejável do detalhamento de um modelo e, as consequências da invalidade de algumas das hipóteses, que podem levar a uma reestruturação onerosa do modelo.

O PFS representa os elementos essenciais do sistema sem detalhá-los, o que pode ser feito posteriormente, de modo sistemático e racional, quando existir um conhecimento mais preciso da dinâmica do fluxo que se deseja estudar.

Os elementos estruturais de um PFS que estão representados na Fig. 4 são:

¹ Os modelos podem ser estruturais ou funcionais. Um modelo estrutural se refere à estrutura e um modelo funcional ou comportamental se refere à funcionalidade.

² O modelo conceitual se refere ao nível de abstração mais alto ou geral (macro modelo).



Fig. 4. Exemplo de um PFS com a identificação de seus elementos estruturais. (fluxo de pacientes que procuram um Centro de Saúde)

- *atividade (componente ativo)* – representa uma ação ou um conjunto de ações que alteram o estado do item.
- *inter-atividade ou distribuidor (componente passivo)* – representa a disponibilização dos itens que fluem no sistema para a visualização dos estados deste.
- *arco (fluxo de materiais, pessoas, informações)* – representa a relação entre uma inter-atividade e uma atividade e vice-versa.

O exemplo da Fig. 4 representa um modelo de fluxo de pacientes em PFS num centro de saúde onde estão representados:

- IA1 = lugar dos usuários que desejam entrar no Centro de Saúde.
- A1 = atividade de atendimento.
- IA2 = lugar dos usuários que saíram do Centro de Saúde.
- arcos indicando o sentido do fluxo dos usuários.

Para a modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o PFS é então devidamente convertido num MFG que detalha o funcionamento dos processos ou serviços no sistema.

3.2 Mark Flow Graph - MFG

Os elementos estruturais do MFG que é também uma representação interpretada derivada das Redes de Petri (do tipo condição-evento), são:

- *box* - representa uma condição
- *transição* - representa um evento
- *marca* - representa a manutenção de uma condição
- *arco* - representa a relação entre as condições e os eventos

- *arco de sinal de saída* - representa um sinal para um elemento externo

- *gate* - representa um sinal que habilita ou inibe um evento

O exemplo considerado na Fig. 5 é o MFG do fluxo do paciente da atividade [atendimento] do PFS da Fig. 4:

- A marcação indica que o estado do sistema atual é “paciente na pré-consulta”.
- Os estados seguintes do modelo são: “paciente na consulta” e “paciente na pós-consulta”, que seriam indicados com a da marca no box “Consulta” e depois no box “Pós-consulta” respectivamente.
- As transições representam as ocorrências dos eventos (“pré-consulta feita”, “consulta feita”, etc.)
- O elemento externo está representando os recursos envolvidos na atividade (médicos, sala, etc.).

Uma característica particularmente importante no MFG e que a diferencia de outras técnicas derivadas da Rede de Petri é a representação explícita de condições externas (ao modelo) que afetam a dinâmica do sistema através de arcos de sinal de saída e gates. Assim, além de manter as características de modelagem e análise das rede de Petri, é efetiva também para especificar e executar estratégias de controle.

A seguir apresenta-se a metodologia de modelagem proposta para sistemas de saúde.

3.3 Metodologia PFS/MFG

A metodologia PFS/MFG consiste na modelagem de sistemas segundo uma abordagem hierárquica. Inicialmente o modelo conceitual do sistema é desenvolvido em PFS onde a ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim

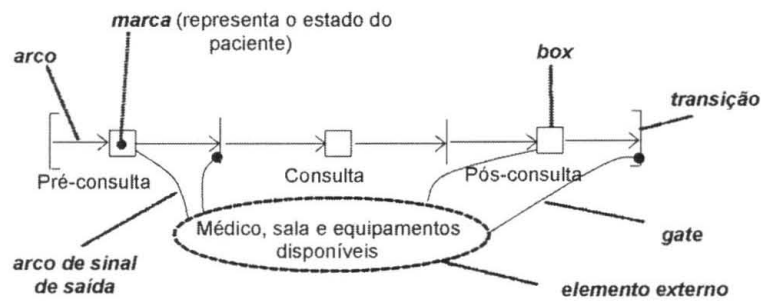


Fig. 5. Exemplo de um MFG com a identificação de seus elementos estruturais (detalhamento funcional da atividade [atendimento] da Fig.7).

como do fluxo de itens (material e/ou informação) entre estes elementos.

A modelagem é assim desenvolvida em níveis, desde uma visão mais geral e conceitual do sistema, até o detalhamento de partes de sub-sistemas. A Fig. 6 ilustra esta abordagem [Miyagi PE, 1996].

De fato, entre o modelo PFS e o modelo em MFG, podem existir diversos níveis intermediários e, esta característica é particularmente útil quando se trabalha com uma equipe multidisciplinar, pois ela facilita a compreensão geral do sistema e das implicações de cada setor. Quando se deseja mais informações de um setor, expande-se o modelo para um nível mais detalhado.

4. ESTUDO DE CASO – AMBULATÓRIO DO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA USP

O estudo de caso considerado é a dos serviços numa parte do Hospital das Clínicas (HC) da Universidade de São Paulo. O HC³ é um complexo hospitalar de grande porte, formado por:

- Seis institutos: (Instituto Central - ICHC que inclui o Prédio dos Ambulatórios – PAMB e, mais outros 5 institutos)
- Dois hospitais auxiliares: Hospital Auxiliar do Cotoxó

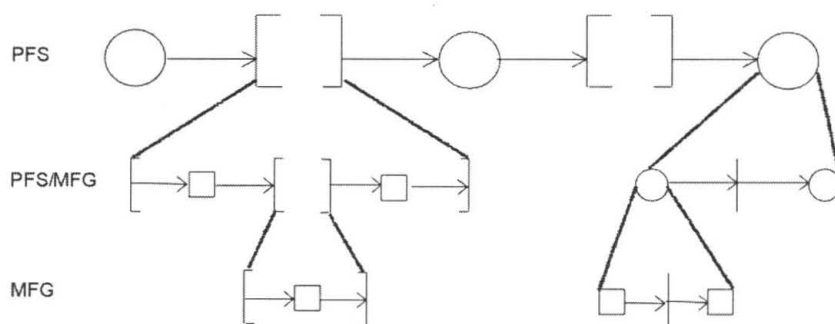


Fig. 6. Exemplo da hierarquia em modelos PFS/MFG.

e Hospital Auxiliar de Suzano

- Uma unidade de Reabilitação: Unidade de Reabilitação Vergueiro

O ICHC tem aproximadamente 900 leitos, 5.000 funcionários e realiza cerca de 53.000 atendimentos por mês no ambulatório ($\pm 2.300/\text{dia}$) [PRODESP 1997a, 1997b].

