

## MODELAGEM DE SISTEMAS DE ELEVADORES NO CONTEXTO DE EDIFÍCIOS INTELIGENTES ATRAVÉS DE REDES DE PETRI INTERPRETADAS

**Gladys D. Bastidas Gustin**

**Paulo E. Miyagi**

**Newton Maruyama**

**Diolino J. Santos Filho**

E-mail: gladysbg@usp.br

Universidade de São, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica  
São Paulo, SP, Brasil

**Resumo.** *O sistema de elevadores como equipamento para o transporte vertical de pessoas e bens é um componente fundamental no projeto de edifícios. Neste contexto a disponibilidade e eficiência do seu serviço deve ser objeto de cuidadosa análise em função de sua influência no desempenho e produtividade das atividades dos usuários do edifício. O presente trabalho introduz uma técnica de modelagem de sistemas de elevadores baseada nas redes de Petri. Nesta abordagem considera-se que o sistema possui uma dinâmica definida através da ocorrência de eventos e manutenção de estados discretos. No desenvolvimento do trabalho foi considerado o estudo de caso da modelagem do sistema de elevadores de uma instalação hospitalar que está sendo objeto de estudo para a introdução e aplicação de conceitos de edifícios inteligentes.*

**Palavras-chave:** *Redes de Petri, Edifícios inteligentes, Sistemas de elevadores, Modelagem, Sistemas a eventos discretos.*

### 1. INTRODUÇÃO

As demandas do mundo atual fazem da eficiência, a produtividade, e a segurança as principais considerações que se deve levar em conta ao projetar ou modificar um sistema. Para atingir estes objetivos estão sendo consideradas diferentes abordagens que podem ser aplicadas, tanto para modelagem como para avaliação, além da utilização efetiva dos recursos de alta tecnologia disponíveis.

Considerando estes fatores para a situação em que o objetivo é o projeto de edifícios inteligentes, observa-se que novas metodologias estão sendo desenvolvidas no sentido de considerar peculiaridades relacionadas à funcionalidade que se deseja associar ao sistema do edifício. De acordo com estas abordagens, o comportamento e interação dos usuários que utilizam um determinado edifício devem ser considerados, permitindo incrementar a produtividade destes indivíduos neste ambiente uma vez que estaria assim mais apto a atender às suas necessidades (Finley et al., 1991).

Nos projetos mais recentes para construção de edifícios procura-se a instalação de subsistemas automatizados, cuja função é a realização autônoma das diversas funções e serviços existentes nos ambientes destes edifícios. A maior parte destes sub-sistemas possuem como característica um comportamento dinâmico definido através das mudanças de estados devido à ocorrência de eventos discretos. Por exemplo, entre os eventos que podem ocorrer estão: abertura e fechamento de portas, acionamento e desligamento de lâmpadas, chamada de elevadores, etc. A classe de sistemas definida por esse comportamento é denominada Sistemas a Eventos Discretos – SED (Ramadge & Wonham, 1989; Miyagi, 1996) para os quais têm sido desenvolvidas várias técnicas (Redes de Petri, Cadeias de Markov, Teoria de filas, Álgebra mini-max, Máquinas de estados, etc.) para sua modelagem, análise, controle e projeto. Entre estas técnicas uma de comprovada eficiência para sistemas desta natureza é a baseada na teoria de redes de Petri (Reizig, 1985; Murata, 1989; Peterson, 1981). Os principais sistemas onde é aplicada esta técnica são: sistemas de comunicações, sistemas de software, sistemas de manufatura e mais recentemente nos sistemas prediais (Gomes, 1997). Esta técnica consiste em utilizar as redes de Petri e suas extensões, para a modelagem gráfica da estrutura do sistema e do seu comportamento dinâmico. Entretanto na modelagem de sistemas complexos e com diferentes níveis hierárquicos se evidencia um detrimento em uma de suas principais características: sua visualização gráfica. Assim é adequado considerar que a modelagem inicial seja realizada usando interpretações não formais e a partir deste modelo desenvolver um detalhamento gradativo e com interpretações formais. E, é neste contexto que as técnicas do PFS (Production Flow Schema) e do MFG (Mark Flow Graph) (Hasegawa et al., 1988) são consideradas. O PFS e o MFG são extensões interpretadas das redes de Petri, próprias para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle de SED, através da metodologia PFS/MFG.

