PERCY JAVIER IGEI KANESHIRO

Modelagem de sistemas de proteção técnica contra incêndio em edifícios inteligentes através de rede de Petri

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

São Paulo
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

PERCY JAVIER IGEI KANESHIRO

Modelagem de sistemas de proteção técnica contra incêndio em edifícios inteligentes através de rede de Petri

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia de Controle e Automação Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo
2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 15 de dezembro de 2006.

Assinatura do autor: .....

Assinatura do orientador: .....

FICHA CATALOGRÁFICA

Kaneshiro, Percy Javier Igei
Modelagem de sistemas de proteção técnica contra incêndio em edifícios inteligentes através de rede de Petri / P.J.I. Kaneshiro. -- São Paulo, 2006.
132p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Sistemas contra incêndios 2.Edifícios inteligentes 3.Rede de Petri 4.Metodologia PFS/MFG I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Controlador programável
EI	Edifício Inteligente
HC-FMUSP	Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
HVAC	*Heating, Ventilation and Air Conditioning*
IBI	*Intelligent Building Institute*
ICHC	Instituto Central do HC-FMUSP
MFG	*Mark Flow Graph*
NFPA	*National Fire Protection Association*
PAMB	Prédio dos Ambulatórios do HC-FMUSP
PFS	*Production Flow Schema*
SED	Sistema a Eventos Discretos
SGE	Sistema de Gerenciamento do Edifício
SPTCI	Sistema de Proteção Técnica Contra Incêndio
NEMA	*National Electrical Manufacturer´s Association*
FM-200	Heptafluoropropane

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistemas e serviços oferecidos nos edifícios inteligentes (ALVARES, 2002) 14
Figura 2.2 - Estrutura da proteção contra incêndio 18
Figura 2.3 - Fases de um incêndio (CASTRO, 1994) 19
Figura 2.4 - Estrutura Geral do SPTCI 20
Figura 3.1 - Características dos SEDs em rede de Petri 32
Figura 3.2 - a) Arcos múltiplos b) Representação compacta. 37
Figura 3.3 - a) Transição habilitada. b) Marcação após o disparo. 38
Figura 3.4 - Rede de Petri com seus elementos básicos 39
Figura 3.5 - Sistema em estado de "pré-alarme" 40
Figura 3.6 - Sistema em estado "alarme" 40
Figura 3.7 - Dispositivos de notificação ativados 40
Figura 3.8 - Componentes do PFS 49
Figura 3.9 - Elementos estruturais do MFG 52
Figura 4.1 - Metodologia para a modelagem de SPTCI 55
Figura 4.2 - Modelo estrutural das estratégias do SPTCI 58
Figura 4.3 - Características da interação entre atividades em PFS 60
Figura 4.4 - Detalhamento PFS/MFG 60
Figura 4.5 - Integração dos módulos das estratégias do SPTCI 61
Figura 4.6 - Modelo em MFG do atuador 62
Figura 5.1 - Localização do PAMB no Complexo Hospitalar das Clínicas 67
Figura 5.2 - Modelo estrutural da estratégia do sistema de bombas de água contra incêndio do PAMB 80
Figura 5.3 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de detectores de vazão de água 81
Figura 5.4 - Modelo em PFS das estratégias do módulo de controle de alarme do SPTCI 82
Figura 5.5 - Modelo em PFS do funcionamento do sistema de bombas contra incêndio 83
Figura 5.6 - Modelo funcional em MFG da atividade "*stand by*" 84
Figura 5.7 - Modelo funcional em MFG da atividade "*ligar bomba jockey*" 84
Figura 5.8 - Modelo funcional em MFG da atividade "*desligar bomba jockey*" 85
Figura 5.9 - Modelo funcional em MFG da atividade "*ligar bomba principal*" 85
Figura 5.10 - Modelo funcional em MFG da atividade "*desligar bombas principal e jockey*" 86
Figura 5.11 - Modelo em MFG da estratégia de funcionamento do sistema de bombas de água contra incêndio 88

Figura 5.12 - Modelo em PFS da estratégia de ativação de detector de vazão de água 89
Figura 5.13 - Modelo em PFS da atividade "*alarme do detector de vazão do PAMB*" 90
Figura 5.14 - Modelo em MFG da atividade "*Ativar estratégia*" 91
Figura 5.15 - Modelo em MFG da atividade "*Alarme zona 1"* 91
Figura 5.16 - Modelo em MFG da atividade "*reset* dos dispositivos" 92
Figura 5.17 - Modelo funcional em MFG da estratégia de ativação de detector de vazão 94
Figura 5.18 - Modelo do Sistema de bombas contra incêndio em *Visual Object Net++* 99
Figura 5.19 - Modelo da estratégia de ativação de detector de vazão de água da linha de hidrantes e *sprinkler*s em *Visual Object Net++* 102
Figura A.1 - Modelo estrutural da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200 112
Figura A.2 - Modelo conceitual da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200 113
Figura A.3 - Modelo funcional da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200 114
Figura A.4 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de estação manual de alarme 115
Figura A.5 - Modelo conceitual da estratégia de ativação da estação manual de alarme 115
Figura A.6 - Modelo funcional da estratégia de ativação de estação manual de alarme 116
Figura A.7 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de detector de fumaça 117
Figura A.8 - Modelo conceitual da estratégia de ativação de detector de fumaça na escada 117
Figura A.9 - Modelo funcional da estratégia de ativação de sensor de fumaça na escada 118

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Pavimentos funcionais do PAMB 68
Tabela 5.2 - Classificação das zonas de alarmes de incêndios 70
Tabela 5.3 - Dispositivos utilizados na estratégia do sistema de bombas contra incêndio 74
Tabela 5.4 -Dispositivos utilizados na estratégia de ativação de detector de vazão de água 75
Tabela 5.5 - Dispositivos utilizados na estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200 77
Tabela 5.6 - Dispositivos utilizados na estratégia de ativação estação manual de alarme 78
Tabela 5.7 - Dispositivos utilizados na estratégia de ativação de detector de fumaça na escada 78

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. Motivação 1

1.2. Objetivo 5

1.3. Organização do texto 5

2. EDIFÍCIOS INTELIGENTES E O SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS 7

2.1 Edifícios Inteligentes 7

2.1.1 Definição de Edifício Inteligente 8

2.1.2 Sistemas Prediais e suas funções em um Edifício Inteligente 10

2.1.3 Integração em Edifícios Inteligentes 12

2.2. Sistema de proteção contra incêndio 17

2.2.1 Dispositivos de entrada. 21

2.3 Integração do SPTCI em Edifícios Inteligentes 28

2.4 Modelagem e Análise de SPTCI 29

3. APLICAÇÃO DE REDE DE PETRI 31

3.1. Fundamentos da Rede de Petri 33

3.1.1 Características e vantagens da rede de Petri 34

3.1.2 Elementos da rede de Petri 35

3.1.3 Estrutura de uma rede de Petri 36

3.1.4 Marcação de uma rede de Petri 37

3.1.5 Análise da rede de Petri 41

3.2 Classes de rede de Petri 43

3.3 Metodologia PFS/MFG 47

3.4 Aplicação em SPTCI.....53

4. PROCEDIMENTO DE MODELAGEM E ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO TÉCNICA CONTRA INCÊNDIO.....54

4.1 Etapa 1: Coleta de informações sobre o objetivo do edifício e os sistemas prediais envolvidos.....55

4.2 Etapa 2: Definição das estratégias a serem modeladas.....56

4.3 Etapa 3: Modelagem estrutural das estratégias do sistema.....57

4.4 Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema.....59

4.5 Etapa 5: Análise dos modelos.....63

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO 66

5.1 Etapa 1: Coleta de informações sobre o objetivo do edifício e os sistemas prediais envolvidos.....67

5.2 Etapa 2: Definição do sistema a ser modelado 72

5.3 Etapa 3: Modelagem estrutural do SPTCI 79

5.4 Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema.....82

5.5 Etapa 5: Análise dos modelos.....97

6. CONCLUSÕES FINAIS E CONTINUIDADE DO TRABALHO 104

7. REFERÊNCIAS.....107

8. ANEXO A 112

9. APÊNDICE I – Trabalhos Publicados.....119

A minha esposa Midori e a toda minha família.
A meus sogros Paulo e Rosa, pelo apoio incondicional prestado durante estes anos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A meu orientador Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi pela oportunidade, constante orientação e por tudo o que aprendi com ele durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas da sala MC-01 pelas sugestões, contribuições e amizade ao longo destes anos.

Ao pessoal do HC-FMUSP, pela colaboração para a realização desta pesquisa.

A Escola Politécnica da USP, ao Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, que institucionalmente viabilizaram esta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

A todos meus amigos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Kaneshiro, P.I. **Modelagem de sistemas de proteção técnica contra incêndio em edifícios inteligentes através de rede de Petri**. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

O sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI) é um dos principais sistemas que compõem o edifício inteligente (EI), pois a eficiência do seu funcionamento afeta diretamente a segurança das pessoas e o patrimônio do prédio. O SPTCI é composto de diferentes dispositivos, estratégias de controle e atua segundo legislação específica. Devido à complexidade do SPTCI, torna-se fundamental uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do sistema e sua relação com outros sistemas prediais. Neste contexto, este trabalho propõe um procedimento para a modelagem e análise de estratégias de controle para o SPTCI, integrado com outros sistemas prediais dentro do contexto de EI. A abordagem considerada para este propósito baseia-se na teoria dos sistemas a eventos discretos, na aplicação de técnicas derivadas da rede de Petri e em técnicas de análise através de simulação discreta. Com esta abordagem são desenvolvidos modelos do sistema de controle do SPTCI onde é considerada a sua relação com outros sistemas prediais. Particularmente, explora-se as extensões da rede de Petri como as técnicas *Production Flow Schema* e *Mark Flow Graph.* Um estudo de caso é apresentado para ilustrar as principais características deste procedimento.

Palavras-chave— Edifício inteligente, rede de Petri, sistema de detecção e combate a incêndios, sistemas a eventos discretos.

ABSTRACT

Kaneshiro, P.I. **Modeling of fire protection systems in intelligent building through Petri net.** 2006. 104f. Master's thesis – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

From the point of view of property damage and personal security, the fire protection system (FPS) is one of the most important systems in an intelligent building (IB). The FPS is composed of several devices and control strategies. Furthermore, it must act in accordance with specific laws. As a consequence the design of FPSs is a complex task and it is very important to provide an adequate model that supports the verification of the FPS dynamics and its integration with others building systems, facilitating its test and validation. In this context, this work proposes a procedure to model in a systematic and rational way a FPS in the IB context. Considering the nature of the structure and processes of FPS the approach is based on the discrete event dynamic system theory and the application of the Petri net. Then, the models the FPS control system and the controlled plant must include its integration with other building systems. Particularly, it explores Petri net extensions such as Production Flow Schema and Mark Flow Graph techniques. Through an example it is illustrated the main aspects of the proposed procedure.

Keywords— Intelligent building, Petri net, fire protection system, discrete event dynamic system.

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a justificativa, as motivações, e o objetivo para o desenvolvimento deste trabalho, assim como a organização do texto.

1.1. Motivação

A diversificação e evolução dos serviços oferecidos e disponibilizados num edifício e a necessidade de maior flexibilidade e versatilidade das instalações, envolvem um novo paradigma para a concepção de edifícios, passando a incorporar até mesmo fatores comportamentais que promovem a produtividade nas tarefas que se realizam em seu interior (FINLEY et al., 1991).

Estes edifícios devem, assim, ser projetados (sua concepção deve considerar novas técnicas de planejamento, construção, manutenção, gestão e atualização) de forma que possam absorver novas tecnologias para incrementar suas funcionalidades e adaptar-se aos requerimentos que a futura sociedade exigirá, procurando se manter um ambiente produtivo ao longo de todo seu ciclo de vida, evitando a obsolescência prematura (BASTIDAS, 2005).

De acordo com as considerações anteriores, um edifício inteligente (EI) emprega uma abordagem mecatrônica para integrar uma ampla gama de serviços e sistemas, tais como: elevadores, energia elétrica, ar condicionado, iluminação e proteção contra incêndio. A finalidade desta integração é criar um ambiente que propicia uma maior eficiência, produtividade e segurança aos usuários (FLAX, 1991; KRONER, 1997).

Um dos principais sistemas que compõem o EI é o sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI), pois a eficiência do seu funcionamento afeta diretamente a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio. Segundo entidades como a *National Fire Protection*

Association (NFPA, 1997), os principais objetivos da proteção contra incêndio no projeto de edifícios são: (a) garantir a segurança humana; (b) assegurar a proteção dos bens e (c) permitir a continuidade das atividades.

O projeto do SPTCI deve, em geral, considerar um conjunto de regras e normas que especificam os componentes básicos e as características do sistema. Estas normas são definidas por entidades reguladoras, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas no Brasil (ABNT) e a NFPA nos Estados Unidos. No entanto, as normas atuais consideram unicamente o caso de edifícios convencionais, onde o SPTCI funciona independentemente de outros sistemas prediais.

Em função dos aspectos inovadores das estratégias que envolvem a efetiva integração de sistemas, estas não são especificamente consideradas pelas normas usuais e regras mencionadas anteriormente, o qual não significa que elas não permitam novas soluções. Estratégias de controle integradas têm sido estimuladas (NFPA, 1997), onde recomenda-se a incorporação de características adicionais às usuais e se reconhece a importância de iniciativas de pesquisa neste campo.

Embora muitas abordagens e ferramentas já tenham sido propostas para modelar e analisar o que aconteceria num edifício no caso de incêndio (OLENICK; CARPENTER, 2003), elas são usadas somente para análise de SPTCIs convencionais e, em geral não apresentam a necessária flexibilidade para considerar a incorporação de novas estratégias de atuação destes sistemas. Assim, existe a expectativa de que as novas estratégias de controle explorem de fato, o potencial da integração dos sistemas prediais e com isto, o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas para a avaliação destes sistemas é de grande importância.

Considerando ainda a relevância que tem o SPTCI nos edifícios em geral e, em especial no âmbito dos edifícios inteligentes, é evidente que seu projeto e operação

necessitem de técnicas de modelagem e análise, que visem selecionar as melhores alternativas de projeto e políticas de operação a fim de garantir a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio.

Desta maneira, dada à complexidade do SPTCI, torna-se fundamental uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do sistema e sua integração com outros sistemas prediais, além de facilitar uma análise funcional deste. Isto justifica o estudo de metodologias para auxiliar e direcionar o desenvolvimento dos modelos.

Neste contexto, um modelo é entendido como uma abstração e representação simplificada do sistema (ARATA, 2005). O modelo representa os componentes mais importantes do sistema e a forma como eles interagem. Uma vez obtido o modelo do sistema, pode-se empregar, por exemplo, a simulação para a análise da dinâmica do sistema ou para a análise de novas estratégias de controle (SEILA, 1995).

Toda simulação utiliza um modelo para descrever o comportamento do sistema que pode ou não existir. A idéia chave é que a simulação é uma realização alternativa que se aproxima do sistema real e, em muitos casos, o propósito da simulação é analisar e entender o comportamento deste em função de ações e decisões alternativas (SEILA, 1995).

A modelagem de SPTCIs, envolve a organização do conhecimento de como esses sistemas funcionam. Isto é, quais são as tarefas realizadas por seus componentes e como são as relações entre estas tarefas. Neste contexto, verifica-se que as partes que compõem os SPTCIs têm seus comportamentos dinâmicos definidos através de mudanças de estados discretos como conseqüência da ocorrência de eventos instantâneos e que caracterizam uma classe de sistemas chamada de SEDs (sistemas a eventos discretos) (MIYAGI, 1996; RAMADGE; WONHAM, 1989).

De fato, estudos sobre o comportamento da chama, da fumaça, das pessoas em situações de emergência (VILLANI; KANESHIRO; MIYAGI, 2005), etc., indicam que

conceitos de sistemas híbridos e incertezas são também importantes na análise de sistemas de evacuação. O sistema híbrido é definido como aquele sistema onde encontram-se simultaneamente variáveis de estado de natureza contínua e de natureza discreta (VILLANI, 2004). Entretanto, numa abordagem macroscópica e com o foco nas funções dos componentes de um SPTCI, a visão deste como um SED é adequada e suficiente já que o foco está em valores e níveis específicos (discretos) das variáveis (que podem até ser contínuas), isto é, os estados e ações do SPTCI são definidos em função da comparação simples de grandezas (tipo: igual a, maior que, menor que, etc).