A modelagem neste caso visa identificar e analisar os fluxos de pacientes que procuram o atendimento do Ambulatório, que são os pacientes não urgentes e, particularmente, daqueles que procuram o serviço pela primeira vez, que são os pacientes do Ambulatório Breve. Desta forma, o estudo foi conduzido de acordo com os passos abaixo para modelar, simular e avaliar se o procedimento proposto é efetivo para auxiliar a tomada de decisões da gerência do sistema:

- Identificação dos fluxos dos pacientes dentro do PAMB do ICHC.
- Definição dos objetivos da modelagem e da análise qualitativa do fluxo de pacientes.
- Coleta de dados do PAMB.
- Construção do modelo utilizando a metodologia PFS/MFG.
- Verificação do modelo através de simulação (evolução das marcas no grafo MFG).
- Validação do modelo através de interpretação dos resultados.
- Pesquisa de alternativas para o aperfeiçoamento do modelo.
- Simulação das alternativas.
- Escolha da melhor alternativa ou da combinação delas.

A coleta de dados é evidentemente uma fase importante na validação do modelo. Entretanto, deve ficar claro que neste trabalho o enfoque está nos aspectos qualitativos do modelo. Portanto, foram colhidos dados suficientes apenas para a validação da proposta.

Baseado nas informações obtidas junto aos profissionais do HC identificou-se o fluxo dos pacientes no serviço ambulatorial e especialmente dos pacientes encaminhados pela primeira vez ao ambulatório. Considerou-se que os pacientes como um dos itens

dentro de um sistema que são objetos de serviços. Assim, todo o modelo é construído seguindo-se as possíveis "rotas" (sequência de serviços) dos pacientes no ambulatório.

Assim, o seguinte procedimento foi adotado:

- Identifica-se como fluxo principal a seqüência de processos (setores de serviços).
- Lista-se os componentes do sistema (serviços, recurso - pessoa, recurso - equipamento, recurso - material, processo, paciente nos diversos estados, locais físicos, eventos, regras, etc.)
- Considera-se os pacientes como itens no contexto do PFS.
- Modela-se os locais onde os pacientes podem ficar como elementos passivos que representam pré e pós-condições dos processos no PFS.
- Elabora-se o PFS onde as atividades e as inter-atividades ("bolsa" de pacientes) e suas relações são explicitadas.
- Deriva-se a seguir o MFG correspondente a cada detalhamento necessário de acordo com uma abordagem hierárquica e modular.
- Valida-se os modelos obtidos em cada nível pelo estudo comparativo da dinâmica do modelo com a especificação estabelecida pelos especialistas da área.

O modelo em PFS do fluxo de pacientes que vêm ao HC está ilustrado na parte superior da Fig. 7. Após passar pela "Recepção" os pacientes podem passar pelos setores de "Registro Geral", "Consulta médica especializada", "Laboratório de Análises Clínicas", "Setor de Imagens", "Farmácia", entre vários outros como é detalhado na parte inferior da mesma figura.

Para ilustrar a versatilidade desse modelo no tratamento de seqüências de ocorrências não fixas, foi desenvolvido um PFS específico, onde os pacientes saem de um o setor e retornam para uma "bolsa" de pacientes, representado pela "macro" inter-atividade entre as passagens pela "recepção" e "saída do HC", ilustrado na Fig. 7. Este modelo em PFS identifica um fluxo principal onde pacientes entram no HC, passam pela recepção e depois pode participar de outros fluxos de outros setores do HC e/ou sair do HC.

Para facilitar a visualização o modelo da Fig. 7 é convertido em uma seqüência linear de atividades

desdobrando-se a inter-atividade - "bolsa" de pacientes - em duas inter-atividades (evidentemente relacionadas), como indica a Fig. 8. Com o desdobramento desta inter-atividade, os grafos tanto em PFS como em MFG serão desenhados como um caso de sequência simples de atividades (evidentemente, se for necessário, no detalhamento destas inter-atividades, as restrições gerais da "bolsa de pacientes" devem ser consideradas).

A Fig. 8 ilustra também que a partir do PFS pode-se detalhar as atividades, como o da [consulta médica] que pode ser, em princípio, de dois tipos: o fluxo de pacientes que passam pelo Ambulatório Breve e o fluxo dos pacientes com matrícula no HC. Assim, o PFS do fluxo de pacientes que passam na consulta do Ambulatório Breve pela primeira vez é ilustrado na Fig. 9.