Assim, o objetivo deste trabalho é introduzir uma técnica de modelagem de sistemas de elevadores em edifícios inteligentes mediante o uso da metodologia PFS/MFG, para o auxílio ao desenvolvimento de projetos.

## **2. EDIFÍCIOS INTELIGENTES**

Atualmente ainda não existe uma definição precisa do que pode-se denominar como edifício inteligente. A este respeito existem várias definições, entre as quais, uma das mais abrangentes (Maeda, 1993) é a apresentada pelo IBI (Intelligent Building Institute), dos Estados Unidos, na qual o edifício inteligente é definido como sendo “aquele que permite a criação de ambientes produtivos e com custos efetivos, através da otimização de seus quatro elementos básicos: estrutura, sistemas, serviços e gerenciamento, assim como o inter-relacionamento entre eles”.

Em (Fujie & Mikami, 1991) afirma-se que os edifícios inteligentes têm quatro objetivos principais:

- Assegurar a satisfação das pessoas que trabalham dentro dele;
- Racionalizar a administração;
- Responder rapidamente, de modo flexível e econômico às diversas alterações que ocorrem em seu interior (adaptabilidade às funções requeridas);
- Servir como centro de recepção e transmissão de informação, atuando como um apoio eficaz ao gerenciamento.

De acordo com (Flax, 1991) um IBS (Intelligent Building System) é a integração de uma grande quantidade e variedade de sistemas dos quais os mais relevantes são a seguir listados:

- Sistemas de controle e comando;
- Sistemas de controle e gerenciamento de energia (EMCS – Energy Management Control System) ar condicionado, elevadores e iluminação;

- Sistemas de segurança;
- Sistemas de prevenção contra incêndio;
- Sistema de telecomunicações;
- Sistemas para gerenciamento de informações;
- Sistemas de manutenção.

A integração destes sistemas é uma característica indispensável de um edifício inteligente (Clark et al., 1995) para satisfazer os seus objetivos, visando melhorar a segurança, o conforto dos ocupantes, a confiabilidade dos sistemas e a redução dos custos de operações.

A abordagem de sistemas integrados no ambiente de edifícios inteligentes envolve o estudo e controle do fluxo de usuários e de bens (materiais, equipamentos, etc.) dentro da instalação predial. Neste contexto, os elevadores, escadas e esteiras rolantes representam os principais recursos para regulação deste fluxo, e dentre estes os elevadores são os equipamentos mais comumente utilizados para a movimentação vertical entre vários pisos.

### **3. SISTEMAS DE ELEVADORES**

Os sistemas de elevadores são instalados nos edifícios para transportar verticalmente ocupantes, visitantes e cargas.

Em vista da grande importância que têm os sistemas de elevadores nos edifícios em geral e em especial dentro do contexto de edifícios inteligentes, o projeto e operação destes sistemas requer uma modelagem e uma análise que permita selecionar as melhores alternativas de projeto e políticas de operação de forma a reduzir tempos e custos.

O funcionamento especificado destes sistemas é geralmente determinado pela natureza da demanda de transporte do edifício onde se encontram instalados, a qual pode ser atendida utilizando diferentes métodos para a otimização do desempenho do sistema tanto quantitativamente como qualitativamente.

O operação de um sistema de elevadores (pode envolver um grupo com vários elevadores) é melhor explicado ao considerar como um passageiro é transportado do andar A ao andar B:

No andar A o passageiro registra uma chamada de pavimento ao pressionar o botão do andar (para subir ou descer). O controlador de grupo reconhece a chamada sinalizando isso ao usuário e seleciona um elevador para servi-lo. O passageiro pode observar a posição e direção do elevador no edifício por intermédio de sinalizadores nos andares e um sinalizador de direção que é acionado quando o elevador começa a movimentar-se. A sinalização no andar é desligada quando a cabina do elevador selecionado alcança o andar da solicitação e as portas são abertas. O passageiro entra e registra através de botões dentro da cabina o destino, isto é o andar B, o qual é devidamente sinalizado para indicar o registro realizado pelo controlador de elevadores. As portas se fecham e o elevador se move até o andar B. Ao chegar próximo ao andar B o elevador reduz a velocidade, pára e abre as portas para que o passageiro desembarque.