De acordo com Silva (1985), a rede de Petri constitui uma das mais potentes ferramentas gráficas utilizadas para a modelagem, análise e projeto de SEDs. Esta técnica permite a representação clara e condensada das funcionalidades e da evolução dos processos, facilitando a descrição da dinâmica do sistema, assim como a implementação das estratégias de controle. A rede de Petri é própria para a descrição de sistemas com processos concorrentes, assíncronos, distribuídos e paralelos (CARDOSO; VALLETE, 1997; PETERSON, 1981; REISIG, 1992).

Deste modo, têm sido propostas diversas técnicas derivadas da rede de Petri, de comprovada eficiência para a modelagem, análise e controle de casos práticos de SEDs. Estas técnicas são usadas através de uma abordagem estrutural, onde o sistema é modelado em diferentes níveis de abstração. Por exemplo, no caso de sistemas prediais tem sido utilizado um modelo conceitual, obtido pelo uso da técnica *Production Flow Schema* (PFS) (MIYAGI, 1996) e o refinamento deste para modelos funcionais através do uso do *Mark Flow Graph* (MFG) (HASEGAWA et al. 1989) e suas extensões, onde são preservadas as estruturas das “atividades” descritas no nível superior de modelagem. Os modelos gerados podem então ser analisados e validados por simulação segundo os requerimentos das atividades e serviços num

sistema de automação predial e verificados de acordo com as propriedades da rede de Petri (MURATA, 1989).

1.2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de um procedimento para a modelagem e análise de estratégias de controle para o sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI), integrado com outros sistemas prediais dentro do contexto de edifícios inteligentes. Busca-se assim fornecer uma ferramenta para a avaliação da influência das estratégias adotadas para este sistema sobre outros sistemas prediais.

A abordagem considerada para este propósito baseia-se na teoria dos sistemas a eventos discretos, na aplicação de técnicas derivadas da rede de Petri e em técnicas de análise através de simulação discreta. Com esta abordagem são desenvolvidos modelos do sistema de controle do SPTCI onde é considerada a sua integração com outros sistemas prediais.

1.3. Organização do texto

A seguir, apresenta-se uma descrição do conteúdo dos capítulos seguintes que compõem este texto:

O Capítulo 2 apresenta algumas das definições propostas para o conceito de edifício inteligente, assim como os seus objetivos, funções e características, ressaltando o papel da integração entre seus diversos sistemas. São apresentados os conceitos relevantes dentro do sistema de proteção contra incêndios, que compreendem as partes que o compõem, seu funcionamento e controle. Tem-se também, uma descrição do papel do sistema de proteção

contra incêndio no contexto dos edifícios inteligentes, abordando-se sua integração com outros sistemas prediais.

No Capítulo 3 é realizada uma breve recapitulação da rede de Petri, considerando suas vantagens e características na modelagem dos SPTCI. Prossegue-se apresentando o PFS/MFG no qual este trabalho é desenvolvido.

No Capítulo 4 é apresentado o procedimento proposto para a modelagem e análise do sistema de proteção técnica contra incêndio no contexto dos edifícios inteligentes, através do uso da abordagem hierárquica e estruturada do PFS/MFG.

No Capítulo 5 apresenta-se um exemplo de aplicação: um prédio hospitalar (Prédio dos Ambulatórios – PAMB) do Hospital das Clinicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP), no qual é aplicado o procedimento desenvolvido, considerando a interação com diferentes sistemas prediais.

No Capítulo 6 apresentam-se as observações finais e as principais conclusões obtidas, bem como sugestões para realização de trabalhos futuros.

2. EDIFÍCIOS INTELIGENTES E O SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

Este capítulo trata dos conceitos básicos envolvidos no presente trabalho. Inicialmente, apresenta-se os edifícios inteligentes, suas definições, suas características e a integração entre seus diferentes sistemas prediais. Em seguida, são abordados conceitos dos sistemas de proteção contra incêndios, suas características, funcionamento e integração com outros sistemas prediais.

2.1 Edifícios Inteligentes

Bastante difundida nos diversos ramos industriais, a automação alcançou as edificações corporativas. A cada dia, novos componentes que agregam tecnologias a ela relacionadas são aplicados às instalações prediais. A aplicação da automação predial tem demonstrado que é possível proporcionar ou ampliar benefícios em fatores como: gerenciamento técnico, conforto, economia, prevenção de acidentes e falhas de equipamentos e segurança aos usuários (DIAS, 2004).

A evolução da telecomunicação, tecnologia da informação e mecatrônica tem viabilizado aplicações que no princípio, causam impactos, mas logo estão presentes no cotidiano e passam a ser condicionantes de conforto e da praticidade. Assim, novos produtos e serviços estão sendo disponibilizados nos escritórios e residências. Observam-se mudanças tanto na organização e utilização do espaço físico quanto no projeto das instalações e nos ambientes das edificações (NEVES, 2002). Tais mudanças estão sendo concebidas e projetadas na forma do que se tem chamado de edifício inteligente (EI).

Castro (1994) sugere a definição segundo o *Intelligent Buildings Institute* (IBI) dos Estados Unidos, de que o EI é um edifício "que oferece um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos: estrutura (componentes estruturais do edifício, elementos de arquitetura, acabamentos de interiores e móveis), sistemas (controle de ambiente, calefação, ventilação, ar-condicionado, iluminação, segurança e energia elétrica), serviços (comunicação de voz, processamento de dados, transmissão de imagens, limpeza) e gerenciamento (ferramentas e recursos para controlar o edifício) bem como das inter-relações entre eles".

Os motivos que têm impulsionado a expansão da automação nas edificações têm sido principalmente a procura de soluções para economia de energia, juntamente com a possibilidade de administração eficaz do seu consumo além da redução significativa nos custos dos equipamentos mecatrônicos (NEVES, 2002).

No final dos anos 70, os sistemas HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) foram os primeiros sistemas de edifícios a serem eletronicamente controlados. Os dispositivos eletrônicos realizavam o controle destes sistemas, através de sensores e atuadores, permitindo respostas e alterações relativamente rápidas e mais precisas das condições climáticas. Esta tecnologia fomentou o início do desenvolvimento da proposta de dotar os edifícios de inteligência, podendo assim responder prontamente às alterações frente aos requisitos do ambiente definidos pelos usuários (FLEX, 2006).

2.1.1 Definição de Edifício Inteligente

Atualmente não existe uma definição precisa do que se pode denominar como edifício inteligente (EI). Este termo foi inicialmente usado nos anos 70 por motivos meramente comerciais, anunciando alta qualidade e rápido retorno do investimento. Neste sentido, a

definição dos serviços que estes deveriam prestar e o significado da chamada “inteligência do edifício” tem sido impreciso e, sujeito ao critério pessoal de proprietários e usuários (WANG et al., 2005).

Segundo Kroner (1997), o EI deve ter flexibilidade e modularidade para acomodar qualquer modificação, fornecendo a base sobre a qual serão implementados outros desenvolvimentos no futuro. Assim, o EI deve permitir aos proprietários, ocupantes e administradores desfrutar de novas tecnologias, introduzindo-as com um mínimo custo e sem considerável interrupção nas atividades produtivas do ambiente de trabalho.

Marte (1995) afirma que atualmente não se concebe um edifício que não possua sistemas automatizados para seu gerenciamento, levando-se em conta que o desenvolvimento das comunicações e dos sistemas de automação predial praticamente obriga a utilizar recursos tecnológicos de ponta.

Desta forma, considera-se que o que caracteriza um edifício automatizado é o fato deste ser dotado de um sistema de controle que procura otimizar certas funções inerentes à sua operação e administração. É algo como um edifício com vida própria, com cérebro, sentidos e músculos (NEVES, 2002). As características fundamentais que se deve encontrar num sistema de controle predial inteligente são:

- capacidade para integrar todos os sistemas prediais;
- atuar em condições variadas, e aprender com elas;
- ter memória suficiente e noção temporal;
- ter interface amigável com o usuário;
- ser facilmente reprogramável;
- dispor de capacidade de auto correção.

Em todo caso, a principal virtude destas funções está na necessidade de uma nova forma de concepção da gestão de sistemas, deixando a abordagem eletromecânica convencional e adotando uma abordagem mecatrônica.

2.1.2 Sistemas Prediais e suas funções em um Edifício Inteligente

Segundo Wang; Xie (2002) e Flax (1991), os principais sistemas que compõem um EI são:

- sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI);
- sistema para gerenciamento e monitoração do consumo de energia;
- sistema de iluminação;
- sistema para controle de acesso;
- sistema de segurança;
- sistema de elevadores;
- sistema de telecomunicações;
- sistema de automação de escritórios;
- sistema para gerenciamento de informações;
- sistema de manutenção;
- sistema de ventilação e ar condicionado (HVAC).

De acordo com o tipo de gerenciamento que executam, uma possível forma de agrupar os sistemas prediais é (SARAMAGO, 2002):

- Sistema para gestão da segurança física e patrimonial: inclui os sistemas que preservam a segurança dos usuários do edifício, assim como o seu patrimônio.

Aqui estão: o sistema de controle de acesso, o sistema de circuito fechado de televisão e o sistema de proteção técnica contra incêndio.

- Sistema para gestão de controle ambiental: dentro deste grupo consideram-se os sistemas que mantém um ambiente com conforto térmico, lumínico, acústico, visual, olfativo. Entre eles estão: o sistema ar condicionado e ventilação, o sistema de fornecimento de água e o sistema de iluminação.
- Sistema para gestão de energia: abrange a distribuição e utilização da energia elétrica (controle de demanda e conservação de energia).
- Sistema para gestão de comunicações: estão incluídos dentro deste grupo os sistemas que permitem o acesso às facilidades internas e externas de telecomunicação.

Em geral, a classificação dos sistemas não é rigorosa, pois estes podem servir a várias funções.

Alguns exemplos das novas capacidades previstas para um EI são (KRONER, 1997):

- monitoração da segurança e acionamento do sistema de alarme de incêndio, tratando prioritariamente as localidades onde existem ocupantes, no caso de emergência;
- detecção de presença humana e/ou características de ocupação em qualquer parte do edifício, visando o controle de iluminação, aquecimento, ventilação e ar condicionado, baseando-se em respostas pré-programadas;
- realização de autodiagnóstico dos componentes dos sistemas do edifício;
- ativação otimizada de elevadores, escadas rolantes e outros sistemas de apoio à movimentação de pessoas e outros itens materiais;

- percepção da intensidade e ângulo da luz natural e radiação solar, da temperatura e da umidade, para ajuste das propriedades do envoltório do edifício para atingir os níveis de desempenho desejados de conforto;
- reconhecimento de digitais ou outro meio de identificação biométrica para o controle de acesso ao edifício;
- detecção de odores e poluentes para o controle da ventilação;
- distribuição da energia elétrica aos equipamentos de acordo com a demanda ou de acordo com uma prioridade pré-definida e ativação automática de baterias e geradores de reserva;
- ativação de bancos de gelo ou bancos de calor quando as tarifas de consumo de energia são menores.

2.1.3 Integração em Edifícios Inteligentes

Segundo Kirby (2000), o termo sistemas integrados, num sentido de tecnologia da informação se refere usualmente a dois ou mais sistemas que trocam informações num formato digital. O resultado final desta integração pode ser uma saída comum de informação, de ambos ou todos os sistemas, num display (tela do computador, por exemplo).

De acordo com Arkin e Paciuk (1995), a chave para a operação efetiva de um EI é a integração dos sistemas prediais entre si, e entre estes sistemas e a estrutura do edifício. A integração dos sistemas, quando devidamente implementada, melhora a segurança e a robustez do controle dos sistemas e, ao mesmo tempo, reduz os custos de operação. Também é amplamente assumido que a integração dos sistemas é uma parte vital do EI.

Em um edifício convencional, o sistema de energia elétrica, de ar condicionado, de iluminação, de prevenção contra incêndio, etc., operam independentemente e,

conseqüentemente, o gerenciamento do edifício desconsidera qualquer situação que se refere à satisfação de demandas conflitantes. Entretanto, com a introdução de uma concepção integrada e abrangente que inter-relaciona os diversos sistemas, o edifício pode e deve responder a estas demandas em tempo real e com melhor custo efetivo (FLAX, 1991). Pode-se então definir um EI como a integração de uma ampla gama de serviços e sistemas, cuja finalidade é criar um ambiente que conduz a uma maior criatividade, produtividade e segurança que nos edifícios convencionais (FLAX, 1991; KRONER, 1997; MIYAGI et al., 2002; WANG et al., 2005).

De acordo com Arkin e Paciuk (1995), a integração dos diversos sistemas no EI pode ser implementada em uma estrutura onde um sistema de gerenciamento do edifício (SGE) é responsável por compartilhar informações dos diversos sistemas prediais em tempo real de modo a otimizar todos os controles envolvidos e atender aos requisitos de segurança e conforto do usuário, de eficiência energética, entre outros.

Na Figura 2.1 caracterizam-se os principais sistemas e serviços oferecidos no EI.

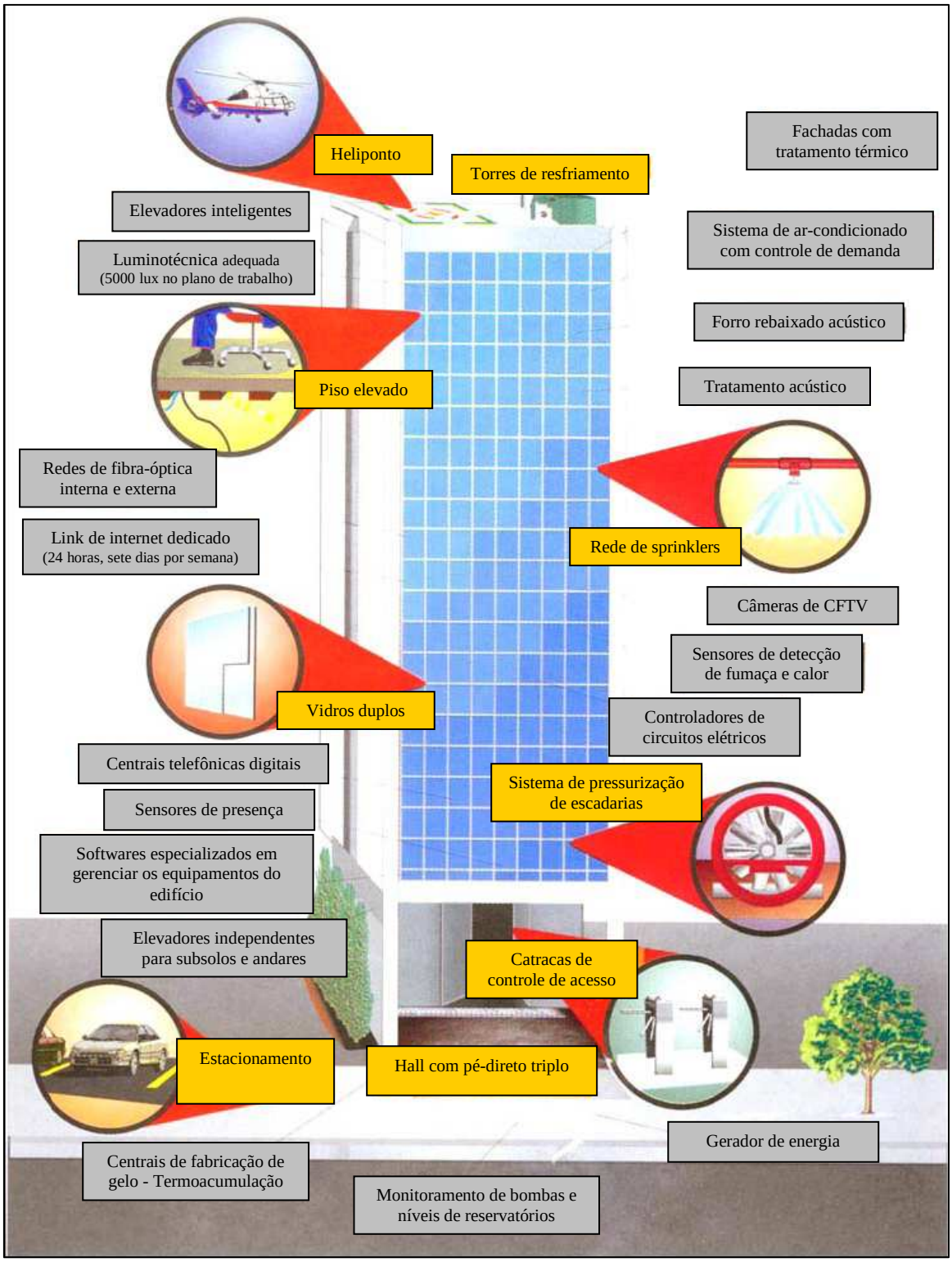


Figura 2.1 - Sistemas e serviços oferecidos nos edifícios inteligentes (ALVARES, 2002)

A integração dos sistemas prediais pode, de fato, utilizar tecnologias centralizadas ou distribuídas (LIU; MAKAR, 2001). Os sistemas centralizados, como o nome sugere, são

aqueles que dispõem de uma unidade central de controle onde todos os dispositivos são conectados, tanto para recebimento dos sinais dos sensores e dispositivos de comando, quanto para, após o processamento das informações, enviar sinais para os dispositivos de monitoração e atuação.