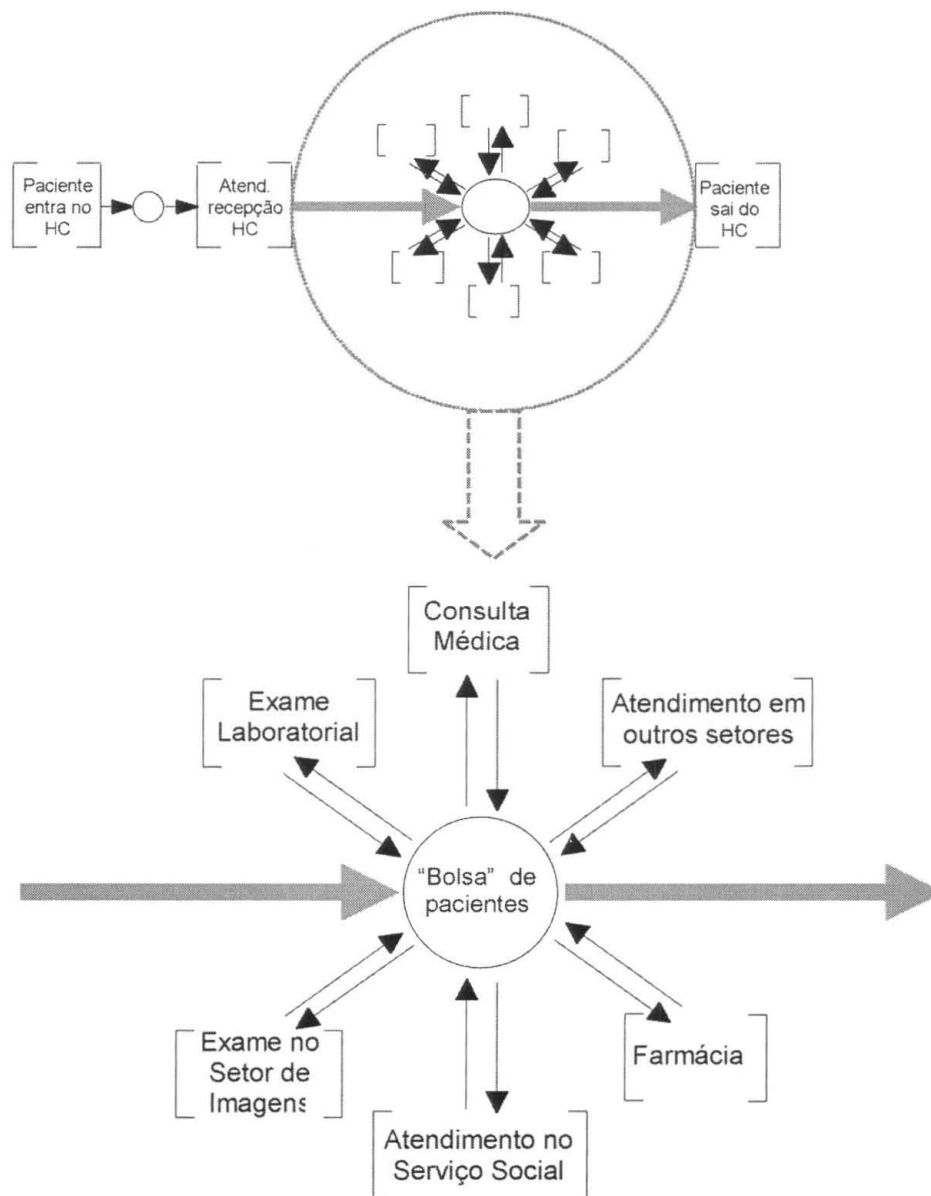


Fig. 7. PFS do fluxo dos pacientes no HC.