Esta é uma breve descrição do movimento de um andar para outro. Tipicamente esta operação pode tomar de 10 a 15 segundos em um sistema composto por exemplo de 6 cabinas e desta maneira, cerca de 2000 seqüências de eventos podem acontecer por hora (Barney & Santos, 1985). Embora esta seja uma taxa baixa para um computador digital, é impossível para um observador humano apreciar o significado e as interações destas seqüências de eventos. Uma solução portanto é modelar e simular o funcionamento para reconhecer e analisar as atividades e as estratégias de controle.

## 4. REDES DE PETRI

As redes de Petri são uma ferramenta matemática e gráfica que permite um ambiente uniforme para modelar, analisar e projetar sistemas a eventos discretos (Zurawski, Zhou, 1994)

Em (Hasegawa, 1987) destacam-se as seguintes características desta técnica:

- Representa a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado;
- Identifica estados e ações, para monitoramento do sistema;
- Possui habilidade para representar de forma natural as características dos SED (sincronização, concorrência, causalidade, compartilhamento de recursos, etc.);
- Associa elementos de diferentes significados em uma mesma representação;
- Oferece um formalismo gráfico e preciso que permite o diálogo entre o projetista e os usuários que participam no processo de análise do comportamento do sistema;
- Se constitui como uma teoria muito bem fundamentada para a verificação de propriedades qualitativas;
- O mesmo modelo pode ser usado para a análise de propriedades comportamentais e a avaliação do desempenho, assim como para a construção de simuladores a eventos discretos e controladores (implementando ou gerando códigos para controle ou simulação).

### 4.1 Metodologia PFS/MFG

A metodologia PFS/MFG consiste na modelagem de sistemas seguindo um procedimento sistemático e racional baseado na interpretação da abordagem hierárquica de redes de Petri. Inicialmente o modelo conceitual do sistema (representando um alto nível de abstração do sistema sem detalhamento de sua dinâmica) é desenvolvido através de PFS. Nesta etapa o propósito é modelar as principais características das funções que serão consideradas no sistema isto é, a ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim como do fluxo de itens (pessoas, material e/ou informação) entre estes elementos. Para a modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o modelo em PFS é convertido progressivamente em um modelo em MFG isto é, uma classe de rede de Petri interpretada que detalha o funcionamento dinâmico das diversas partes do sistema (Miyagi, 1996).

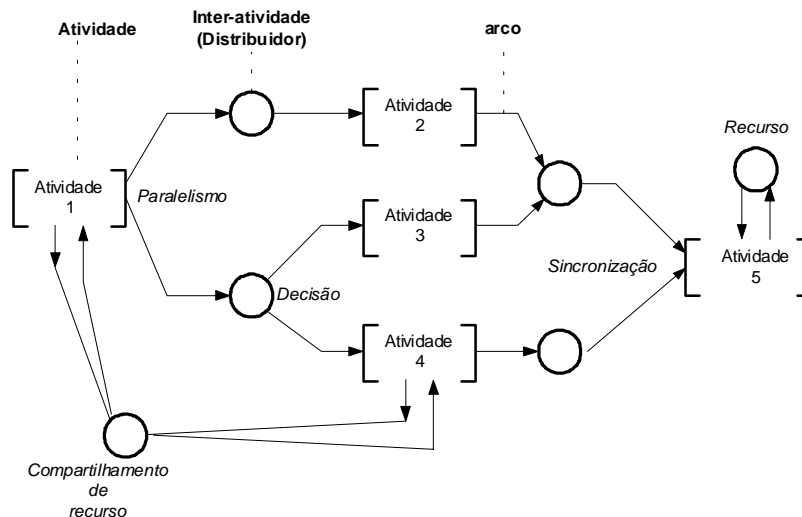


Figura 1. Exemplo de um modelo em PFS com a identificação de seus elementos estruturais e algumas das características que é capaz de modelar.

Os elementos estruturais de um PFS estão representados na fig. 1. São eles: a) *atividade* (componente ativo), representada pelo bloco com colchetes e com identificação desta atividade; b) *Inter-atividade ou distribuidor* (componente passivo) representado por uma circunferência e c) *arco orientado* (fluxo de pessoas, materiais e/ou informações) representado pela seta entre uma *inter-atividade* e uma *atividade* ou vice-versa. O PFS não possui marcação inicial, pois é um modelo conceitual do sistema sem descrição de sua dinâmica.

Para a descrição funcional da dinâmica do sistema, os elementos do grafo PFS são então detalhados. Este detalhamento pode gerar sub-grafos totalmente em PFS ou sub-grafos em MFG ou sub-grafos híbridos (PFS/MFG) com alguns elementos em PFS e outros em MFG.