Segundo Pereira (2006), os sistemas centralizados, devido à sua simplicidade, em geral são relativamente mais baratos, sendo indicados para automação de sistemas de pequeno porte e também para aplicações de tempo crítico, com entradas e saídas altamente acopladas e sincronizadas com grande fluxo de dados (de tal forma a gerar um fluxo relativamente grande de informações entre os elementos do sistema).

Uma das vantagens deste tipo de configuração é que a unidade de processamento e o dispositivo de aquisição e tratamento dos sinais pode ser instalado em um ambiente separado do processo. Isso é indicado para ambientes considerados inadequados para equipamentos eletrônicos, principalmente devido ao calor, umidade, poeira, poluição, vibração e produtos químicos.

Uma das desvantagens deste tipo de configuração é a necessidade de utilização de grande quantidade de cabos para os sinais de entradas e saídas até um único local, muitos deles blindados devido à interferência eletromagnética, pois conduzem sinais da ordem de milivolts, sendo muito influenciados por eventuais ruídos eletrônicos.

Segundo Liu e Makar (2001), os sistemas com tecnologias distribuídas ou descentralizadas, são constituídos de diversos dispositivos com processamento inteligente próprio. Cada dispositivo com uma função específica dentro das inúmeras necessidades do sistema predial, sendo distribuídos por toda a extensão do edifício, interligados por uma rede de comunicação, trocando informações entre si e com sensores e atuadores que podem se encontrar próximos ou integrados ao objeto de controle e/ou painel de monitoração e comando. Os dispositivos estão conectados a um barramento de dados por onde é feita a

comunicação digital através de um protocolo, enquanto que a inteligência envolvida na realização do controle, ou seja, o processamento das informações é distribuído em vários locais do sistema através da utilização de micro controladores que executam as estratégias de controle. Os circuitos de condicionamento e o tratamento dos sinais coletados são feitos em cada elemento da rede de comunicação chamados de nós (PEREIRA, 2006).

Segundo Franco (2006), uma das principais características é que o dispositivo inteligente envia o dado coletado já com o devido tratamento diretamente para os outros dispositivos que utilizam a informação coletada. Isto evita que o dispositivo que recebe esta grandeza tenha que convertê-la antes de usá-la, poupando sua capacidade de processamento pra executar outras funções.

Existe, entretanto, uma dificuldade no mercado para integrar os diferentes sistemas prediais, resultado da grande diversidade de tecnologias e protocolos de comunicação existentes. Estes protocolos de comunicação incluem: BACnet, LonWorks, CAN, NEST, EHSA e CAB (LIU; MAKAR, 2001).

Por exemplo, o BACnet é próprio para uma estrutura hierárquica, no qual, o sistema inteiro é dividido num número de subsistemas, cada um com uma CPU independente. A coordenação entre os subsistemas é através de conexão física ou software. Este método simplifica a instalação e manutenção e minimiza os danos causados por uma eventual falha numa CPU, que afeta unicamente um nível local e não o sistema todo (BOLZANI, 2004).

Nos Estados Unidos, a *National Electrical Manufacturer´s Association* (NEMA) e a *National Fire Protection Association* (NFPA), tem agregado o uso do BACnet como uma forma para integrar o SPTCI com outros sistemas prediais. Assim, na Europa e nos Estados Unidos já existem dispositivos contra incêndios com a tecnologia BACnet (BUSHBY, 2001).

Mais recentemente, um outro protocolo de comunicação, o Lonworks, se propõe a implementar sistemas de controle de forma distribuída. Este protocolo possui a característica

de distribuir a inteligência de controle entre os elementos (nós) que formam a rede de comunicação. Estes nós possuem a capacidade de se comunicarem uns com outros e desempenhar suas tarefas individuais de modo integrado (LONMARK, 2006).

Segundo Pereira (2006), a proliferação de sistemas de controle distribuído é uma tendência, mas aspectos como a multiplicidade de soluções proprietárias, a complexidade dos sistemas prediais, e a falta de um *standard* de comunicação, são fatores que tendem a dificultar sua expansão.

2.2. Sistema de proteção contra incêndio

O sistema de proteção contra incêndio pode ser dividido em dois domínios: a proteção contra incêndio preventiva e a proteção contra incêndio defensiva (vide Figura 2.2). A proteção contra incêndio preventiva engloba os aspectos estruturais, tecnológicos e organizacionais, já o combate ao fogo e o resgate são aspectos da proteção contra incêndio defensiva (SCHENEIDER, 2000 apud MEISSNER et al., 2003). De acordo com Marte (1994), o sistema de proteção contra incêndio preventivo é um dos principais sistemas prediais que compõem um EI, pois a eficiência do seu funcionamento afeta diretamente a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio.

Segundo Castro (1994), mais de 90% dos incêndios declarados apresentam uma primeira fase de desenvolvimento relativamente lenta (vide Figura 2.3), durante a qual, pode-se reconhecer o perigo. Esta primeira fase do incêndio é muito importante. Nela, com a detecção precoce, as chances de controle são maiores. Na maioria dos casos, este reconhecimento representa um ganho importante de tempo, entre o momento da detecção e a ação dos bombeiros.

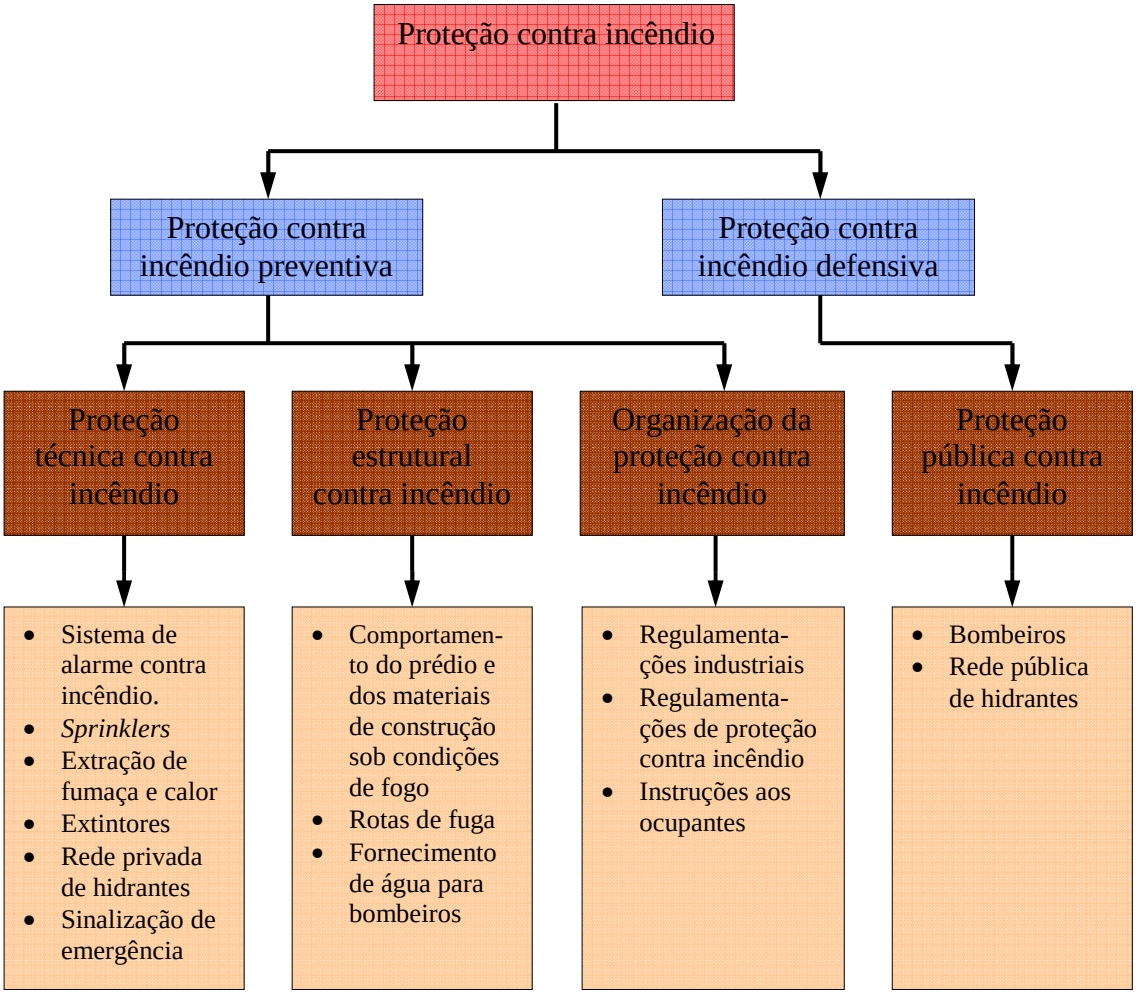


Figura 2.2 - Estrutura da proteção contra incêndio

É importante, por esta razão, um sistema de detecção precoce efetivamente capaz de reagir nos primeiros momentos do problema, e que se disponha dos meios necessários para a atuação no sentido de eliminar o problema.

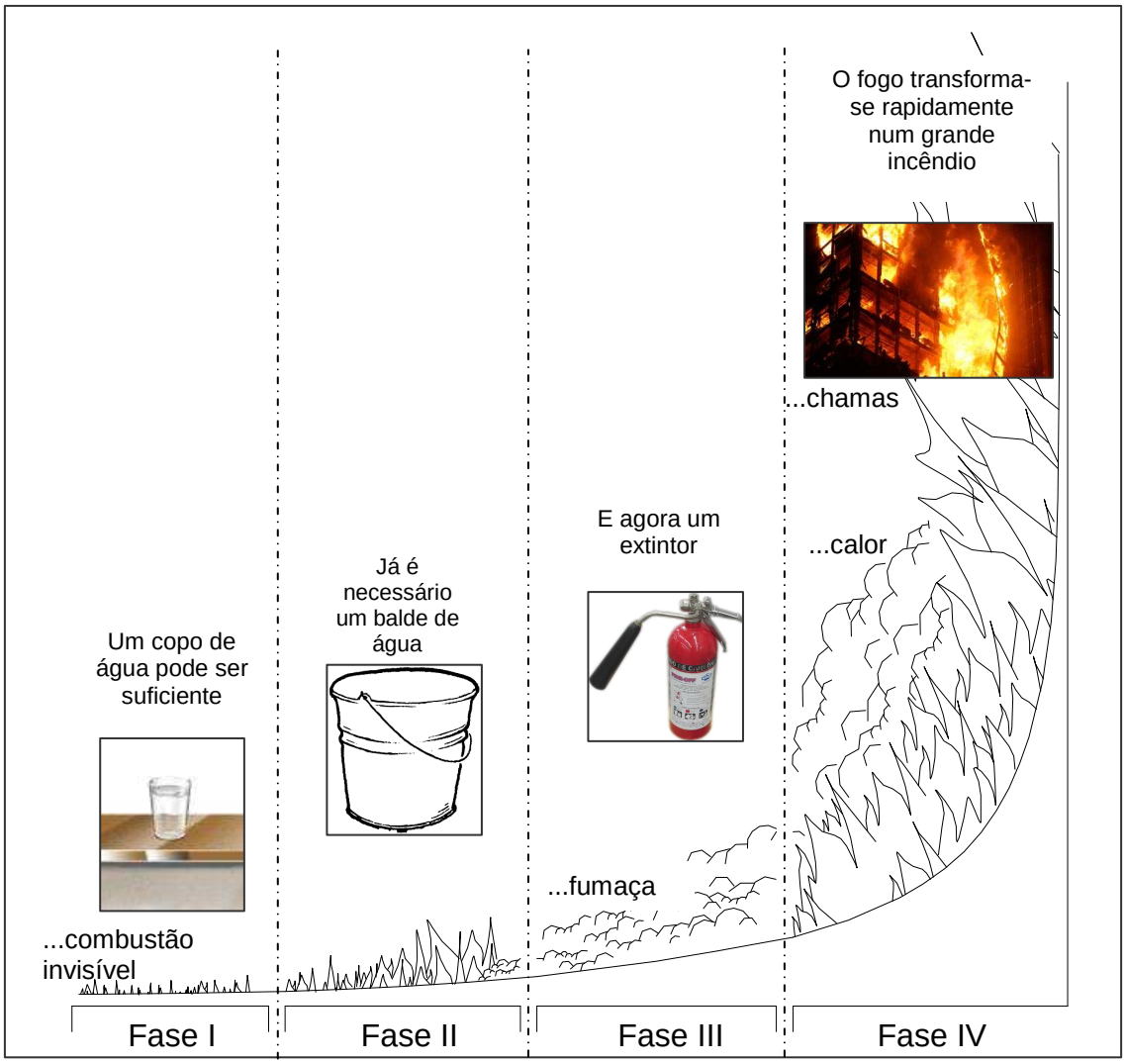


Figura 2.3 - Fases de um incêndio (CASTRO, 1994)

Conforme a Figura 2.3, durante as duas primeiras fases, os materiais vão se aquecendo em função da quantidade de calor que recebem do fogo inicial de ignição. Em seguida, atingem sua temperatura de combustão produzindo muita fumaça (fase III).

A fase IV é a mais critica no sentido de que ela é a grande causadora de perda de vidas humanas e do patrimônio. Dificilmente se consegue combater um incêndio nesta fase. A energia térmica liberada é de tal magnitude que os recursos conhecidos são em geral, insuficientes para o controle das chamas.

Nesse contexto, o sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI) é o conjunto de meios técnicos destinados a alertar da forma mais antecipada possível, a existência de um

princípio de incêndio e combatê-lo (NFPA, 1997). Estes sistemas estão constituídos pelos seguintes elementos: circuitos dos dispositivos de entrada (comandos manuais e detectores de incêndios), módulo de controle de alarme, circuitos dos dispositivos de saída (dispositivos de notificação de alarme e dispositivos de atuação) e a fonte de energia. A Figura 2.4 mostra a estrutura geral do SPTCI.

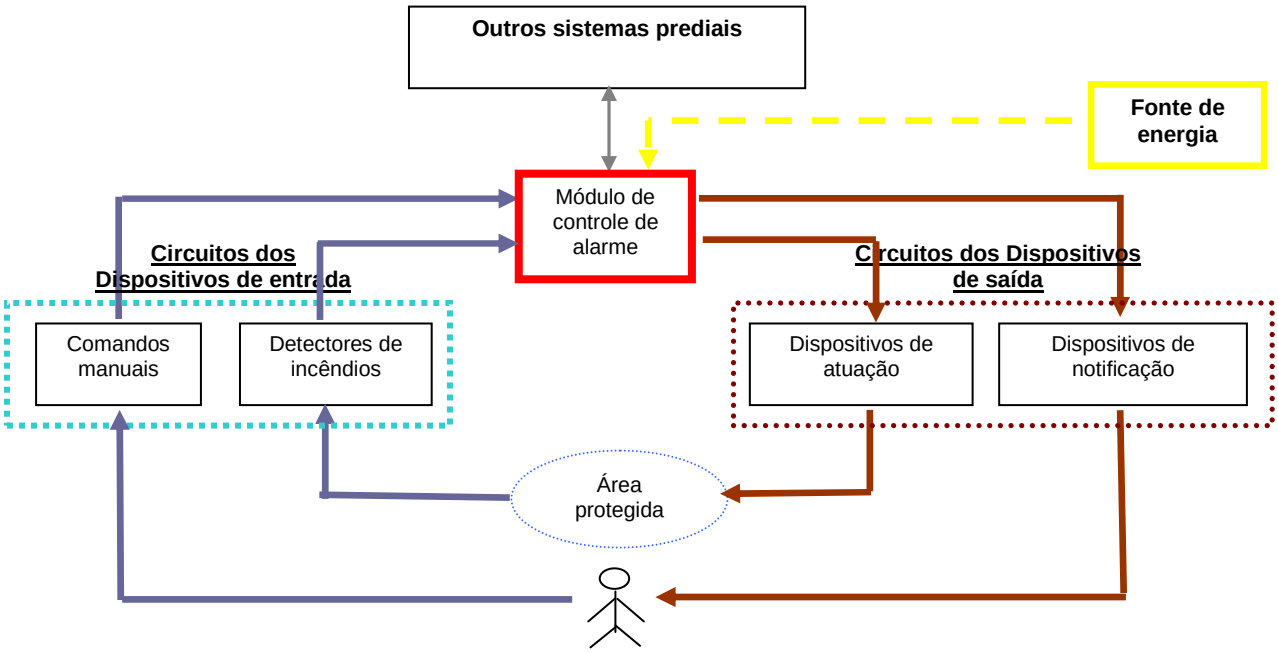


Figura 2.4 - Estrutura Geral do SPTCI

Este sistema deve possuir características especiais, sobretudo em relação à capacidade de funcionamento autônomo; em caso de falta de energia o sistema deve ser mantido por baterias de emergência. O SPTCI deve estar apto a executar ações como:

- alertar o operador do sistema sobre qualquer irregularidade no edifício;
- gerenciar o alarme de incêndio orientando usuários sobre rotas de fugas em função do local da ocorrência;
- supervisionar os níveis das caixas de água do edifício;
- proceder a desenergização do setor danificado, impedindo curto-circuitos que possam contribuir para o crescimento do incêndio;

- posicionar os elevadores no andar térreo, ou em qualquer outro andar de modo que o usuário acesse a rota de fuga, posicionando-o posteriormente no andar imediatamente abaixo ao atingido, evitando o aumento do incêndio pelo poço do elevador;
- acionar o sistema de insuflamento de ar nas escadas de emergência, impedindo que estas sejam invadidas pela fumaça;
- informar a ocorrência aos setores responsáveis pelo combate ao incêndio, através de telefone ou rádio;
- pressurizar a linha de água de hidrantes e *sprinklers* (chuveiros automáticos instalados no teto do pavimento).