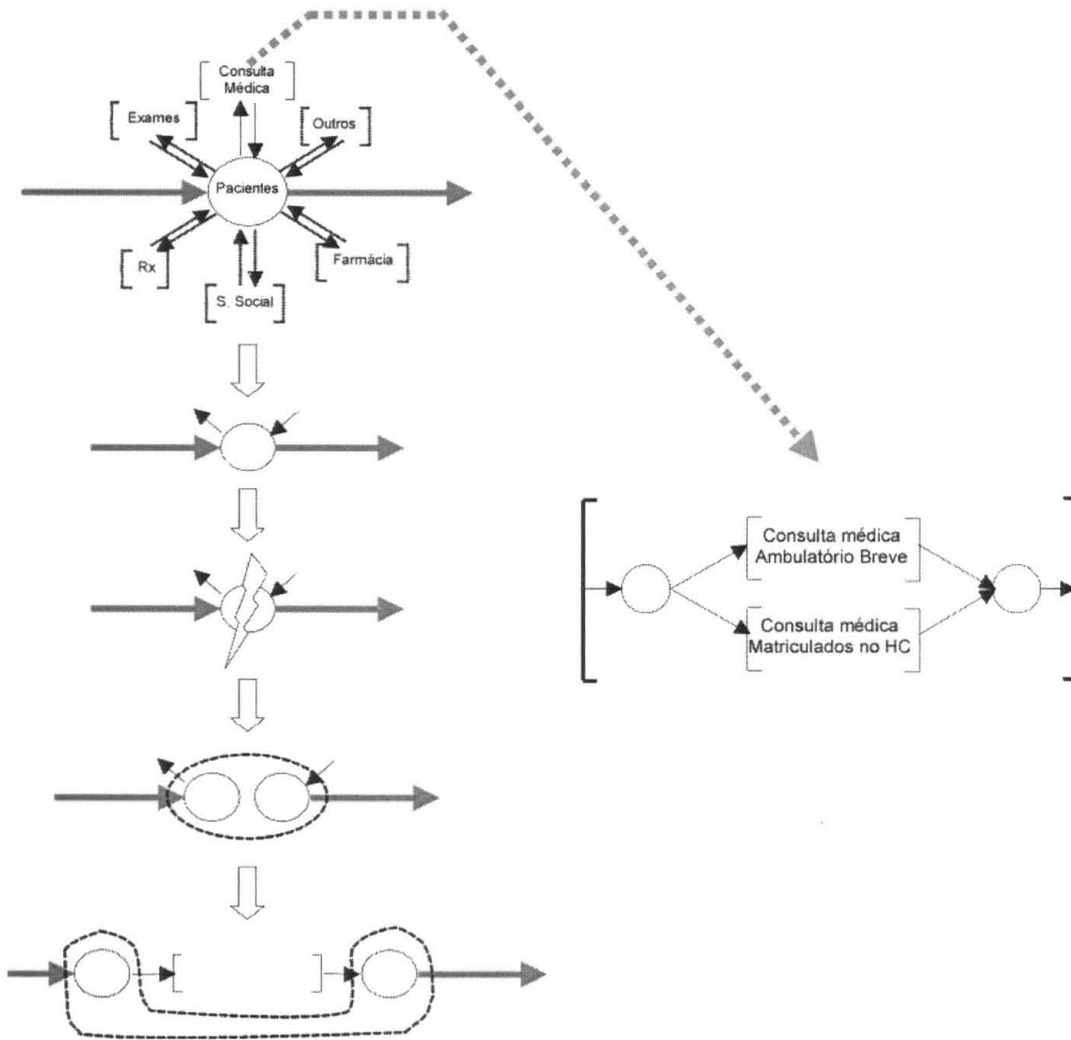


Fig. 8. Transformação do PFS da Fig. 7 em um PFS de fluxo linear e detalhamento da atividade [consulta médica].

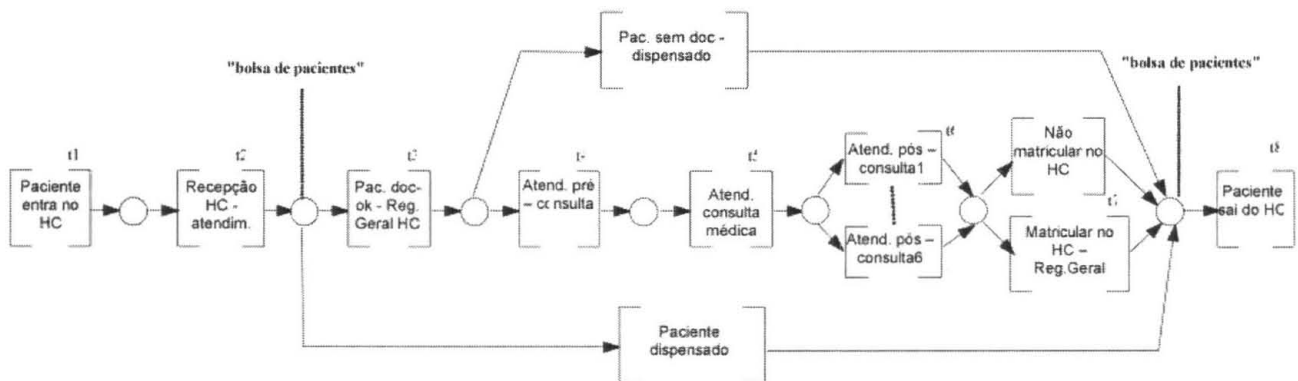


Fig. 9. PFS do fluxo do paciente no Ambulatório Breve do HC.

Este modelo mostra que o paciente pode sair do HC sempre que alguma exigência deste serviço não seja atendida, e mostra também o conflito, isto é, a necessidade de decidir, quando existem mais de uma opção a ser seguida, como por exemplo no caso de diferentes tipos de pós-consultas possíveis.

Os modelos em MFG desenvolvidos a partir do PFS da Fig. 9 são apresentados a seguir de acordo com o conceito de módulos hierárquicos. Para facilitar a visualização do grafo os elementos externos tais como, disponibilidade de sala, disponibilidade de equipamentos entre outros não serão incluídos nas figuras.

A Fig. 10 detalha a atividade [Recepção HC-atendim.]. Este modelo apresenta explicitamente o conflito que exige a escolha de uma das duas opções após o paciente ter sua documentação verificada. Ele especifica também que esta atividade "utiliza" o recurso - Funcionário para sua execução.

A Fig. 11 apresenta o modelo em MFG da atividade [Pac.doc.ok- Reg.Geral HC]. Este modelo também explicita o conflito: ou o paciente tem a senha mais os documentos solicitados ou não; em caso afirmativo, ocorre a confecção da ficha e das etiquetas. Caso contrário ele é dispensado. Esta atividade também "consome" o recurso Operador de terminal durante a sua execução.

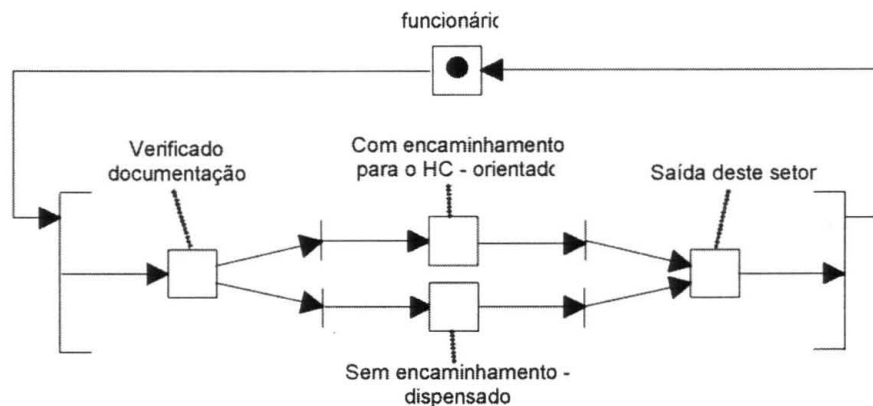


Fig. 10. MFG da atividade [Recepção HC-atendim.].