Os elementos estruturais do MFG são ilustrados na fig. 2. Destaca-se que no MFG existe a representação explícita da interação do grafo com elementos externos do modelo e o conceito de marcação (distribuição das marcas e regras de disparo das transições) que reflete a dinâmica dos estados do sistema.

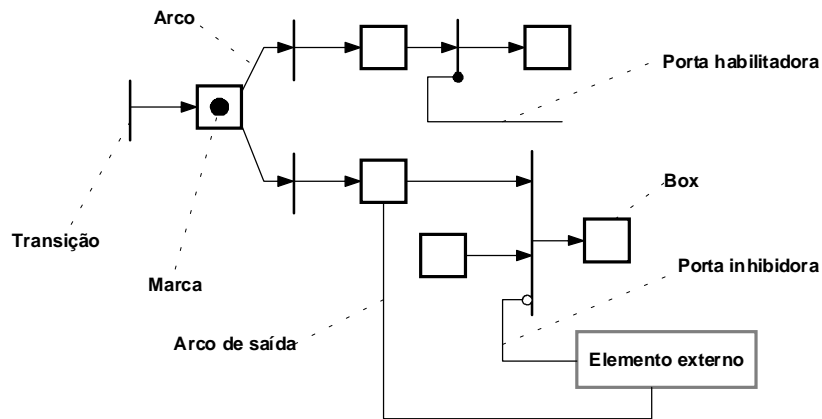


Figura 2. Exemplo de um modelo em MFG com a identificação de seus elementos estruturais.

Esta metodologia permite assim que, através de uma visão macro (genérica) e conceitual do sistema, os diferentes sub-sistemas e suas funções sejam detalhados até o nível de interface com os dispositivos físicos instalados no edifício. Este nível de detalhe permite o controle de fato (nível de hardware e conexões) do sistema ao explicitar (especificar concretamente) sua implementação computacional (controle programável). A fig. 3 ilustra uma estrutura hierárquica descrita pelo PFS/MFG. Detalhes desta metodologia podem ser encontrados em (Miyagi, 1996).

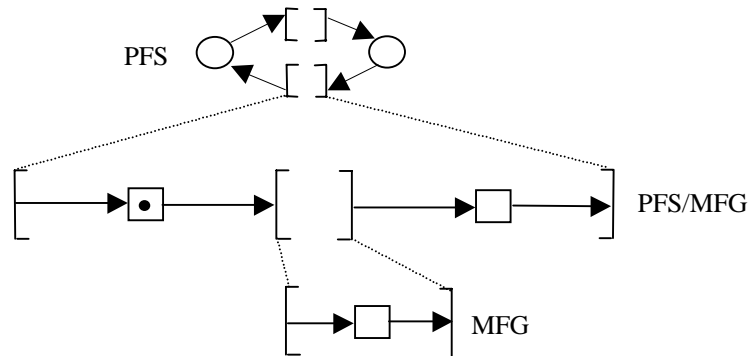


Figura 3. Exemplo de um modelo em PFS/MFG.

## 5. ESTUDO DE CASO

### 5.1 Prédio dos ambulatórios (PAMB-HC)

O estudo de caso considerado neste trabalho refere-se à modelagem do sistema de elevadores do prédio dos ambulatórios (PAMB) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). Este prédio não é de fato um edifício inteligente, entretanto, em virtude de suas características é considerado aqui como um objeto de estudo muito importante para a investigação da implantação do conceito de sistemas inteligentes.

O HC-FMUSP é um hospital de atendimento terciário (alta complexidade), formado por 6 institutos (Central, Coração, Pediatria, Ortopedia, Psiquiatria e Medicina Nuclear) e mais 6 hospitais auxiliares. O prédio do PAMB faz parte do Instituto Central o qual tem aproximadamente 824 leitos, 5.000 funcionários, 53.000 atendimentos por mês no ambulatório (~2.300/dia) e 13.000 atendimentos por mês no pronto socorro. O edifício do PAMB possui uma área construída de cerca de 116.000 m<sup>2</sup>.

O seu sistema de elevadores possibilita o transporte vertical de pacientes, visitantes, funcionários da área de saúde e funcionários em geral, além evidentemente de equipamentos e outras cargas móveis. O PAMB possui 14 elevadores de uso geral e 2 elevadores para manutenção.