A seguir são apresentados os elementos que compõem a estrutura geral do SPTCI segundo a Figura 2.4.

2.2.1 Dispositivos de entrada.

São dispositivos destinados a operar quando influenciados pelos fenômenos físicos e químicos que precedem ou acompanham um principio de incêndio. O objetivo do seu uso é “ganhar tempo” por meio de um sinal de alerta, antecipando a propagação do incêndio. Estão divididos em: detectores de incêndios e comandos manuais.

Segundo Spósito (1992), o posicionamento e a quantidade de pontos de comandos manuais e detectores são determinados segundo um projeto específico. No caso dos detectores, estes são diferenciados segundo a sua aplicação.

a) Detectores de incêndios

Os detectores de incêndio são os dispositivos de entrada, (isto é, do circuito de indicação de alarme) que além do elemento sensor (transdutor) possuem recursos para registrar, comparar e medir a presença e as variações dos fenômenos do fogo – fumaça, calor, chamas - e que transmitem em seguida estas informações, em forma de sinais, ao módulo de controle de alarme que os interpretam (NFPA, 1997).

Os detectores de incêndio devem assim enviar os sinais devidos quando se manifestam condições de desencadear o alarme. A fase do incêndio (vide Figura 2.3) que determina o modo de emissão de sinais do detector depende de sua característica construtiva. Neste caso, a escolha deve ser conduzida pelo projetista de forma a especificar o detector mais adequado para o ambiente onde vai ser instalado, bem como o tipo potencial da combustão que ali possa ocorrer, de modo a combinar os detectores para atingir um melhor equilíbrio entre a rapidez de detecção do problema com um menor número de falsos alarmes. Os detectores podem ser divididos de acordo com o fenômeno que detectam em:

Detectores de fumaça: este tipo de detector possui em geral, o grau de sensibilidade suficiente para detectar produtos resultantes da combustão e/ou pirólise suspenso na atmosfera. Assim, este detector pode ser utilizado para identificar a fase I (Figura 2.3) de um incêndio.

Detectores ópticos: este tipo de detector é eficaz na fase II (Figura 2.3) de um incêndio, mas sua eficiência pode ser comprometida pela presença de fumaça muito espessa (fumaça preta) que pode “cegar” o fototransmissor. São, entretanto, recomendáveis para locais com presença de corrente de ar e de materiais que produzam fumaça branca.

Detectores térmicos: neste tipo de detector, a grandeza a ser medida é a temperatura ambiental, que tende a aumentar significativamente em caso de incêndio. São complementares aos detectores ópticos e, por isto, adaptam-se a centrais térmicas, estacionamentos subterrâneos e cozinhas.

Detectores de chama: os detectores de chama intervêm na fase IV (Figura 2.3) do incêndio, durante a qual existe o desenvolvimento da chama visível. São recomendáveis para incêndios em que o tipo de combustível é de tal natureza que a combustão ocorra imediatamente, isto é a evolução das fases I, II, III ocorre muito rapidamente.

Além disso, a cada dia consolida-se a oferta de novos dispositivos de detecção compostos por elementos microprocessados. Estes detectores inteligentes melhoram os aspectos de confiabilidade e manipulam um número maior de parâmetros que os detectores convencionais. Suas principais características são:

- utilizam técnicas de transmissão de sinais para a comunicação bidirecional de dados e comandos entre o módulo de controle de alarme e o detector;
- podem ser verificados periodicamente em um intervalo de tempo que não ultrapassa o limite de saturação de dados da rede de comunicação, isto é, em geral 1,8 segundos;
- compensam eventuais ruídos.

Nestes detectores, em geral, o sinal analógico de corrente elétrica emitida pelo elemento sensor varia em função da fumaça, calor ou outro parâmetro ambiental. Se a medida deste valor supera os parâmetros prefixados, diferentes sinais são avaliados para garantir uma resposta correta capaz de discriminar entre um sinal de alarme efetivo ou um falso.

Segundo Liu e Makar (2001), os sensores com novas tecnologias terão um papel ainda mais importante na nova geração dos EIs. Esta nova geração de sensores adicionaria a capacidade de aprender sobre o entorno do prédio e as necessidades de seus ocupantes, podendo mudar o comportamento do sistema de controle segundo estas necessidades. A informação proporcionada por estes sensores incluiria alterações no entorno do prédio, como fumaça, temperatura e umidade, qualidade do ar, movimento do ar e o número de ocupantes no prédio.

b) Comandos manuais

Os comandos manuais são dispositivos destinados a transmitir a informação de um principio de incêndio quando acionados pelo elemento humano, são utilizados em locais estratégicos do ambiente. Estes também podem ter algum grau de inteligência e podem se estar conectados numa rede de comunicação junto com os detectores.

Todos os detectores e comandos manuais são interligados ao módulo de controle de alarme. Em geral esta conexão é em anel, de modo que, em caso de problemas com uma ligação, o sinal tenha um caminho alternativo para a transmissão de informação.

2.2.2 Módulo de controle de alarme

O módulo de controle de alarme é o “cérebro” do SPTCI. Este envolve o fornecimento de energia para o funcionamento do SPTCI e as funções de proteção dos seus circuitos elétricos. O módulo de controle de alarme é um equipamento que possui dispositivos lógicos destinados a processar os sinais provenientes dos detectores de incêndio e comandos manuais,

converter estes em indicações adequadas (sinais de monitoração), acionar os demais componentes do sistema de combate a incêndios e interagir com os outros sistemas prediais.

O módulo de controle de alarme confronta os dados recebidos com os dados que estão na sua memória, verificando se estão corretos e comparando-os com os parâmetros estabelecidos para alarme de incêndio; quando necessário, uma posterior leitura é realizada para verificar o desenvolvimento progressivo de eventos. Um alarme de incêndio é reconhecido quando se verifica, por exemplo, uma das seguintes situações:

- as leituras dos dados dos detectores indicam duas ou mais superações dos níveis prefixados;
- as leituras dos dados indicam uma derivada de aumento de fumaça/calor acima de um valor prefixado, e que permanecem em pelo menos cinco leituras sucessivas, e
- as leituras dos dados indicam um incremento mesmo que reduzido mas que supera os valores prefixados em mais de vinte leituras sucessivas.

A combinação de uma ou mais destas condições representa uma vasta gama de possíveis condições de incêndio. Dependendo do projeto do módulo de controle de alarme, a função de monitoração pode prover:

- notificação a todos os ocupantes simultaneamente;
- notificação aos ocupantes em alguns locais da edificação em eminente perigo;
- notificação à brigada de incêndio do edifício;
- notificação aos bombeiros;
- ativação de sistemas de controle de segurança suplementares de acordo com cada tipo de emergência.

O módulo de controle de alarme deve também constantemente verificar a integridade da sua fonte primaria de energia (principal), a sua fonte secundária de energia reserva, a rede

de conexões, os dispositivos de detecção e comandos manuais e os dispositivos de atuação e monitoração do sistema. O módulo de controle de alarme deve identificar os seguintes tipos de falhas:

- perda de potência na fonte de energia primária;
- perda de potência na fonte de energia secundária;
- abertura ou rompimento de qualquer conexão elétrica do sistema;
- aterramento de uma conexão elétrica (que faz com que o sistema permaneça inativo);
- curto circuito na conexão elétrica do sistema;
- perda de comunicação entre qualquer dispositivo de detecção ou estações manuais;
- perda de comunicação entre qualquer dispositivo de atuação ou de monitoração do sistema.

Observa-se que o requerimento de supervisão da integridade das conexões e comunicação para um sistema de incêndio é a maior diferença entre a instalação de um SPTCI e outros sistemas de um edifício.

2.2.3 Dispositivos de saída

Os dispositivos de saída podem ser divididos em (a) dispositivos de notificação e (b) dispositivos de atuação.

a) Dispositivos de notificação de alarme

A finalidade destes dispositivos é alertar os supervisores/operadores do edifício e os ocupantes de determinados setores ou de todo o edifício da presença de um incêndio em

estado incipiente. Alguns destes dispositivos são: indicadores sonoros, indicadores visuais, painéis repetidores e marcadores telefônicos.

b) Dispositivos de atuação

O SPTCI em geral, dispõe de circuitos específicos para conectar dispositivos de atuação, tais como solenóides de válvulas de fluxo de água para extinção de fogo, válvulas de recipientes de CO_2, Halon, FM200 ou pó químico seco. Num EI, o SPTCI deve ter interfaces associadas para atuar sobre portas de emergência e portas corta fogos, assim como modificar o processo normal de operação de equipamentos e/ou serviços em caso de presença de incêndio.

2.2.4 Fonte de alimentação de energia

Segundo a norma NFPA 101, todo SPTCI requer duas (2) fontes de alimentação de energia, uma primária ou principal usada para operar o sistema e outra secundária ou reserva usada para operar o sistema em caso de falha da fonte primária. O módulo de controle de alarme deve ser capaz de ativar um sinal de avaria caso a fonte principal ou secundaria falhe.

A fonte de alimentação secundária geralmente são baterias. Estas devem ser capazes de operar o sistema caso a fonte de alimentação principal falhe por períodos específicos de tempo. Estas baterias devem permanecer apropriadamente carregadas sob operação normal por um carregador ou fonte de energia confiável. Ao mesmo tempo, devem estar protegidas por danos causados por uma sobrecarga ou por inversão de polaridade. Poderão ser armazenadas dentro do módulo de controle de alarme sempre que estiver selada de maneira a

evitar a propagação de gases que possam causar danos a componentes eletrônicos ou explosão.

2.3 Integração do SPTCI em Edifícios Inteligentes

O SPTCI e os correspondentes sistemas de segurança são parte importante dos EIs. Bilhões de dólares são gastos anualmente na instalação e manutenção dos SPTCIs nos edifícios para assegurar a prevenção e o combate a incêndios (CHAPMAN, 1999). Os sistemas automatizados desenvolvidos para os EIs oferecem a oportunidade de realizar esta tarefa mais efetivamente, eficientemente e economicamente. A integração dos sistemas prediais reduz potencialmente os falsos alarmes, auxilia na evacuação dos ocupantes e no combate ao incêndio (LIU; MAKAR, 2001).

O objetivo da integração dos diversos sistemas de um EI visa à otimização do desempenho do edifício como um todo. Neste contexto, a integração do SPTCI com os outros sistemas prediais envolve a identificação de eventos e situações para que ações colaborativas entre as partes sejam conduzidas.

Apresenta-se a seguir alguns exemplos dos sistemas prediais com os quais o SPTCI pode ou deve inter-atuar:

- interação com o sistema de elevadores: permitindo a operação em modo de emergência onde numa primeira etapa teria-se o traslado dos elevadores até o térreo e seu desligamento. Na segunda etapa teria-se à utilização de elevadores por parte dos bombeiros;
- interação com o sistema de controle de acesso: permitindo a localização das pessoas dentro do prédio. O pessoal de resgate pode ter conhecimento prévio de onde procurar os ocupantes que precisam ser evacuados e se reduzir o risco de entrar em áreas perigosas

desnecessariamente. Além disso, o sistema de controle de acesso deveria destravar as portas do edifício, possibilitando a evacuação dos seus ocupantes;

- interação com o sistema de ar condicionado: em caso de incêndio, uma vez acionado um determinado detector de fumaça, o sistema de ar condicionado deveria evitar que a fumaça seja levada a outras zonas;
- interação com o circuito fechado de televisão: quando é acionado um alarme pelo sistema detector de incêndios, poderia-se através deste circuito fechado de televisão visualizar se existe realmente um incêndio ou se é um caso de falso alarme.

2.4 Modelagem e Análise de SPTCI

Considerando a complexidade dos SPTCI, torna-se fundamental uma modelagem adequada que permita verificar a dinâmica do sistema e sua integração com outros sistemas prediais, além de facilitar uma análise funcional deste.

Para efetuar a modelagem de SPTCIs, deve-se o organizar o conhecimento de como esses sistemas funcionam. Isto é, quais são as tarefas realizadas por seus componentes e como é a relação entre estas tarefas. Neste contexto, verifica-se que as partes que compõem os SPTCIs têm seus comportamentos dinâmicos definidos através de mudanças de estados discretos como conseqüência da ocorrência de eventos instantâneos e que caracterizam uma classe de sistemas chamada de SEDs (MIYAGI, 1996; RAMADGE; WONHAM, 199).

Assim, a caracterização do SPTCI como um SED permite realizar a modelagem deste sistema através da identificação de suas características e dinâmica baseadas na evolução dos seus estados discretos dirigidos por eventos, através do uso de uma ferramenta de modelagem adequada.

A ferramenta de modelagem, para estes sistemas deve, então, considerar os seguintes aspectos:

- possibilitar a identificação de características de paralelismo e concorrência de eventos e atividades;
- descrever o comportamento dinâmico do sistema através da evolução do seus estados;
- representar a estrutura funcional do sistema através de uma abordagem modular e própria para refinamentos sucessivos, para que seu desenvolvimento e análise possam ser feitos em diversos níveis de abstração;
- possuir ou permitir o desenvolvimento de análise por simulação;
- ser de fácil compreensão por parte não só do projetista, mas dos operadores do SPTCI e de outros sistemas prediais.

3. APLICAÇÃO DE REDE DE PETRI

Este capítulo trata os conceitos básicos de rede de Petri necessários para a modelagem e análise dos SPTCI. É apresentada a metodologia PFS/MFG (*Production Flow Schema / Mark Flow Graph*) que é uma interpretação de rede de Petri própria para a construção sistematizada dos modelos, análise e especificação de sistemas a eventos discretos.

Modelos baseados em sistemas a eventos discretos são comumente utilizados para descrever, analisar e controlar processos observados em diferentes ambientes onde a dinâmica do sistema é governada pela ocorrência de eventos que não são contínuos no tempo, isto é, os eventos são discretos (instantâneos) (CASSANDRAS, 1993).

O SPTCI também possui como característica um comportamento dinâmico definido através da mudança de estados discretos devido à ocorrência de eventos considerados instantâneos. Por exemplo, entre os eventos que podem ocorrer estão: sensibilização de detectores, acionamento e desligamento de sinalizadores de advertência, abertura e fechamento de *dampers*, ativação e desativação de comandos manuais, etc.

A classe de sistemas definida por este comportamento é denominada de sistema a eventos discretos (SED) (RAMADGE; WONHAM, 1989; MIYAGI, 1996) e para a qual têm sido desenvolvidas várias técnicas para sua modelagem, análise, controle e projeto. Por exemplo, as redes de Petri, Cadeias de Markov, Teoria de Filas, Álgebra Mini-max, Máquinas de Estados, etc. que identificam as propriedades que os SEDs apresentam tais como: reinicialização, sincronização, concorrência, etc. Entre estas técnicas, uma de comprovada eficiência para sistemas desta natureza é a rede de Petri (REIZIG, 1992; MURATA, 1989, PETERSON, 1981).