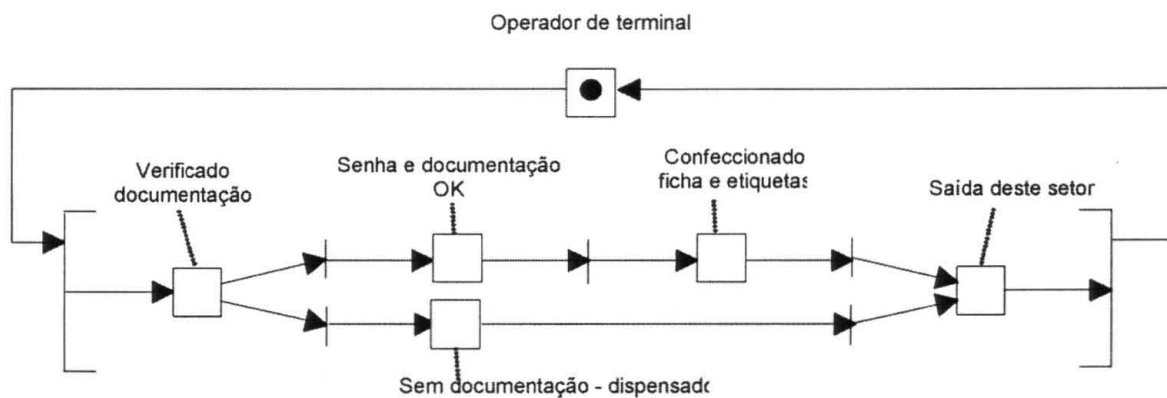


Fig. 11. MFG da atividade [Pac.doc.ok- Reg.Geral HC].

A Fig. 12a apresenta o MFG da atividade [Atend. pré-consulta]. Neste caso explicita-se que o atendimento pelo escriturário (recurso desta atividade) desencadeia duas ações simultâneas que são: o recolhimento das fichas e a geração do prontuário de Ambulatório Breve para o paciente.

O MFG da Fig. 12b detalha a atividade [Atend.consulta médica]. Nesta atividade também existem duas ações paralelas: a consulta médica e a atualização dos registros no prontuário do paciente. As duas atividades consomem o mesmo recurso - Médico durante a sua execução.

As atividades [atend.pós-consulta] podem ser de seis tipos dependendo do tipo de prescrição que o paciente recebeu na consulta médica. Os modelos em MFG ilustrados nas Fig. 13 apresentam com mais detalhes as atividades de pós-consulta do tipo 1 ao tipo 6.

Finalmente, a Fig. 14 apresenta o modelo em MFG da atividade [Matricular no HC-Rg.Geral]. Nos casos em que existe esta solicitação pelo médico, o paciente se dirige ao "Registro Geral" e o Operador de terminal efetiva a matrícula noHC.

Assim, o modelo completo em MFG do fluxo do paciente que é atendido no Ambulatório Breve do HC é apresentado na Fig. 15. Salienta-se que numa aplicação prática, esta composição de grafos é realizada automaticamente pelas ferramentas computacionais (editores e simuladores de Redes de Petri).

4.3 Validação do Modelo

A validação do modelo junto à equipe multidisciplinar envolvida é realizada principalmente através de técnicas de simulação. Com o auxílio de pacotes de simulação disponibilizadas por diversos pesquisadores⁴ edita-se e analisa-se a dinâmica das marcações no MFG em comparação às especificações previstas. Neste trabalho foi utilizado um software disponível na Internet, o ExSpect 6.2⁵

A Fig. 16 ilustra uma tela de trabalho desta ferramenta, isto é, um estado do fluxo de pacientes no "Registro Geral": a situação onde o paciente do Ambulatório Breve já teve sua ficha confeccionada; indicado pela presença da marca que simboliza o item paciente no local confecção de fichas. Assim, através desta ferramenta, verifica-se detalhadamente a dinâmica dos fluxos.

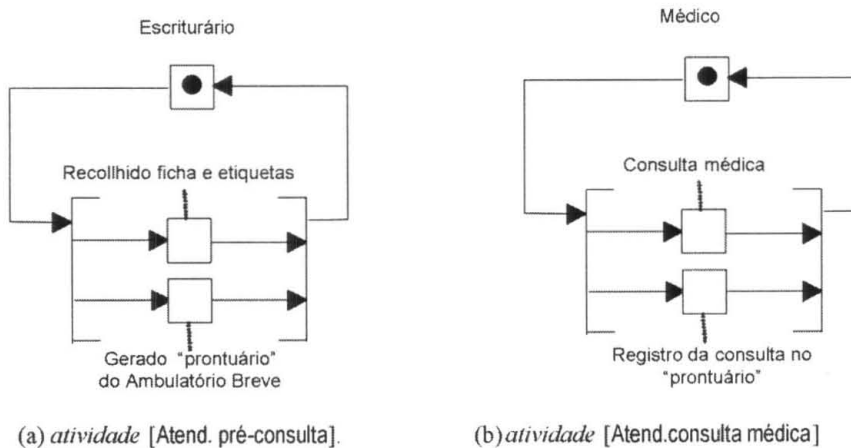


Fig. 12. MFG das atividades [Atend. pré-consulta] e [Atend.consulta médica]

⁴ Petri Nets Tools Database Quick Overview. <http://www.daimi.aau.dk/PetriNet/tools/quick.html> 05/07/99.

⁵ ExSpect 6.2 © <http://utopia.knoware.nl/~rgoverde/exspect/webexspect/indexe.htm> 21/07/99.