O prédio dos ambulatórios é composto por 11 andares e mais 7 andares técnicos (interandares) e conta com quatro blocos de circulação (A, B, C, D) dentro dos quais os elevadores estão distribuídos da seguinte forma (fig. 4):

Bloco de circulação A 4 elevadores (funcionários e público geral)

Bloco de circulação B 3 elevadores (público geral)

Bloco de circulação C 3 elevadores (público geral)

Bloco de circulação D 2 elevadores (funcionários)

Prumadas 1 2 elevadores de serviço (um para funcionários e outro para pessoal de manutenção).

Prumadas 2 2 elevadores de serviço (um para funcionários e outro para pessoal de manutenção).

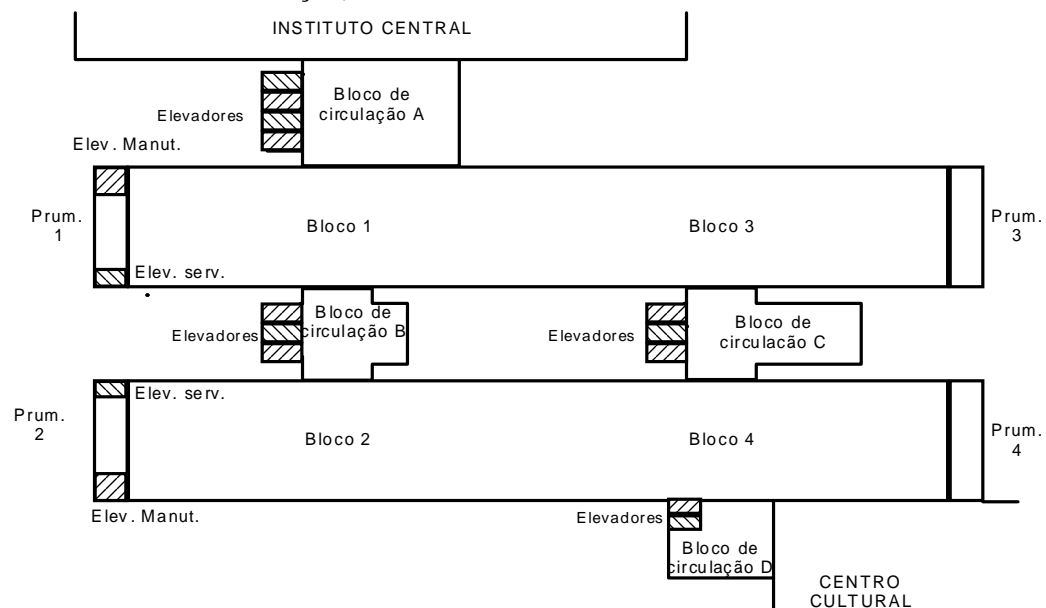


Figura 4. Planta ilustrativa do prédio dos ambulatórios (PAMB) com a disposição dos elevadores.

Atualmente cada um dos elevadores opera de modo independente e assim espera-se que um controle de grupo inteligente (incluindo as estratégias para controle de tráfego devidamente integrado com outros sub-sistemas prediais) apresente resultados mais satisfatórios frente ao crescente aumento no fluxo de pessoal do hospital. O estudo deste sistema é fundamental para avaliar técnicas para o auxílio do projeto, de otimização e definição de diretrizes para tornar o sistema de elevadores parte de um edifício inteligente.

## 5.2 Modelagem do sistema

Considerando a complexidade do modelo completo do sistema de elevadores do PAMB, devido ao número de elevadores e andares envolvidos, serão apresentados aqui apenas os modelos mais gerais e representativos do sistema.

Para a modelagem considera-se conveniente dividir o sistema em atividades e em diversos níveis de abstração. Assim o sistema de elevadores pode ser dividido em dois níveis de abstração: o nível do controle e o nível do objeto de controle (cabina).

No nível de controle, podem ser identificadas as seguintes atividades: controle do grupo de elevadores, controle do elevador *i*, e gerência de informações de um banco de dados. Este modelo é ilustrado na fig. 5.