Algumas das principais características funcionais dos processos num SPTCI são mostradas na Figura 3.1. No processo de sincronismo (vide Figura 3.1a) a atividade “detectar

fogo” ocorre somente após as atividades “detectar alta temperatura” e “detectar fumaça”. No processo de paralelismo (vide Figura 3.1b) depois que a atividade “ligar alarme” ocorre, os procedimentos “ligar insufladores” e “ligar bomba” são realizados de modo paralelo. No processo de concorrência (vide Figura 3.1c) após a ocorrência da atividade “ligar alarme”, pode-se executar a “extinção manual” ou a “extinção automática”. Finalmente, no processo de seqüência (vide Figura 3.1d), o processo “ligar *sprinklers*” ocorre somente depois que o processo “ligar bomba” é realizado.

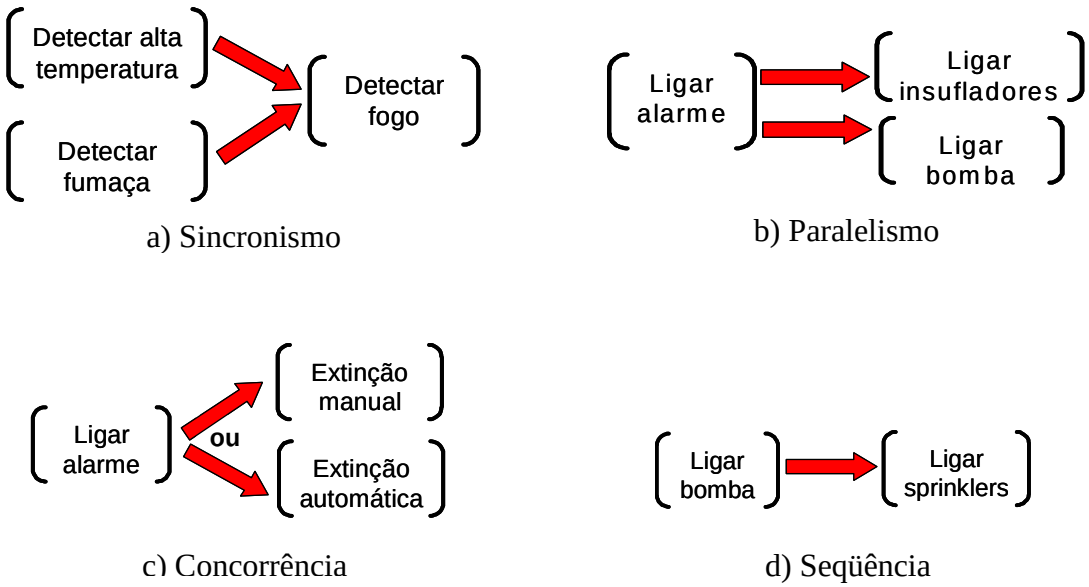


Figura 3.1 - Características dos SEDs em rede de Petri

A rede de Petri permite ainda a modelagem da ocorrência simultânea de múltiplos eventos sem que isto envolva um incremento da complexidade do modelo; além disso, ela tem uma representação gráfica para descrever a evolução dos estados do sistema assim como para identificar a dependência entre suas partes.

A representação gráfica e a formulação algébrica da rede de Petri têm induzido seu uso em diferentes áreas inclusive na automação predial (MIYAGI, 1996; GOMES, 1997; MIYAGI et al, 2002). Em geral, utiliza-se a rede de Petri para a modelagem da estrutura do

sistema e de seu comportamento dinâmico e, como uma forma de especificar as funções envolvidas.

3.1. Fundamentos da Rede de Petri

O conceito de rede de Petri foi introduzido inicialmente por Carl Adam Petri, em sua tese de doutorado em 1962 como uma técnica de modelagem gráfica e matemática de relações entre condições e eventos no estudo de protocolos de comunicação entre componentes assíncronos (VASSILIS; ACHILLES; PANAYOTIS, 1997).

Embora ocorresse uma ampla divulgação acadêmica ao longo de vários anos, o seu potencial só foi mais amplamente reconhecido na metade da década de oitenta, onde esta teoria foi usada para implementações práticas nas áreas de informática e manufatura devido à disponibilidade de compartilhamento de novos recursos computacionais (VALENCIA, 2004).

Entre as principais características desta ferramenta estão as facilidades de interpretação gráfica, identificação de estados e ações numa maneira clara e a possibilidade de representação de sistemas dinâmicos em diferentes níveis de detalhe (MURATA, 1989; PETERSON 1981).

Segundo Zurawski e Zhou (1994), como uma ferramenta matemática, um modelo em rede de Petri pode ser descrito por um sistema de equações lineares ou outros modelos matemáticos que refletem o comportamento do sistema, o qual possibilita a análise formal do mesmo. Esta característica permite realizar a verificação formal das propriedades comportamentais do sistema.

Segundo Arata (2005), a representação dos sistemas físicos através da rede de Petri permite a verificação das chamadas “boas propriedades” como: limitação, vivacidade e reversibilidade, que em termos práticos correspondem respectivamente a existência de um

número finito de estados válidos, a não existência de auto-travamento (*deadlocks*) e a possibilidade do processo ser repetido infinitamente sem a sua degradação.

3.1.1 Características e vantagens da rede de Petri

Segundo Hasegawa (1996), a rede de Petri tem as seguintes vantagens e características:

- representa a dinâmica e a estrutura do sistema segundo o nível de detalhamento desejado;
- identifica estados e ações de modo claro e explícito, facilitando com isto a monitoração do sistema em tempo real;
- tem a capacidade para representar de forma natural as características funcionais dos SEDs (sincronização, assincronismo, concorrência, causalidade, conflito, compartilhamento de recursos, etc.);
- associa elementos de diferentes significados numa mesma representação, ou segundo o propósito do modelo (avaliação de desempenho, implementação do controle, etc);
- oferece um formalismo gráfico que permite a documentação e monitoração do sistema, facilitando assim o diálogo entre o projetista e as pessoas que participam no processo de projeto ou de análise do comportamento do sistema (projetista, operador, gerente, etc.);
- constitui-se como uma teoria bem fundamentada para a verificação de propriedades qualitativas;
- possui uma semântica formal que permite que o mesmo modelo possa ser utilizado tanto para a análise de propriedades comportamentais (análise qualitativa e/ou quantitativa) e avaliação do desempenho, assim como para a construção de simuladores e controladores (para implementar ou gerar códigos para controle de sistemas). Além de servir para verificar comportamentos indesejáveis como bloqueio, limitação, etc;

- incorpora conceitos de modelagem do tipo refinamento (*top down*) e do tipo composição modular (*bottom up*) através de técnicas como: compartimentalização, reutilização, decomposição, etc;

Moore e Brennan (1996) apresentam mais algumas características da rede de Petri:

- podem-se considerar regras de tempo associadas às transições* para representar o tempo requerido para completar uma atividade, neste caso, a transição temporizada só pode disparar após o término do tempo associado. A regra pode ser estocástica, baseada em uma função de probabilidade, um valor computado, ou uma constante;
- regras de decisão podem ser associadas aos lugares para resolver casos onde mais de uma transição está habilitada pela mesma marca ou conjunto de marcas;
- podem-se considerar atributos nas marcas para especificar um conjunto de características associadas a estas marcas. Os valores destes atributos podem ser mudados nas transições;
- podem-se considerar outros tipos de arcos, que proporcionam uma lógica adicional à transição: o arco habilitador que habilita a transição, caso o lugar a que se refere esteja marcado, sem consumir a marca e o arco inibidor, que desabilita a transição caso o lugar a que se refere esteja marcado.

3.1.2 Elementos da rede de Petri

A rede de Petri** é um grafo bipartido (os arcos só podem interligar elementos de

---

* termos da rede de Petri estão em arial.

** As definições apresentadas aqui sobre rede de Petri se referem a uma classe específica denominada rede de Petri generalizada (REISIG, 1992)

natureza diferente) composto de lugares (representados por círculos), transições (representado por barras), arcos orientados interligando os componentes anteriores e marcas (utilizadas para definir o estado de uma rede de Petri). A execução de uma rede de Petri é controlada pelo número de marcas e sua distribuição na rede. As marcas residem nos lugares e determinam o disparo das transições da rede.

Uma transição dispara removendo as marcas dos seus lugares de entrada e criando novas marcas em seus lugares de saída; a relação de elementos de entrada e/ou saída é definida pelo sentido dos arcos (PETERSON, 1981). As regras básicas para a modelagem da evolução dos estados da rede de Petri são as seguintes:

- uma transição só pode ser disparada se todos os seus lugares de entrada estão marcados (possuem marca(s));
- no disparo, a transição remove a(s) marca(s) de cada lugar de entrada e insere-as em cada lugar de saída;
- as marcas não tem identificação.

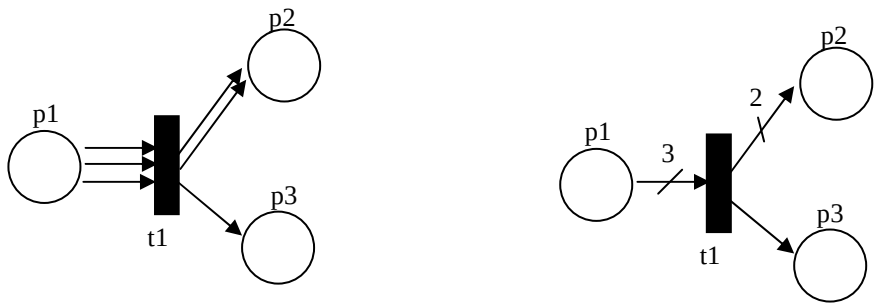
3.1.3 Estrutura de uma rede de Petri

Uma estrutura de rede de Petri pode ser definida formalmente como uma quádrupla (P, T, I, O) onde:

- $P= \{p_1, p_2, \ldots, p_m\}$ é o conjunto de lugares da rede, onde $m \in IN$ é o número total de lugares da rede.
- $T= \{t_1, t_2, \ldots, t_n\}$ é o conjunto de transições, onde $n \in IN$ é o número total de transições da rede.

- I: (P, T) é a função que define os arcos de entrada em relação às transições. Se $I(p_j, t_i) = k$, existem $k \in IN$ arcos orientados do lugar p_j, para a transição t_i.
- O: (T, P) é a função que define os arcos de saída em relação às transições.

Na representação gráfica a existência de múltiplos arcos conectando lugares e transições, pode ser realizada de forma compacta por um único arco rotulado com seu peso ou multiplicidade k (vide Figura 3.2)



a) b)

Figura 3.2 - a) Arcos múltiplos b) Representação compacta

3.1.4 Marcação de uma rede de Petri

Uma rede de Petri com marcas em seus lugares é chamada de rede de Petri marcada (P, T, I, O, $\mathbf{M}_0$), onde $\mathbf{M}_0$ é um vetor que representa a marcação inicial. Graficamente estas marcas são modeladas por pontos pretos no interior dos lugares. Uma distribuição particular das marcas nos lugares da rede representa um estado do sistema.

Uma marcação é geralmente descrita por:

$\mathbf{M}=(M(p_1), M(p_2), ..., M(p_m))$ onde, M(pi) é o número de marcas do lugar p_i ($M(p_i) \in IN$).

A evolução da marcação (de acordo com regras de disparo de transições) representa o comportamento dinâmico do sistema.

O disparo de uma transição na rede de Petri corresponde a ocorrência de um evento que altera o estado do sistema, isto é, altera a marcação atual ($\mathbf{M}_i$) para uma nova marcação ($\mathbf{M}_{i+1}$). Uma transição $t_i \in T$ fica habilitada para disparar se e somente se cada lugar de entrada p_j (tal que $I(p_j,t_i)>0$) contém pelo menos um número de marcas igual ao peso do arco (p_j,t_i), ou seja: $M(p_j)\geq I((p_j,t_i)$ para qualquer lugar $p_j \in P$.

O disparo de uma transição t_i habilitada remove de cada lugar de entrada p_j um número de marcas igual ao peso do arco $I(p_j,t_i)$ que conecta p_j a t_i. Depositando, também, em cada lugar de saída p_q um número de marcas igual ao peso do arco $O(t_i,p_q)$ que conecta t_i a p_q. A Figura 3.3 ilustra a alteração da marcação após o disparo de uma transição.

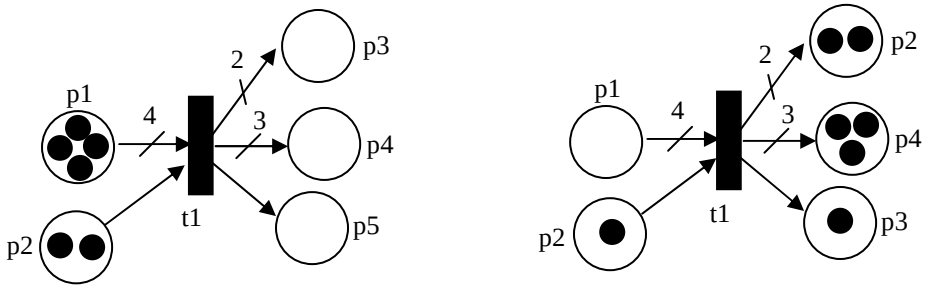


Figura 3.3 a) Transição habilitada b) Marcação após o disparo

A Figura 3.4 mostra um exemplo de rede de Petri com seus elementos básicos e alguns elementos adicionais*. Neste exemplo, o sistema está inicialmente na condição de espera, representado por uma marca no lugar "*stand by*". Quando o sistema recebe o sinal do dispositivo de "*detecção de fumaça*", o procedimento de pré-alarme é iniciado. Este processo de pré-alarme pode ser cancelado até 30 segundos depois de iniciado o procedimento. Depois deste tempo, se o procedimento de pré-alarme não é cancelado, o processo de alarme é iniciado, ativando os dispositivos de notificação.

* arcos habilitadores, inibidores e transições temporizadas (DAVID, ALLA, 1992).

Se o sistema é cancelado durante o processo de pré-alarme, o sistema regressa à condição de "*stand by*".

As Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 ilustram a aplicação da regra de disparo explicando a seqüência dos estados da rede de Petri. Na Figura 3.4, a marca no lugar "*stand by*" junto com a marca no lugar "*detecção de fumaça*" habilitam a transição "*iniciar pré-alarme*". Com o disparo desta transição, tem-se a alteração do estado da rede que é indicado na Figura 3.5.

A condição "*pré-alarme*" habilita a transição temporizada "*aguardar 30 segundos*" e a transição "*reiniciar sistema*". Se durante o tempo atribuído à transição temporizada, a condição "*reset*" encontrar-se sem marca, o sistema altera ao estado de "*alarme*" (Figura 3.6), caso contrário, o sistema volta à condição "*stand by*".

Finalmente, quando a condição "*alarme*" está marcada (Figura 3.6), a transição "*iniciar dispositivos de notificação*" é habilitada e, quando disparada, resulta na nova condição "*dispositivos de notificação ativados*", indicado na Figura 3.7.