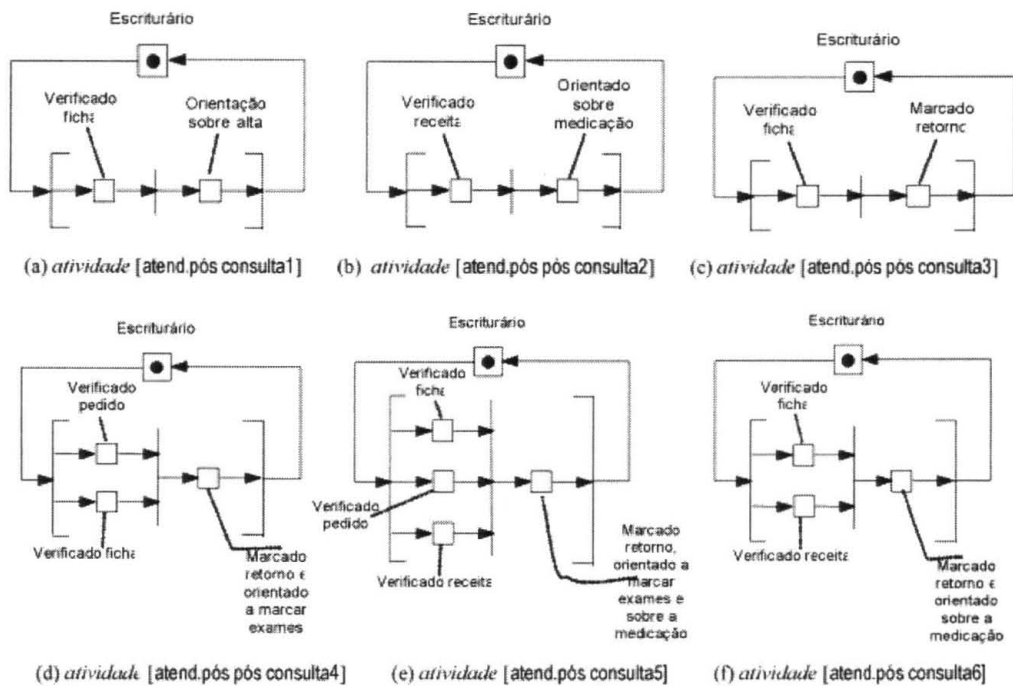


Fig. 13. MFC das atividades de pós-consulta do tipo 1 ao tipo 6.

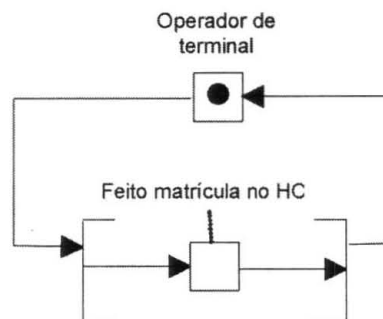


Fig. 14. MFC da atividade [Matricular no HC].

Os modelos foram assim, editados e simulados para a revisão detalhada do fluxo de pacientes dentro do HC onde foram observadas algumas alternativas para agilizar o fluxo de pacientes.

- Eliminação do passo em que o paciente passa pelo "Registro Geral" para verificar documentos, confeccionar ficha e etiquetas.
- Promoção de reuniões com gerentes de diferentes setores para verificar em conjunto as causas das

diferenças de dados registrados com as tarefas realizadas de fato.

- "Identificação" dos pacientes e recursos para facilitar o estudo dos fluxos. Neste caso, evidentemente, é preciso estudar a viabilidade em relação ao custo e tempo.

Além do estudo realizado, outras teorias de modelagem e simulação a eventos discretos também foram realizadas para um estudo comparativo. Foram desenvolvidos assim, estudos de simulação discreta baseados nas teorias

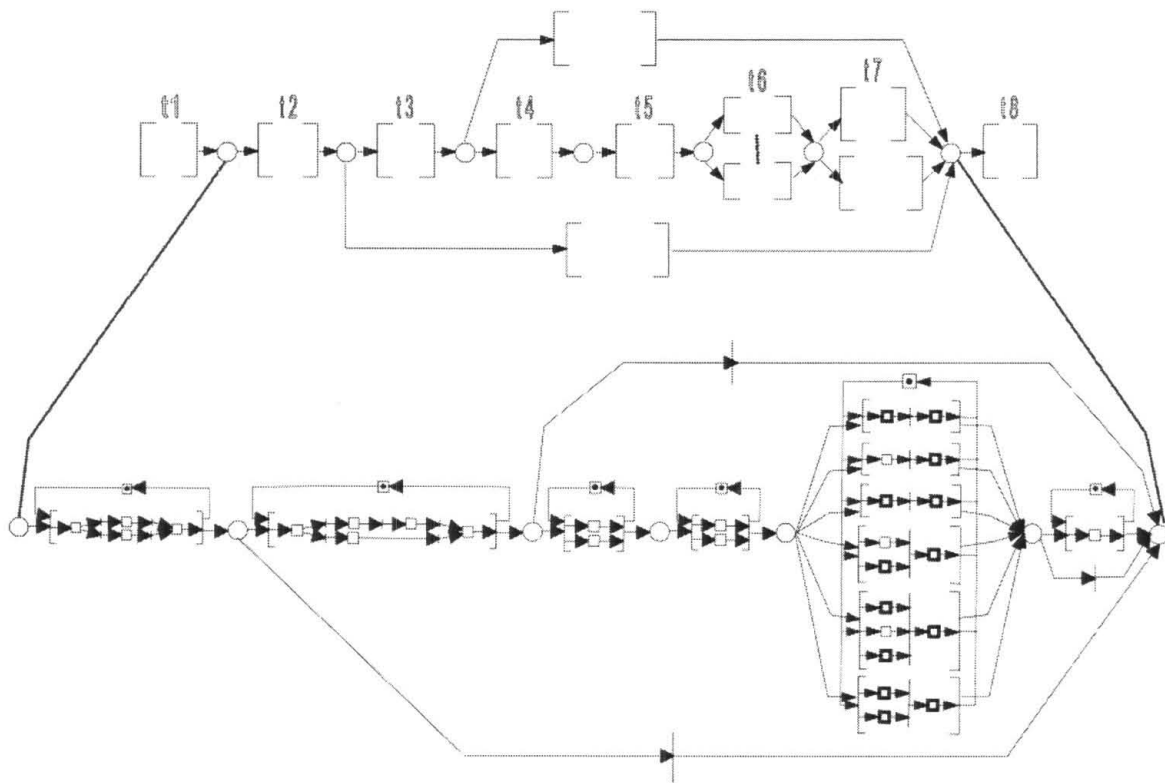


Fig. 15. MFG completo do fluxo do paciente no Ambulatório Breve do HC.