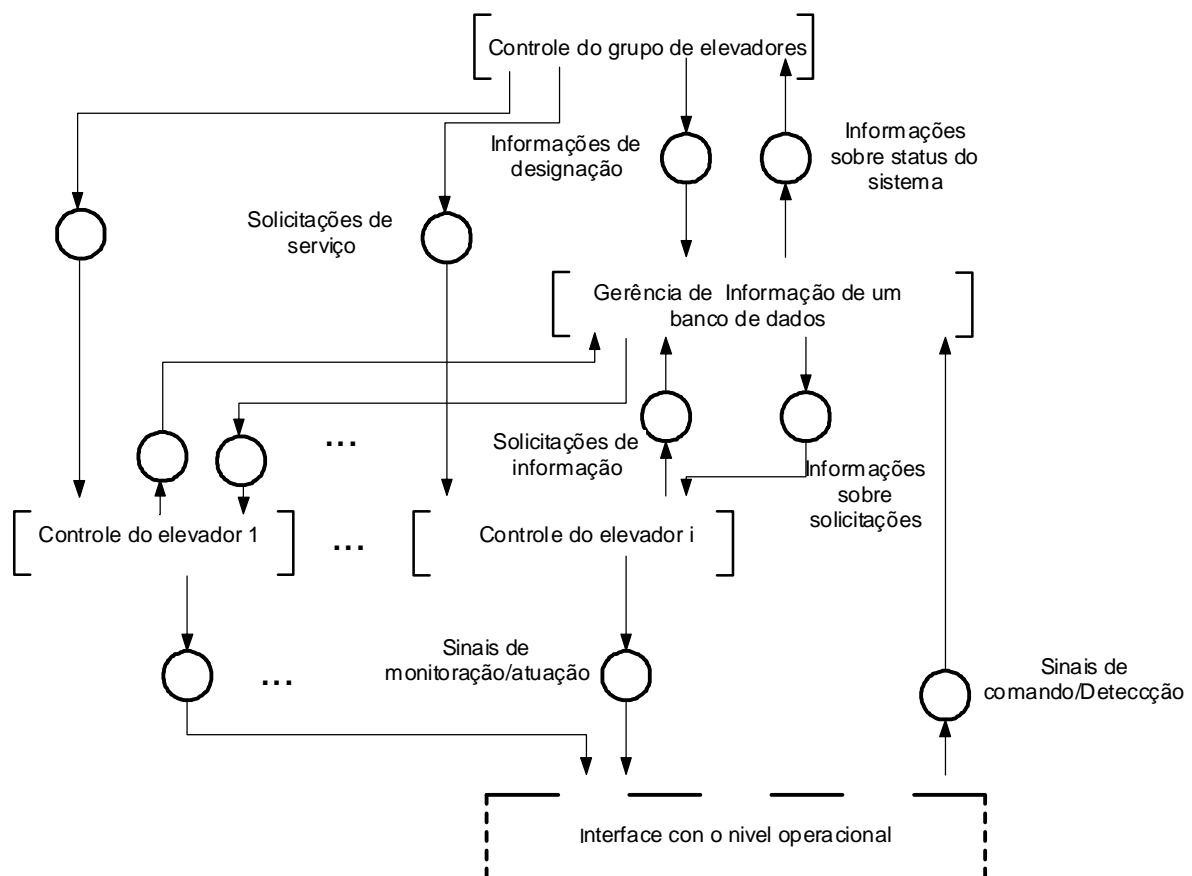


Figura 5. Modelo em PFS do controle do sistema de elevadores (nível de controle).

A atividade [controle do grupo de elevadores] é a responsável pela designação do elevador que realiza o atendimento de uma solicitação de pavimento, para isto deve-se comunicar e trocar informações sobre o status do sistema com o banco de dados que faz parte

da atividade de [gerência de informações]. Além disso comunica ações (solicitações de serviço) à atividade de [controlar o i-ésimo elevador].

A atividade de [gerência de informação] é a encarregada de fornecer e armazenar informações. Sua função é manter disponível e atualizada a informação de todo o sistema; isto é: chamadas de pavimento, chamadas de cabina (andar solicitado), posição atual do elevador, direção de movimento do elevador.

A atividade [controle do elevador i], solicita e recebe informações do banco de dados, e é informado quando é designado para um serviço (atendimento de uma chamada de pavimento) pela atividade de [controle do grupo]. Esta atividade é a responsável por fornecer informações à parte operacional do sistema (sensores, motores, sinalizadores, etc).

Ao nível do objeto de controle, são identificadas três atividades básicas para cada elevador: subir, descer e estar no andar. O modelo é apresentado pela fig. 6.