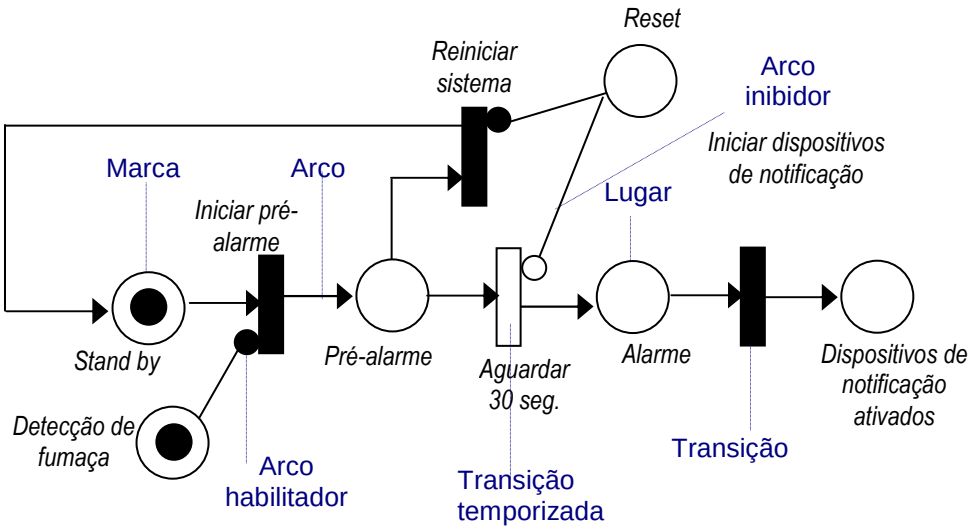


Figura 3.4 - Rede de Petri com seus elementos básicos

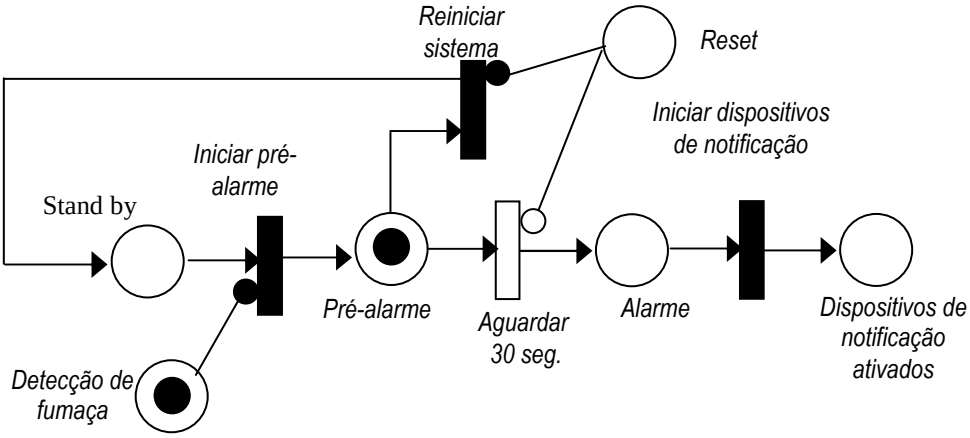


Figura 3.5 - Sistema em estado de “pré-alarme”

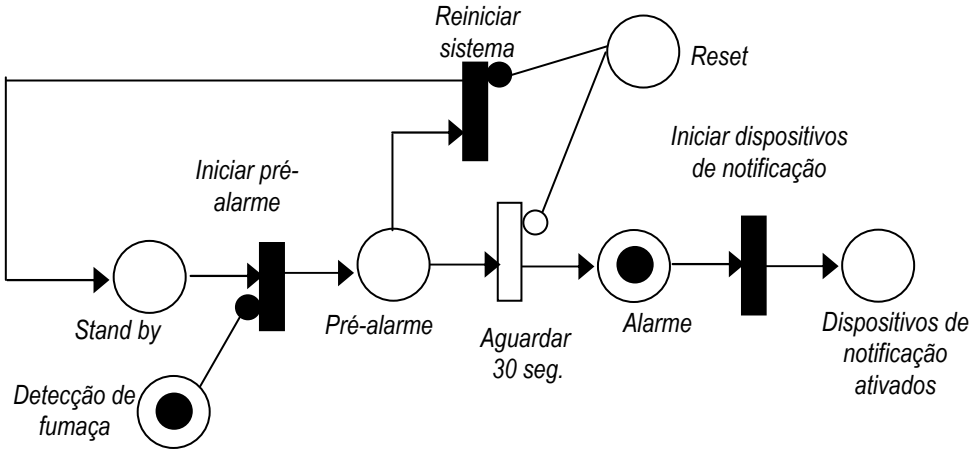


Figura 3.6 - Sistema em estado “alarme”

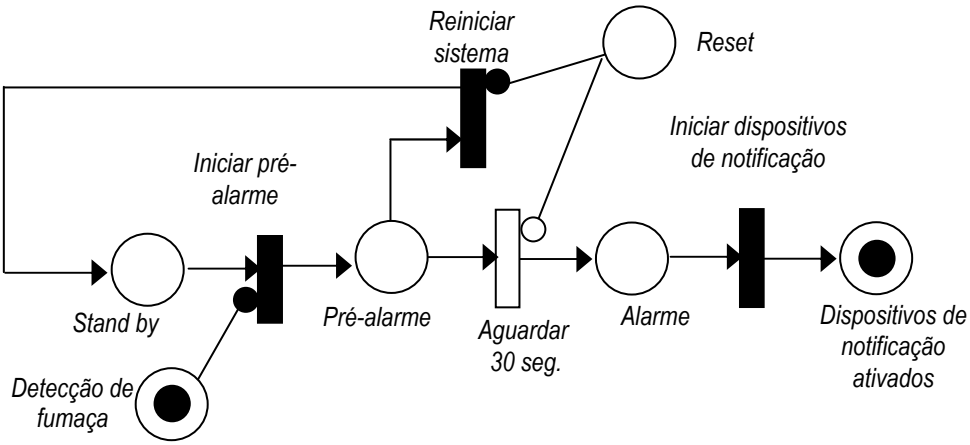


Figura 3.7 - Dispositivos de notificação ativados

3.1.5 Análise da rede de Petri

Uma vantagem de aplicar a rede de Petri ao estudo de SEDs é a sua formalização matemática para a verificação das propriedades de um sistema modelado com esta técnica (CARDOSO; VALETTE, 1997). Uma vez que o modelo em rede de Petri é construído, este pode ser usado em duas formas de avaliação:

- **Lógica:** valida a lógica do modelo. Esta é uma análise estática com base na descrição da estrutura, dos dados e das regras que manipulam os dados e executam as tarefas. Assim, verifica-se se a combinação de regras, dados e estrutura representam as entidades do sistema, isto é, se a composição das partes e as relações entre elas são consistentes e completas. Isto é realizado pela execução passo a passo do modelo (disparo individual das transições controlado pelo projetista) para garantir que o modelo descreve apropriadamente a estrutura do sistema. Pode-se dizer que se realiza, neste caso, um "*debugging*" no modelo.
- **Comportamental:** examina-se o comportamento dinâmico do modelo, isto é, sua funcionalidade. A avaliação do comportamento compreende a resposta das seguintes perguntas:
  1. O modelo produz todas as saídas devidas para um dado estímulo?
  2. A informação chega às funções corretas e na seqüência correta? Isto é, as entradas são processadas no modo requerido?
  3. O comportamento do modelo pode ser comparado com os requerimentos dos usuários?

Para avaliar o comportamento, existem muitas técnicas, tais como: a simulação e a análise do espaço de estados.

A análise das propriedades de um sistema modelado em rede de Petri é realizada através de 4 métodos (ZURAWSKI; ZHOU 1994) a seguir explicados:

A. Geração da árvore de alcançabilidade

Este método envolve a enumeração de todas as marcações (estados de um sistema) possíveis ou alcançáveis a partir da marcação inicial $\mathbf{M_0}$, a qual é a raiz da árvore (estado inicial). Cada nó representa uma marcação alcançável e cada ligação representa o disparo de uma transição (ocorrência de um evento) (MURATA, 1989).

Um grande número de propriedades procedurais podem ser estudadas utilizando este método, entretanto, por ser um método exaustivo torna-se pouco efetivo para a análise de modelos com um número considerável de lugares e transições.

B. Análise da equação de estado

Neste método, o comportamento do sistema em estudo é analisado através das equações algébricas da rede de Petri (ZURAWSKI; ZHOU, 1994). Nesta abordagem, a matriz de incidência, que indica as conexões entre lugares e transições é utilizada para representar a estrutura do sistema. A equação de estado representa uma alteração na distribuição das marcas (estados) como resultado do disparo de uma transição (ocorrência de um evento).

C. Simulação

Esta técnica é usada quando o sistema é relativamente complexo e intratável utilizando métodos analíticos. Também é efetiva no estágio final do projeto para propósitos de

validação. A maior parte da análise por simulação é realizada para estudos de desempenho. Assim sendo, o comportamento do modelo em diferentes condições (cenários) pode ser examinado executando-os com entradas consistentes (CARDOSO; VALETTE, 1997).

No entanto, a simulação só pode assegurar resultados para os casos simulados. Assim, para garantir uma generalização é necessário considerar uma estratégia de simulação/teste que evite a necessidade de simular todas as situações, pois, isto pode resultar em problemas relacionados com a capacidade de computação e com o registro dos resultados de modelos complexos.

D. Técnicas de redução

Este método consiste na redução de um modelo complexo em um modelo mais simples e tratável, porém, sem perder as propriedades principais. A técnica de transformar modelos abstratos em modelos mais refinados (refinamentos sucessivos) de maneira hierárquica é um procedimento também utilizado para a síntese das redes de Petri (CARDOSO; VALETTE, 1997). Evidentemente, neste caso, perdem-se os detalhes e a precisão nos resultados da análise.

3.2 Classes de rede de Petri

Existem diferentes tipos de rede de Petri encontradas na literatura sendo que estes podem ser organizados em três classes fundamentais:

- rede de Petri básica ou ordinária;
- reduções de rede de Petri ordinárias;
- extensões das rede de Petri ordinárias.

a) Rede de Petri Ordinária

O modelo básico de rede de Petri foi proposto por Carl Adam Petri em 1962 e é também chamado de rede de Petri ordinária. Consiste em um grafo bipartido onde os lugares têm capacidade ilimitada de alojar marcas, as transições são conectadas aos lugares através de arcos direcionados formando caminhos que compõem a estrutura da rede, e uma regra estabelece o comportamento dinâmico das marcas que modelam os estados do sistema (DAVID; ALLA, 1992). A partir desta classe de rede de Petri têm sido realizadas as derivações visando aumentar o poder de modelagem e a aplicação em casos práticos.

b) Reduções de Rede de Petri ordinárias

As reduções são descrições simplificadas que procuram sintetizar a apresentação gráfica dos modelos. Entre estas estão:

- Rede de Petri generalizada: corresponde a uma derivação da rede de Petri ordinária em que há possibilidade de atribuir pesos aos arcos (SILVA, 1985). É adequada para representar um nível mais alto de abstração em que se considera o sistema dividido em blocos funcionais e suas principais relações.
- Rede de Petri de capacidade finita (limitada): é denominada também lugar/transição e corresponde a uma derivação da rede de Petri generalizada onde se introduz capacidades associadas aos lugares (valores inteiros positivos) para o número de marcas que eles podem receber (DAVID; ALLA, 1992). Esta rede permite modelar entidades físicas que possuem capacidade limitada, como dispositivos de armazenamento temporário, etc.
- Rede de Petri colorida: é adequada para condensar a descrição e análise de sistemas compostos por diversos subsistemas de estrutura e comportamento semelhantes, capazes

de trabalharem em paralelo (JENSEN, 1990). A rede de Petri colorida tenta manter uma representação compacta em casos nos quais deve ser especificado o fluxo de diversos itens na mesma seqüência de processos. Assim, estes itens (ou elementos) não são mais representados por marcas de um mesmo tipo. Ao contrário, cada elemento no modelo deve ser representado por um tipo específico de marca (marcas individualizadas por uma variável que as identifica). Da mesma forma, podem-se definir arcos com inscrições fixas, onde se estabelece uma correspondência entre um tipo de marca e o tipo indicado na inscrição do arco.

c) Extensões da Rede de Petri ordinárias

O número crescente de aplicações da rede de Petri e as limitações da rede de Petri ordinária para modelar sistemas complexos motivou o desenvolvimento de uma série de extensões ao seu conceito, de acordo com as necessidades de cada tipo de aplicação.

As extensões da rede de Petri ordinária fazem referência a modelos que incorporam regras adicionais de funcionalidade para aumentar seu poder de modelagem. São consideradas três subclasses (DAVID, ALLA, 1992):

- Modelos equivalentes a máquina de Touring: correspondem às redes de Petri com arcos inibidores e às redes de Petri com prioridade.
- Modelos para sistemas contínuos e híbridos: correspondem às redes de Petri contínuas e às redes de Petri híbridas.
- Modelos de sistemas que evoluem em função da ocorrência de eventos externos ou do tempo: correspondem às redes de Petri sincronizadas, redes de Petri temporizadas e redes de Petri estocásticas.

Uma outra forma de classificar a rede de Petri é em função de sua aplicação prática. Assim tem-se as interpretações da rede de Petri.

Rede de Petri interpretada

Estas são estruturas específicas baseadas em rede de Petri ordinárias ou lugar/transição que se destacam em virtude da sua aplicação prática. Algumas destas redes são definidas para a especificação de programas de controle de controladores lógicos e se constituem em ferramentas efetivas para aplicações em automação de sistemas e processos. A estas redes são associados elementos que representam condições e ações existentes no sistema e podem indicar o estado de atuadores, sensores, etc., permitindo assim, modelar a interação com o ambiente externo (CARDOSO; VALETTE, 1997).

Por exemplo, na modelagem de sistemas complexos e com diferentes níveis de abstração se evidencia um ponto fraco em uma de suas principais características: a facilidade de visualização do sistema (ARAKAKI; SANTOS FILHO; MIYAGI, 1992; MIYAGI, 1996). Visando sanar estas limitações, foram propostas novas técnicas derivadas da rede de Petri, isto é, tipos de rede de Petri interpretadas, tais como: GRAFCET (DAVID, ALLA, 1992), MFG (HASEGAWA; MIYAGI; TAKAHASHI, 1989), E-MFG (SANTOS FILHO, 1993), SFC (MIYAGI, 1996) para facilitar a implementação de estratégias de controle.

Rede de Petri coloridas e de alto nível também foram propostas para sintetizar de modo consistente várias e diferentes informações num único grafo. Desta forma, pode-se reduzir as dimensões da rede o que tem gerado novas abordagens para o problema de construção dos modelos. Técnicas como o PFS (MIYAGI, 1988) propõem uma sistematização no procedimento de construção dos modelos segundo conceitos de hierarquia ou modularidade das atividades do sistema.

3.3 Metodologia PFS/MFG

Dentro das abordagens derivadas da rede de Petri, destaca-se o PFS/MFG, proposto por Miyagi (1988) para sistematizar a modelagem de SEDs segundo uma abordagem hierárquica, com base em sucessivos refinamentos para construir o modelo de forma progressiva e estruturada.

Inicialmente o modelo conceitual do sistema (representando um alto nível de abstração do sistema sem detalhamento de sua dinâmica) é desenvolvido com PFS. Nesta etapa o propósito é modelar as principais características das funções que serão consideradas no sistema. A ênfase está na identificação dos componentes ativos e passivos do sistema, assim como do fluxo de itens (material e/ou informação) entre elementos.

De acordo com a metodologia, os elementos do PFS são detalhados gradativamente segundo uma estrutura hierárquica. Este detalhamento pode gerar sub-grafos:

1. totalmente em PFS;
2. com alguns elementos em PFS e outros em MFG;
3. totalmente em MFG.

Na modelagem do comportamento dinâmico do sistema, o modelo em PFS é convertido progressivamente num modelo em MFG (ou uma rede de Petri interpretada adequada) que detalha o funcionamento das diversas partes do sistema (até o nível desejado) (MIYAGI, 1996).

O PFS/MFG como técnica para modelar SEDs, originalmente foi proposta para aplicação em sistemas de manufatura, e neste campo tem sido usada para tratar sua modelagem e análise com sucesso (JUNQUEIRA, 2001; SANTOS FILHO, 1993; ARAKAKI, 1993; LIU; MIYAGI; SCHREEK, 1994; KAGOHARA, 1998; RIASCOS; MIYAGI, 2001). Entretanto, a metodologia pelas suas características pode ser estendida ao

caso de sistemas prediais, onde através de uma visão macro e conceitual, as diferentes partes (sub-sistemas) e suas funções são detalhados até o nível de interface com os dispositivos físicos instalado no edifício (ARAKAKI; MIYAGI; SANTOS FILHO, 1998; BASTIDAS, 1999; VILLANI, 2000).

a) PFS (*Production Flow Schema*)

O PFS (*Production Flow Schema*) (MIYAGI, 1996) é uma classe de rede canal - agência (Reisig, 1992) devidamente interpretada e constitui uma técnica para desenvolver uma descrição funcional hierárquica de um sistema a partir de seu modelo conceitual, ou seja, num nível alto de abstração (SANTOS FILHO, 1998) sem o detalhamento do seu comportamento dinâmico.

O PFS caracteriza um sistema a partir de seus elementos ativos e o fluxo de materiais e informações dentro de um processo. Esta abordagem baseia-se no princípio de que um sistema é composto por elementos ativos que realizam transformações sobre itens (materiais ou informações) e elementos passivos que realizam o armazenamento e a distribuição destes, existindo, portanto uma inter-relação entre estes elementos para a realização efetiva dos fluxos presentes no sistema.

O PFS utiliza a técnica de refinamentos sucessivos através de uma abordagem *top-down*, de maneira que seja possível inserir, progressivamente no modelo, o detalhamento dos processos do sistema. O objetivo é representar o fluxo de operações tendo como referência a evolução dinâmica de um determinado processo. Deve-se salientar que o PFS, distintamente da rede de Petri não possui o conceito de marcação, pois é um modelo conceitual do sistema com o foco na descrição estrutural dos fluxos de itens no sistema.