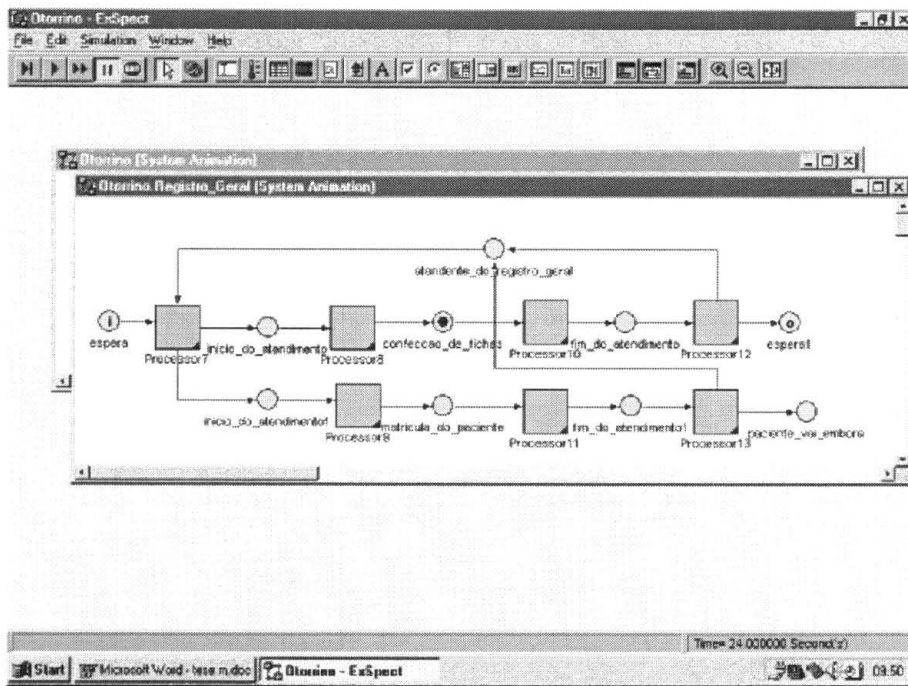


Fig. 16. Imagem na tela do computador do ExSpect 6.2. mostrando o fluxo detalhado no “Registro Geral”.

de Processo Semi Markov Generalizado e Redes de Fila que são as técnicas mais comuns da área de pesquisa operacional. Estes estudos são apresentados a seguir.

Modelo em Processo Semi Markov Generalizado (GSMP)

Neste estudo o GSMP [Medhi 1991] é usado para avaliar a probabilidade de ocorrência de todos os estados possíveis que o sistema pode assumir utilizando os dados do HC e do ambulatório. Esta modelagem foi realizada assumindo algumas restrições descritas abaixo:

- Esta técnica exige dados de uma série histórica suficiente para que se possa calcular todos tempos de percurso e de atendimento assim como para levantar as curvas de probabilidades. Neste caso, foram adotados os tempos médios calculados com base apenas nos dados disponíveis.
- A chegada de pacientes foi considerada uniforme, não se levando em conta que existem números de chegadas de pacientes variáveis a cada hora do dia.
- Foi considerada uma estimativa do número de pacientes que procuram ao Ambulatório Breve e precisam ser matriculados .

As principais desvantagens desta abordagem observadas no presente caso foram:

- Esta técnica envolve certa capacidade de abstração e interpretação dos dados numéricos que um gerente da área de saúde teria muita dificuldade para conceber e discutir sobre o sistemas. Toda a interação com o modelo é através de listas de códigos, expressões matemáticas e números sem nenhum recurso que facilite sua interpretação.
- Para iniciar a modelagem é necessário mapear todos os estados possíveis e desenvolver um algoritmo para cada ocorrência; tarefa extremamente difícil se for necessário modelar toda uma estrutura complexa como um hospital.
- Esta ferramenta exige uma seqüência de fluxo fixa, o que nem sempre ocorre no serviço de saúde.

Modelo em Teoria de Filas

Para esta modelagem [Kleinrock 1975] é necessário assumir as seguintes hipóteses:

- Não há limite máximo para o número de pacientes no sistema, isto é, o limite é infinito (∞).
- Os tempos de chegada e os tempos de serviços obedecem distribuições probabilísticas exponenciais.
- A disciplina das filas é do tipo FIFO.

Esta modelagem exigiu ainda as seguintes simplificações:

- Adotou-se uma taxa de entrada única de pacientes no HC, não levando em consideração que poderiam haver pelo menos duas taxas de entrada (uma para atendimento de manhã e outra para à tarde).
- Adotou-se médias para os tempos de serviços, tempos de deslocamentos do paciente e número de recursos disponíveis (por exemplo: o número de funcionários ou equipamentos).
- Considerou-se um fluxo de atividades com seqüência fixa.

Assim, no caso de se ter dois escriturários na secretaria do ambulatório, haveria uma fila de entrada de pacientes identificada da seguinte maneira: M/M/2/ ∞ /FIFO. Esta representação indica que há uma distribuição probabilística exponencial dos tempos entre as chegadas de pacientes e dos tempos de atendimentos dos funcionários (recurso), simbolizado por M. Há dois funcionários atendendo um número de pacientes infinito e a fila é do tipo FIFO.

Este tipo de "equação" é montado para cada setor de atividades e, posteriormente, uma outra equação que combine todos estes setores é construída para análise do sistema.

As principais desvantagens desta abordagem observadas no presente caso foram:

- Esta abordagem não permite um estudo dos estados transitórios e nem de taxas variadas de entrada o que compromete a validade dos resultados.
- A taxa de chegada só pode ser manipulada no primeiro nó = "chegada de pacientes ao HC" e esta consideração nem sempre é adequada, já que existem pacientes que desviam-se do fluxo usual.

! Como esta teoria não leva em consideração a variação no tempo de percurso dentro do sistema, ou eventuais perturbações que impeçam o fluxo normal fazendo com

que os pacientes tomem rotas alternativas, confirmou-se que esta teoria isoladamente não pode descrever com precisão o que ocorre com o fluxo dos pacientes.

- Além disso, do ponto de vista de um gerente de saúde, não é uma tarefa trivial acompanhar a construção e a interpretação do modelo comprometendo enfim a análise dos resultados.