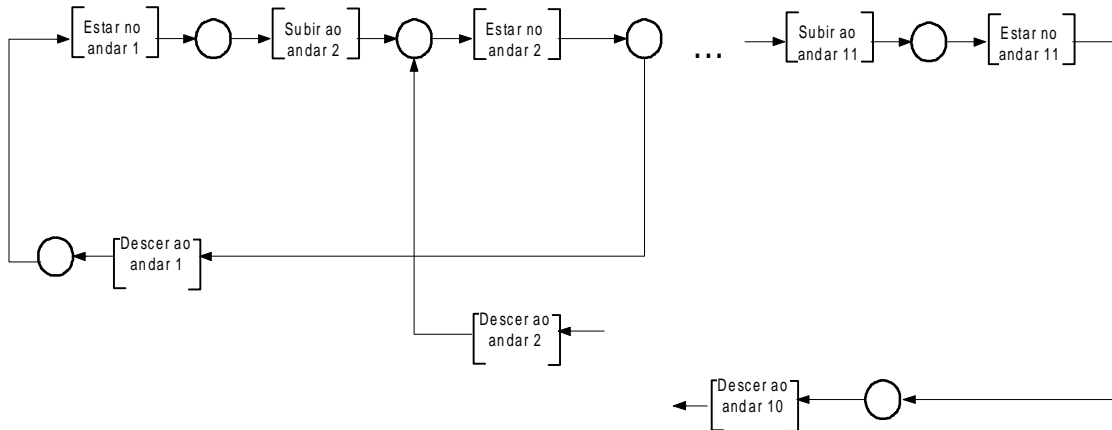


Figura 6. Modelo em PFS das atividades do objeto de controle (elevador i).

A partir do modelo conceitual em PFS foi obtido um modelo MFG através de refinamentos sucessivos dos elementos do PFS, onde os fluxos podem ser representados dinamicamente através de uma evolução de marcas no modelo e onde o controle dos fluxos pode ser especificado através do controle desta evolução de marcas. Esse modelo representa a especificação funcional do sistema, a partir do qual pode-se realizar a implementação das estratégias de controle através da derivação para algoritmos de controle ou para modelos de análise.

Um modelo em MFG de uma das atividades do objeto de controle é apresentado pela fig. 7.

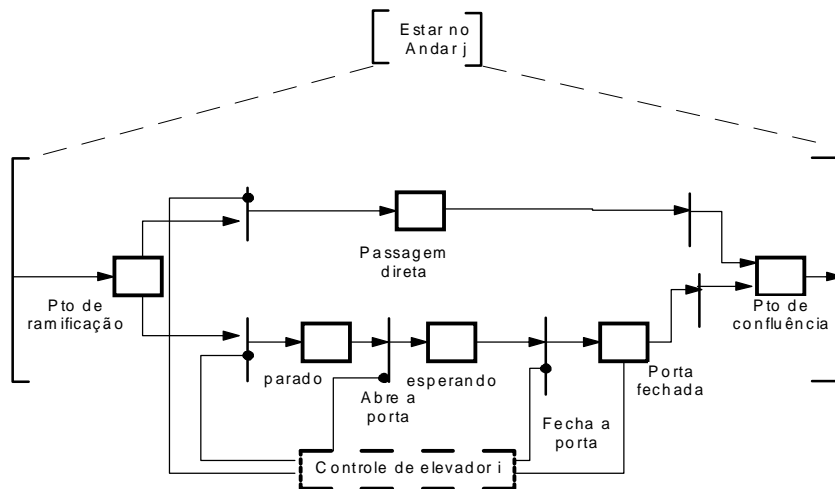


Figura 7. Detalhamento funcional da atividade [estar no andar j].



Neste modelo se detalha funcionalmente a atividade [estar no andar j], na qual pode ocorrer uma passagem direta ou uma parada segundo os sinais correspondentes do sistema de controle do elevador. Os eventos de “abrir” e “fechar” a porta que acontecem depois que o elevador está parado e esperando (respectivamente), implicam no tratamento de sinais de controle por parte do controle do elevador. É importante salientar que a marcação deste modelo depende da marcação (estado) inicial do modelo de todo o sistema.

Como ilustrado nos modelos apresentados o detalhamento sucessivo das atividades permite a construção do modelo completo do sistema, ao explicitar as interações entre os diferentes dispositivos dos sistemas, a identificação dos sinais de controle do sistema e parâmetros de entrada/saída da programação. Desta forma a presente abordagem confirma ser de grande utilidade para o projeto de integração dos sistemas de elevadores com outros sistemas prediais.