O PFS é composto pelos seguintes elementos (Figura 3.8):

1. Atividade: representa um componente ativo do sistema capaz de realizar transformações, isto é, ações. Graficamente, corresponde a um macro-elemento delimitado por colchetes e com inscrições em linguagem formal para especificá-lo. Cada atividade pode ser refinada em sub-atividades com as suas respectivas interações;
2. Inter-atividade ou distribuidor: representa um componente passivo, não realiza transformação, mas é capaz de armazenar e distribuir os itens. Graficamente é indicado por uma circunferência. Uma inter-atividade deve existir sempre entre duas atividades que estejam relacionadas;
3. Arco orientado: representa as relações entre as atividades e as inter-atividades. Os arcos indicam uma relação lógica, entre os componentes. Se a conexão se faz pela parte externa da atividade, indica um fluxo principal de itens no sistema e se é realizada pela parte interna, indica um fluxo secundário (este fluxo não é obrigatório). Graficamente corresponde a uma seta.

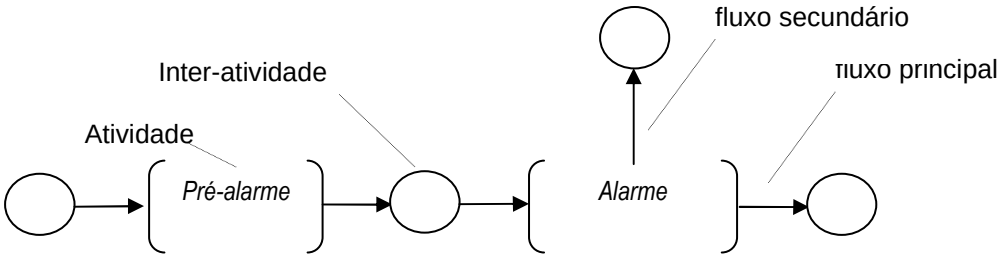


Figura 3.8 - Componentes do PFS

b) MFG (*Mark Flow Graph*)

O *Mark Flow Graph* (MFG) é uma rede interpretada derivada da rede de Petri ordinária, criada para modelar e detalhar o comportamento dinâmico de um sistema

(HASEGAWA; MIYAGI; TAKAHASHI, 1989). O MFG tem capacidade para representar a dinâmica de situações de assincronismo, seqüenciação, paralelismo, concorrência e intertravamentos.

Os elementos estruturais do MFG (vide Figura 3.9) são:

1. Transição: indica um evento que causa uma mudança do estado do sistema e é representado por uma barra.
2. Box*:* indica uma condição (pré ou pós-condição de um evento) e é representado por um bloco quadrado.
3. Arco orientado: estabelece relações causais entre os eventos e as condições e vice-versa. É representando por uma seta.
4. Porta*:* habilita ou inibe a ocorrência dos eventos correspondentes às transições sendo denominada porta habilitadora ou porta inibidora conforme sua natureza. Estas, por sua vez, podem ser sub-classificadas em porta externa ou porta interna de acordo com a origem do sinal. A porta habilitadora é representada por uma linha em cuja extremidade há um círculo negro conectado a uma transição. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta porta habilita a transição à qual está conectada. A porta inibidora graficamente corresponde a uma linha com um círculo branco na extremidade onde se conecta a transição. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta porta inibe a transição em que está conectada. A origem de uma porta interna é um box. A existência de uma marca neste box equivale ao valor binário “1” e é “0” quando não existe marca no box. A origem do sinal de uma porta externa não faz parte do grafo, ou seja, ela indica a entrada de um sinal binário gerado por algum dispositivo externo.

5. Marca*:* indica a manutenção de uma condição e é representada por um ponto negro no interior do box correspondente a esta condição.
6. Arco de sinal de saída: este arco envia um sinal binário do box para os dispositivos externos ao grafo. É representado por uma linha que conecta estes dois elementos. Quando houver uma marca neste box, o sinal é "1"; quando não houver, é "0".

Dentre as possíveis extensões da rede de Petri considera-se ainda aquele que envolve a inclusão do conceito de tempo no MFG, isto é:

- transição temporizada: uma vez que todas as condições de disparo estejam satisfeitas, esta transição só dispara após decorrido um intervalo de tempo. Se durante este tempo uma das condições deixa de ser satisfeita, a contagem do tempo é anulada. Esta será reiniciada somente após todas as condições estarem novamente satisfeitas.

Para realizar a modelagem utilizando o MFG, devem ser observadas as seguintes regras:

- os boxes e as transições devem ser conectados de forma intercalada através de arcos orientados;
- não existe limite para o número de arcos que entram ou saem dos boxes e das transições. Mas, num par transição-box ou transição-elemento externo, pode existir apenas um arco entre eles;
- as portas e arcos de sinal de saída são formas de representação explícita dos sinais de controle.

Destaca-se que no MFG (Figura 3.9) 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) reflete a dinâmica dos estados do sistema. A

definição detalhada do MFG e suas extensões podem ser encontradas em Miyagi (1996) e Santos Filho (1998).

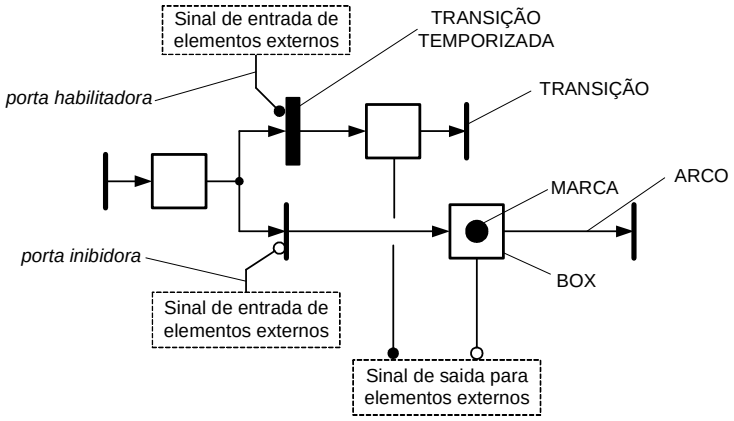


FIGURA 3.9 - Elementos estruturais do MFG

Uma das principais características do MFG, que o torna uma classe de rede de Petri efetiva em aplicações práticas, é o fato de ser desenvolvido especificamente para a especificação e realização de controle, considerando, por exemplo, as seguintes características desejáveis nos sistemas de controle:

- *safeness* (segurança, isto é, limite em relação ao número de marcas nos boxes) no controle de SEDs é uma característica indispensável e, através da aplicação do MFG, as condições que garantem o *safeness* são intrinsecamente consideradas durante o projeto e análise do sistema;
- no MFG existe no máximo, apenas uma marca no interior de cada box, e com isto o modelo pode ser tratado também por uma lógica binária. O MFG convertido para esta lógica binária pode ser diretamente utilizado para programar um CP (controlador programável), ou através de uma interpretação adequada para programar sistemas mais complexos;

- no controle de SEDs, o MFG evolui conforme a troca de sinais entre o controlador e o objeto de controle, isto é, o controlador envia sinais (através dos arcos de saída) para os dispositivos que fazem com que uma tarefa seja realizada e, ao receber o sinal de confirmação do término da tarefa gerado pelos dispositivos (através das portas externas), passa à etapa seguinte de controle.

No MFG as tarefas são descritas pelos boxes que enviam sinais para os dispositivos externos (dispositivos de atuação ou dispositivos de monitoração), o início e término das tarefas são descritas pelas transições condicionados aos sinais dos dispositivos externos (dispositivos de detecção ou dispositivos de comando). Desta forma, o MFG pode representar adequadamente não só o sistema de controle de SED, mas também as conexões entre o controlador e o objeto de controle.

3.4 Aplicação em SPTCI

Dada à relevância que tem o SPTCI nos edifícios em geral e, em especial no âmbito dos EIs, é evidente que seu projeto e operação necessitem de técnicas de modelagem e análise, que visem selecionar as melhores alternativas de implementação e políticas de operação a fim de garantir a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio.

Desta maneira, justifica-se o desenvolvimento de um procedimento para a modelagem e análise de estratégias de controle que permita verificar a dinâmica do sistema e sua integração com os outros sistemas prediais, além de facilitar uma análise funcional deste. A abordagem considerada para este propósito baseia-se na teoria dos SEDs, na aplicação de técnicas derivadas da rede de Petri e em técnicas de análise através de simulação discreta. Com esta abordagem são desenvolvidos modelos do sistema de controle do SPTCI onde é considerada a sua integração com outros sistemas prediais.

4. PROCEDIMENTO DE MODELAGEM E ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO TÉCNICA CONTRA INCÊNDIO

Neste capítulo é apresentado o procedimento para a modelagem e análise das estratégias do sistema de proteção técnica contra incêndio (SPTCI) em edifícios inteligentes (EIs), indicando as etapas que devem ser consideradas para o desenvolvimento sistemático do modelo e a implementação destas.

O procedimento proposto tem como objetivo auxiliar e orientar o projeto do SPTCI. Este procedimento fornece o suporte necessário para o desenvolvimento dos modelos das estratégias do SPTCI, considerando uma eficiente integração entre este e os outros sistemas prediais. Este procedimento pode ser usado em edifícios a serem construídos, onde já se têm definidos os parâmetros iniciais necessários para a instalação do SPTCI ou para aumentar o grau de inteligência de um prédio convencional existente.

O procedimento proposto para a modelagem e análise de um SPTCI é composto de cinco etapas as quais são ilustradas na Figura 4.1, que são detalhadas em seguida.

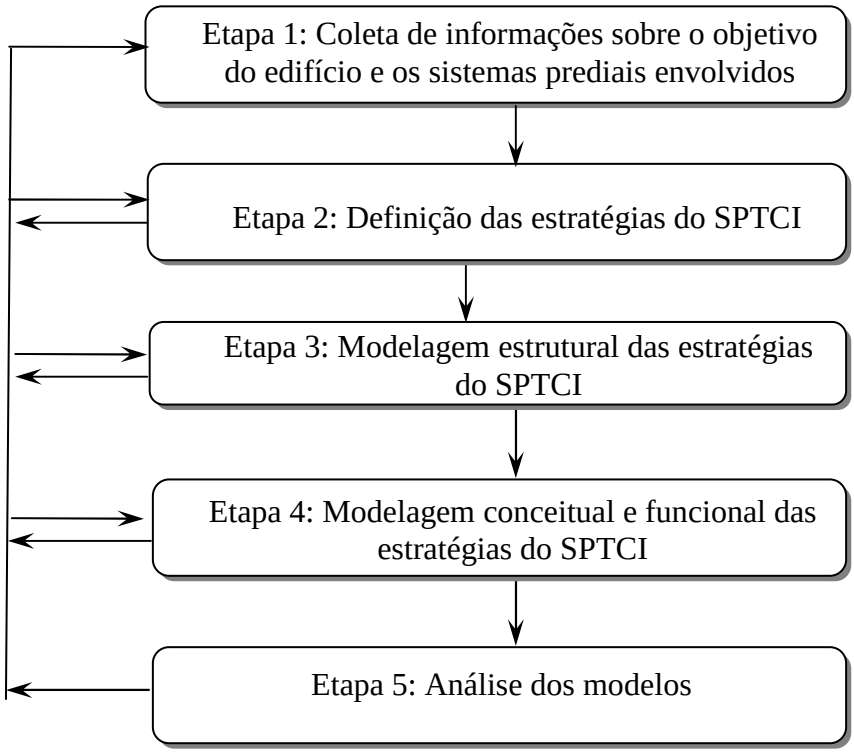


Figura 4.1 - Metodologia para a modelagem de SPTCI

4.1 Etapa 1: Coleta de informações sobre o objetivo do edifício e os sistemas prediais envolvidos

Esta é a etapa inicial na modelagem das estratégias do SPTCI. Nesta etapa, procura-se identificar as características funcionais do edifício através do levantamento das informações deste.

Este levantamento é também um meio para realizar uma análise preliminar e identificar os dados relevantes ao SPTCI. Estas informações permitem caracterizar os elementos do sistema no nível qualitativo e quantitativo, tanto para um edifício já construído como um em fase de projeto.

A coleta das informações deve ser realizada através da revisão da documentação existente como normas relacionadas à proteção contra incêndios, relatórios, plantas e manuais técnicos.

4.2 Etapa 2: Definição das estratégias a serem modeladas

Nesta etapa, as informações levantadas na etapa 1 são utilizadas para estabelecer os requisitos do sistema em caso de incêndio e sua interação com os outros sistemas prediais, tomando em consideração as normas relacionas com os SPTCIs. Estes requisitos são materializados na forma de uma definição das estratégias que devem ser implementadas. Devem ser consideradas pelo menos as estratégias de funcionamento das seguintes partes que constituem o SPTCI:

1. rede de água contra incêndio;
2. detecção de incêndios;
3. alarme de incêndios;
4. pressurização das escadas;
5. bomba de água contra incêndios.

Uma avaliação cuidadosa e uma análise das informações trabalhadas nesta etapa deve permitir a identificação de problemas de interpretação das informações e verificação de necessidades de novos levantamentos, caso existam informações não suficientemente claras, contraditórias ou incorretas.

Nesta etapa são geradas as seguintes informações: quais são as estratégias necessárias para atender as normas e quais são os dispositivos utilizados em cada uma das estratégias. A definição de cada estratégia é realizada de forma descritiva e deve conter:

- a seqüência de eventos e ações da estratégia;
- sobre quais equipamentos do SPTCI ela atua;
- em que condições é realizada;
- em que condições deixa de ser realizada.

4.3 Etapa 3: Modelagem estrutural das estratégias do sistema

Com base na especificação das estratégias do sistema em caso de incêndio desenvolvidos na etapa anterior, são desenvolvidos nesta etapa os modelos estruturais das estratégias do SPTCI. Os módulos dos dispositivos que compõem as diferentes estratégias do SPTCI são identificados considerando-os dentro de contexto dos EIs. Basicamente, o SPTCI envolve a interconexão de dois subsistemas fundamentais que se atuam cooperativamente, o objeto de controle (área protegida) e o sistema de controle.

O modelo estrutural de cada subsistema é formado pelos os dispositivos que conformam as estratégias do SPTCI. Os elementos dos dispositivos de controle são identificados e inter-relacionados de acordo com o esquema da Figura 4.2.

Seguindo uma abordagem modular para a modelagem da interação dos dispositivos, divide-se inicialmente o modelo em 6 módulos, os quais para sua diferenciação neste texto estão graficamente dentro de um “bloco” colorido. Assim, o módulo de controle adota a cor vermelha, o módulo dos detectores manuais e automáticos adota a cor azul, o módulo dos dispositivos de atuação e notificação adota a cor marrom, o módulo dos dispositivos de comando adota a cor roxo, o módulo dos dispositivos de monitoração adota a cor verde e, finalmente, o módulo que executa as estratégias dos outros sistemas prediais adota a cor laranja.

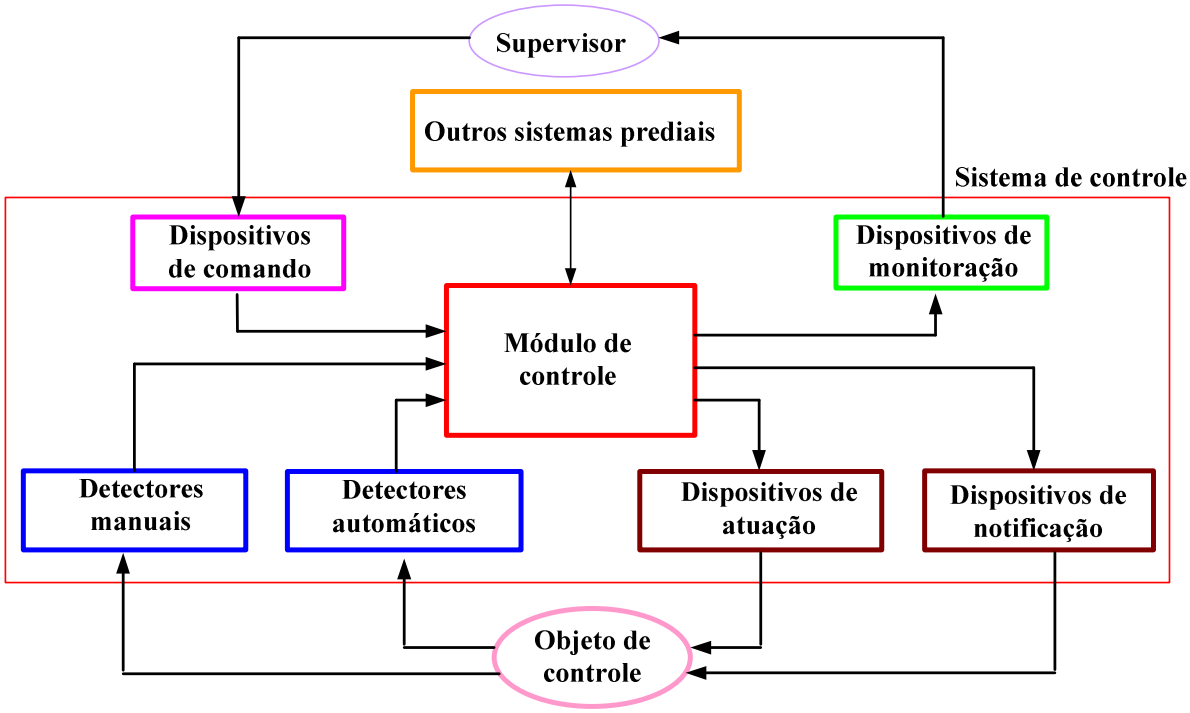


FIGURA 4.2 - Modelo estrutural das estratégias do SPTCI

De acordo com a Figura 4.2, uma vez o módulo de controle recebe os sinais de comando e de alarme procedentes dos dispositivos de entrada (comandos manuais e/ou detectores de incêndios), este módulo processa os sinais e executa um programa pré-estabelecido, acionando os dispositivos de saídas previstos (dispositivos de atuação e notificação), assim como medidas adicionais, que são possíveis em virtude da interação com outros sistemas prediais.