5. Conclusões

Dentro do fluxo de paciente modelado no estudo de caso, existe uma parte que obedece aos critérios ou decisões determinados pela administração da instituição, outra pelo médico que atendeu o paciente e uma outra pelo próprio paciente. Neste estudo foram considerados sugestões de alterações que caberiam às decisões administrativas de modo a contemplar as outras opções de decisão com o desenho de um modelo que representasse estas opções sem fixar uma ordem ou uma obrigatoriedade.

Nesta avaliação desenvolvida junto com uma equipe multidisciplinar foi constatado que:

- Para a construção do modelo, a teoria baseada em Redes de Petri exige um conhecimento de teoria de sistemas mais superficial do que outras teorias (por exemplo: Teoria de Filas, GSPM, etc.).
- As Redes de Petri exigem um conhecimento inicial menos detalhado sobre o serviço a ser modelado do que por exemplo na Teoria de Filas, pois a modelagem através do PFS define-se os níveis hierárquicos, onde os detalhes são gradativamente explicitados.
- O processo de modelagem e os modelos em estudo permitem aos profissionais envolvidos uma compreensão do funcionamento do serviço e a implicação de uma ação de um setor em outra, o que nem sempre é evidente e conhecido.
- A metodologia PFS/MFG permite que os gerentes identifiquem os problemas estruturais durante a própria construção dos modelos.
- Os modelos têm a propriedade de animação (simulação) do fluxo de itens (pacientes, médicos, etc.) num certo intervalo de interesse para auxílio na tomada de decisão. Ao contrário de estudos baseados em ferramentas de modelagem puramente estatísticos onde

os resultados são baseados em médias e desvios padrões que para serem confiáveis necessitam considerar uma grande quantidade de ocorrências, o que implica em se ter uma série histórica de dados de um período grande de tempo, o que nem sempre está disponível.

Os autores agradecem à FAPESP, CNPq e HC-USP pelos apoios que viabilizaram o desenvolvimento do presente trabalho.

6. Referências Bibliográficas

- Bryson JM. *Uma Abordagem Efetiva para o Planejamento Estratégico de Organizações Públicas e Sem Fins de Lucro.* (trad.) Tancredi FB. Jossey-Bass Publishers; 1989.
- Cao XR e Ho YC. *Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems*, Kluwer Academic Publ., 1991.
- Certo SC e Peter JP. *Administração Estratégica – Planejamento e Implantação da Estratégia.* Ed. Makron Books, 1993.
- David, R. e Alla, H. *Petri nets for modelling of dynamic systems – a survey.* *Automática*, 30(2): 175-201, 1994.
- Etzioni A. *A Sociological Reader on Complex Organizations.* Praeger HRW Inc., 1969.
- Garcia ML, et al. *Reducing time in an emergency room via a fast track.* *Proc. of the 1995 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, p.1048-53, 1995.
- Hasegawa, K. et al. *On resource arc for Petri net modelling of complex resource sharing systems.* *J. of Intelligent and Robotic Systems*, 26:423-37, 1999.
- Ho Y. *Discrete Event Dynamic Systems : Analysing Complexity and Performance in the Modern World.* In: IEEE Press, 1992.
- Kirtland A, et al. *Simulating an emergency department “is as much fun as...”.* *Proc. of the 1995 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, p.1039-42, 1995.
- Kleinrock L. *Queueing Systems, Vol.I - Theory*, John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- Leemis LM. *Input Models for Discrete Event Simulation.* *Proc. of the 1995 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, p.16-23, 1995.
- Lima Clóvis RM e Lima Carlos RM. *A avaliação do custo-eficácia das intervenções em organizações de saúde.* *Revista de Administração de Empresas*; 38(2):62-73, 1998.
- Lowery JC, et al. *Barriers to implementing simulation in health*

- care. *Proc. of the 1994 Winter Simulation Conference; Orlando, FL, p.868-75, 1994.*
- McGuire F. *Using simulation to reduce length of stay in emergency departments. Proc. of the 1994 Winter Simulation Conference; Orlando, FL, p.861-7, 1994.*
- Medhi J. *Stochastic Models in Queuing Theory, Academic Press, 1991.*
- Miyagi MM, *Modelagem e Análise de Processos em Serviços de Saúde Baseados em Redes de Petri Interpretadas, Dissertação de Mestrado, FSP, Universidade de São Paulo, 2000.*
- Miyagi PE. *Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP, 1996.*
- Miyagi PE, et al. *Application of PFS Model based analysis of manufacturing system for performance assessment. J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences. ABCM, 19(1):58-71, 1997.*
- Novaes HM. *La Programación Operacional del Hospital y ORLas Unidades. In: La garantía de la calidad: Acreditación de Hospitales para América Latina y el Caribe. Washington, DC: PALTEX, (Serie SILOS n.13), 1992.*
- Paganini JM e Novaes HM. *El Hospital Público – Tendencias e Perspectivas. Organización Panamericana de la Salud, Washington, DC, 1994.*
- Pardue JH, et al. *A system analysis of real time skin cancer treatment. Proc. of the 1995 Winter Simulation Conference; Arlington, VA, p.1054-9, 1995.*
- Paul RJ e Kuljis J. *A generic simulation package for organising outpatient clinics. Proc. of the 1995 Winter Simulation Conference; Arlington, VA; p.1043-7, 1995.*
- Peterson JL. *Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs., 1981.*
- PRODESP - *Processamento de Dados do Estado de São Paulo. Dados de Produção do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 1997(a).*
- PRODESP - *Processamento de Dados do Estado de São Paulo. Lista de Agendamento do Ambulatório do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 1997(b).*
- Reisig, W. *Petri Nets – An Introduction. Springer Verlag, Berlin, 1992.*
- Sanders JR, et al. *Program Evaluation – Alternative approaches and practical guidelines. Longman Ed., 1997*
- Santos Filho DJ. *Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas. Tese de Doutorado, EP, Universidade de São Paulo, 1998.*