## **CONCLUSÕES**

Este trabalho demonstra como modelar o sistema de elevadores de um edifício através do uso das redes de Petri e suas extensões e interpretações, especificamente mediante a utilização da metodologia PFS/MFG, visando o apoio ao projeto destes sistemas e possibilitando o estudo de uma metodologia de projeto para esta classe de sistemas no contexto dos edifícios inteligentes.

Diversos trabalhos comprovam (Hasegawa & Ohno, 1985; Miyagi, 1996) que o modelo MFG, pode ser convertido com relativa facilidade num programa de controle de um Controlador Programável (CP). Assim, a implementação do controle, além da integração com outros sistemas é também facilitada com a presente abordagem

A pesquisa aqui apresentada é parte de um projeto mais amplo onde está sendo implementado um ambiente que permita o desenvolvimento e análise das técnicas de Integração de sistemas em Edifícios Inteligentes (Miyagi, et al., 1997).

## ***Agradecimentos***

Os autores agradecem as entidades que auxiliam diferentes partes desta pesquisa: HC-FMUSP, FSP-USP, CNPq e FAPESP.

## **REFERÊNCIAS**

- Barney, G. C; Dos Santos, S. M., 1985, Elevator Traffic Analysis, Design and Control. Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Clark G., Mehta, P.; Prowse, R., 1995, Intelligent Integrated Building Management Systems, Proceedings of IB/IC Intelligent Building Congress, Tel-Aviv, pp. 9-18.
- Finley, M.R.; Karakura, A.; Nbogni, R., 1991, Survey of intelligent buildings concepts, IEEE Communications Magazine, vol 29, n. 4, pp. 18-23.
- Flax, B., 1991, Intelligent Buildings. IEEE Communications Magazine, vol 29, n. 4, pp. 24-27.
- Fujie, S.; Mikami, Y., 1991, Construction aspects of intelligent buildings, IEEE Communications Magazine, vol 29, n. 4, pp. 50-57.
- Gomez, L.F., 1997, Redes de Petri reactivas e hierárquicas - integração de formalismos no projecto de sistemas reactivos de tempo-real, Doutorado Tese, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Hasegawa, K. & Ohno, H. 1985, On programming conventional programmable controller by using Mark Flow graph, Proceedings of International Symposium on Circuits and Systems, Kyoto, pp. 933-936.
- Hasegawa, K.; Takahashi, K.; Masuda, R.; Tange, K.; Suzuki, T., 1987, Simulation of discrete production systems based on Mark Flow Graph. Systems Science, Poland, vol 13, n.1-2, pp.22.
- Hasegawa, K.; Takahashi, K.; Miyagi, P. E., 1988, Application of the Mark Flow Graph to represent discrete event production systems and system control, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, vol. 24, n.1, pp.67-75.
- Maeda, S., 1993, Intelligent Buildings: a key solution for the 21<sup>st</sup> century office, Ph. D. Thesis, University Stanford, Stanford, USA.
- Miyagi, P.E., 1996, Controle Programável, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- Miyagi, P. E. et all, 1997, Ambiente para desenvolvimento e teste de técnicas de Integração de sistemas em edifícios inteligentes, Anais do I Workshop SIntEd sobre Edifícios Inteligentes, Santa Fé de Bogotá.
- Murata, T., 1989, Petri nets properties, analysis and applications, Proceedings of the IEEE, vol.77, n.4, pp.541-580.
- Peterson, J.L., 1981, Petri Net Theory and The Modeling of Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Ramadge, P.J. & Wonham, W.M., 1989, The control of discrete event systems, Proceedings of the IEEE, vol.77, n. 1.
- Reisig, W., 1985, Petri Nets an Introduction., Spring Verlag, New York.
- Zurawski, R.; Zhou M, 1994, Petri nets and industrial applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol .41, n.6, pp.567-583.

## **MODELING ELEVATOR SYSTEMS IN THE CONTEXT OF INTELLIGENT BUILDINGS USING INTERPRETED PETRI NETS**

**Abstract:** *The elevator system for the vertical transport of people and goods is a fundamental component in the design of buildings. In this context, the availability and efficiency of this building service imposes a great influence in the performance of the activities of the users of the building. This paper introduces a modeling technique based on Petri nets, which is suitable for modeling systems that can be considered Discrete Event Systems. The modeling of an elevator system of a hospital instalation is presented as a case study.*

**Key words:** *Petri Nets, Intelligent Buildings, Elevators system, Modeling, Discret event driven systems.*