As informações geradas nesta etapa para cada estratégia de controle são: (a) diagrama estrutural da estratégia do SPTCI, (b) identificação dos dispositivos de realização do controle; (c) identificação dos dispositivos de detecção; (d) identificação dos dispositivos de atuação; (e) identificação dos dispositivos de monitoração e (f) a identificação dos dispositivos de comando.

Estas informações são o ponto de partida para efetuar a modelagem conceitual e funcional de cada estratégia do SPTCI na seguinte etapa.

4.4 Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

Nesta etapa, a modelagem de cada estratégia de controle do SPTCI é desenvolvida sistematicamente segundo uma abordagem hierárquica através da técnica PFS/MFG (MIYAGI, et al., 2002).

Inicialmente, desenvolve-se a modelagem conceitual de cada estratégia do módulo de controle para, gradualmente, realizar um refinamento destes processos e obter seu modelo funcional.

Assim, o modelo conceitual de cada estratégia é detalhado inicialmente com a técnica PFS. Usando esta técnica, podem ser representadas situações de conflito, paralelismo ou seqüência de processos conforme ilustrado na Figura 4.3.

O modelo conceitual é particularmente importante para tratar as interpretações das informações obtidas (as quais podem ser subjetivas). Auxilia na organização das idéias e permite a descrição e compreensão dos diferentes processos ao descrever as inter-relações e funções de seus componentes.

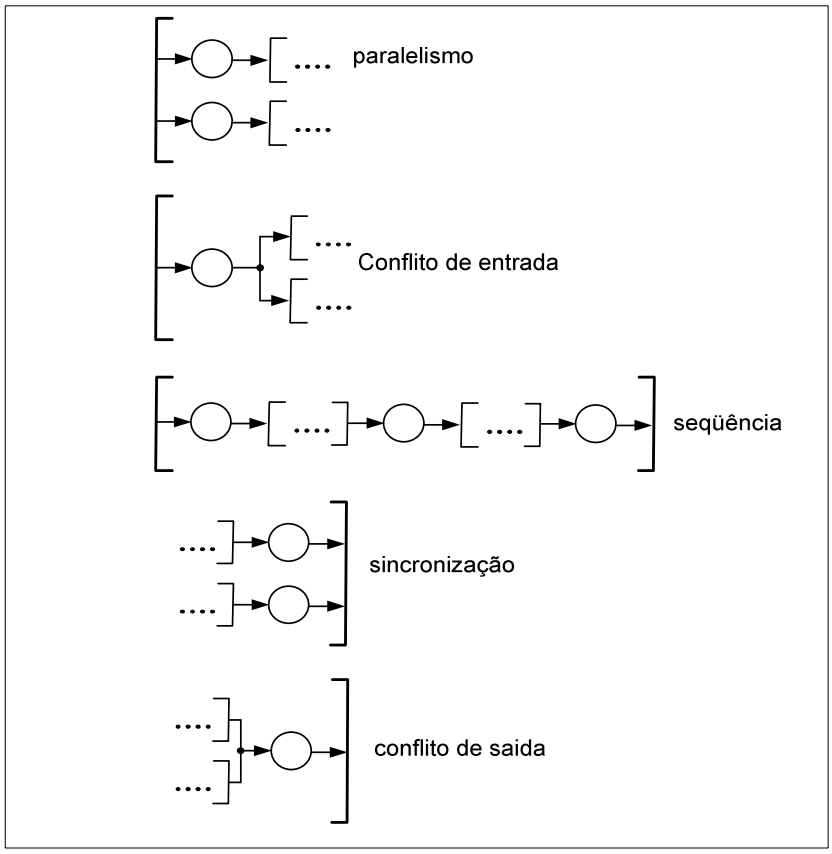


FIGURA 4.3 - Características da interação entre atividades em PFS

Posteriormente, cada atividade do modelo conceitual construído em PFS é transformada em modelos funcionais através da técnica MFG conforme na Figura 4.4. Os modelos funcionais obtidos são entendidos como as especificações das funções de controle de um equipamento ou objeto, em determinado estágio da estratégia.

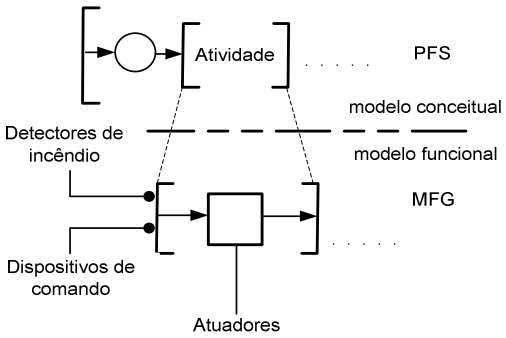


FIGURA 4.4 - Detalhamento PFS/MFG

A integração dos modelos funcionais em MFG de cada uma das atividades resulta num único modelo funcional da estratégia contra incêndio. Os fluxos de informações são representados dinamicamente através de uma evolução das marcas no modelo e a execução das funções pode ser realizada através do controle da evolução das marcas (Figura 4.5).

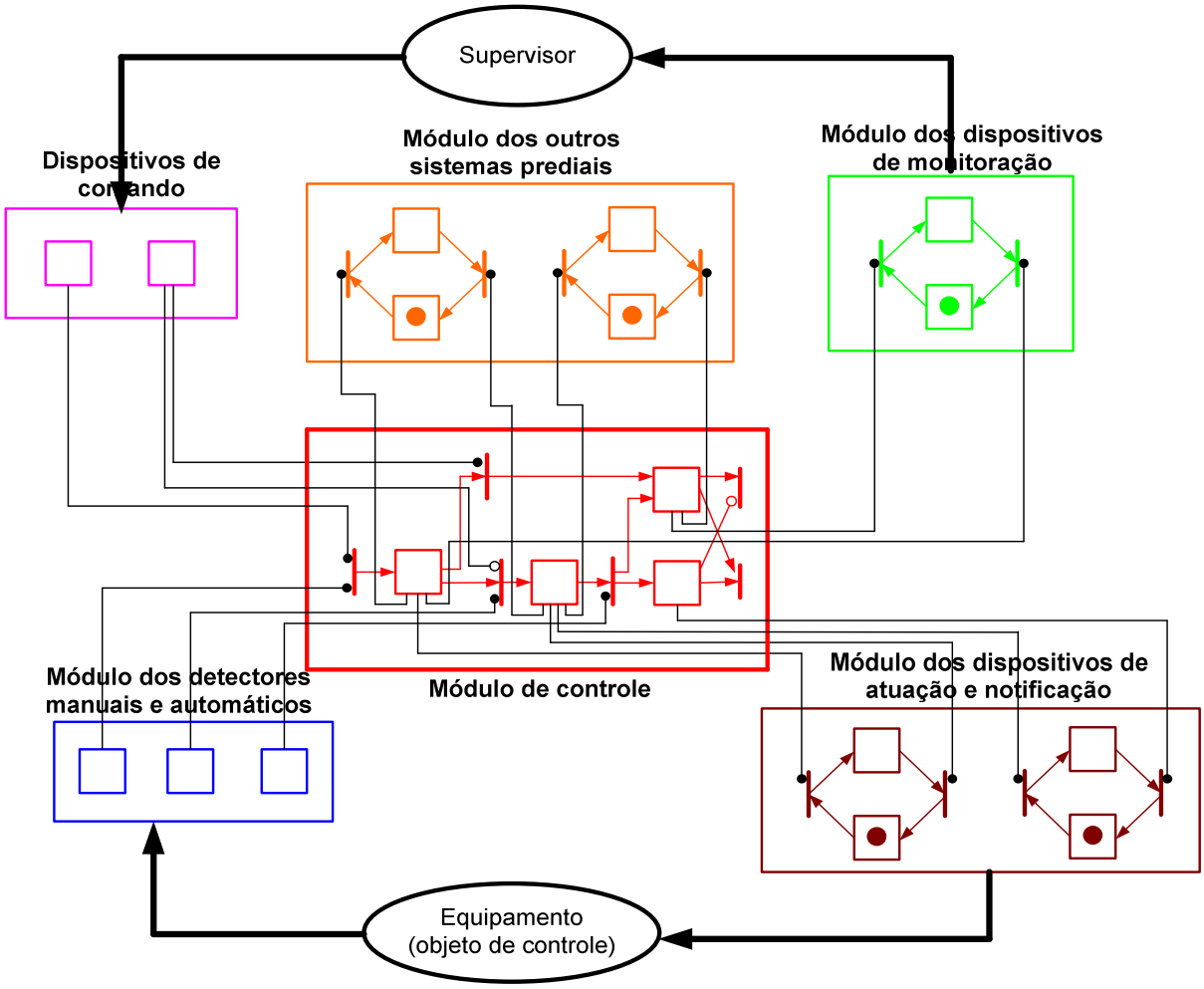


FIGURA 4.5 - Integração dos módulos das estratégias do SPTCI

O modelo funcional da estratégia é formado por 6 módulos, os quais para sua diferenciação, neste texto, estão graficamente dentro de um bloco com cor diferente como especificado no modelo estrutural (vide Figura 4.2). Estes módulos são:

1. Módulo de controle: representa o dispositivo de realização das estratégias de controle do SPTCI. A interface entre este módulo e os outros é realizada através dos arcos habilitadores e inibidores.
2. Módulo dos dispositivos de atuação e notificação: representa estados discretos dos atuadores que alteram o estado dos equipamentos, por exemplo, solenóide energizado ou não. A representação dos estados destes atuadores é realizada por boxes e respectivas marcas.

Para que um box do atuador modelado mude de estado, este depende do sinal que provém do módulo de controle que habilita/inibe a transição subseqüente ao box. Estes sinais são efetivados através de portas habilitadoras ou inibidoras (Figura 4.6).

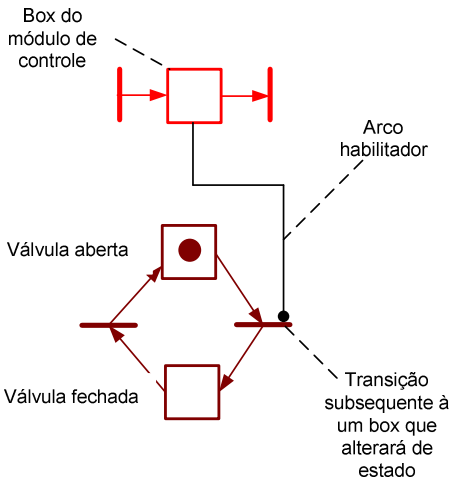


FIGURA 4.6 - Modelo em MFG do atuador

3. Módulo dos detectores manuais e automáticos: representam as leituras que fazem os sensores. Neste módulo, os estados dos sensores são representados por boxes e respectivas marcas, por exemplo, um sensor de fumaça com marca no box indica que foi detectada presença de fumaça no ambiente, e sem marca indica que não.
4. Módulo dos dispositivos de comando: representa, por exemplo, os estados discretos das botoneiras operadas pelo supervisor para dar início ou fim as estratégias de controle.

5. Módulo dos dispositivos de monitoração: representa, por exemplo, os estados discretos dos indicadores de alarme no módulo de controle e sinais audiovisuais.
6. Módulo dos outros sistemas prediais: representa a ativação das estratégias pré-estabelecidas em casos de incêndio de outros sistemas prediais, como por exemplo, desligar o sistema de iluminação, posicionar os elevadores visando facilitar eventuais ações de desocupação, desligar o ar condicionado, etc.

Estes modelos funcionais das estratégias de controle são posteriormente analisados na etapa 5.

4.5 Etapa 5: Análise dos modelos

Uma vez obtidos os modelos funcionais das estratégias do SPTCI em MFG, nesta etapa, realiza-se a análise do comportamento dos mesmos com a finalidade de validar e verificar se estes atendem adequadamente os requisitos e funcionalidades do SPTCI e sua integração com os outros sistemas prediais.

É preciso destacar que pelo procedimento proposto, se houver algum problema, deve-se voltar à etapa devida para fazer as correções necessárias de forma a obter um contínuo aprimoramento dos modelos, assim como a revisão das estratégias e/ou requisitos.

Os modelos das estratégias do SPTCI são analisados com a finalidade de comprovar se eles atendem as especificações do sistema, de tal forma que seu comportamento dinâmico coincida com o comportamento esperado. A etapa de análise dos modelos é composta por duas partes: validação e verificação.

Validação: consiste em assegurar que o modelo proposto para um sistema representa adequadamente suas funcionalidades. É a prova que determina se o modelo atende aos requisitos do projeto e se o sistema se comporta de acordo com a sua especificação. Isto assegura que a especificação é completa, coerente e cumpre os objetivos fixados (DIAGNE,

ESTRAILLIER, 1997). Segundo Bastidas (2005), a simulação é um importante meio para depurar e validar os modelos realizados e ajudar no entendimento do comportamento dinâmico do sistema.

Como ferramenta para simulação dos modelos foi considerado o *Visual Object Net ++,* versão 2.0, desenvolvido no *Department of Automation Control and Systems Engineering* da *Ilmenau University of Technology,* na Alemanha (DRATH, 1999). Uma das principais vantagens deste software é o acompanhamento da evolução do estado da rede de uma forma gráfica, o que auxilia na análise do modelo. A evolução da rede pode ser simulada passo a passo ou de modo contínuo.

Uma vez construído o modelo funcional da estratégia, a simulação demonstra a evolução do sistema sob certas condições. O objetivo é garantir, para certas condições, um comportamento desejado. Deve-se considerar que a simulação para propósitos de validação de um modelo produz um conjunto limitado de estados do sistema e, assim, a simulação é efetiva para identificar a presença, mas não necessariamente a ausência de erros no modelo.

O primeiro passo para a simulação consiste em definir o estado inicial do sistema, isto é, a marcação inicial do modelo. As simulações dos modelos das diferentes estratégias de funcionamento do SPTCI revelam seu papel na identificação de erros e permitem rever e reconsiderar os modelos propostos. Assim, os erros podem ser localizados, corrigidos e os modelos aprimorados.

Verificação: é a prova de que a semântica interna do modelo é correta segundo a especificação do sistema modelado. Por exemplo, as propriedades em geral investigadas nos modelos são: *deadlock*, estabilidade de seu comportamento dinâmico, existência de certos estados, etc. A verificação do modelo é realizada através da simulação.

Segundo Bastidas (2005), as principais propriedades a verificar nos sistemas prediais são:

- propriedades de alcançabilidade e
- propriedades de segurança.

As propriedades de alcançabilidade garantem que, em determinadas circunstâncias, um estado sempre é atingido, enquanto que as propriedades de segurança garantem que estados considerados impróprios ou proibidos nunca são atingidos, independente do que aconteça no sistema.

O procedimento de verificação das propriedades do modelo das estratégias do SPTCI pode ser organizado na seguinte seqüência de passos:

- Definição das propriedades e das restrições: a verificação se inicia com a definição das propriedades que devem ser consideradas (alcançabilidade e segurança). Neste passo, são introduzidas as hipóteses sobre o comportamento do módulo de controle e sobre a interação deste com outros módulos. Segundo Villani (2004), cada hipótese é uma suposição considerada provável de ser verdadeira pela pessoa que está fazendo a análise do modelo, e que facilita a verificação da propriedade. As hipóteses são criadas pela pessoa que está fazendo a análise tendo como base seu conhecimento do sistema modelado (isto é, da interpretação do modelo). Junto com estas hipóteses, devem-se definir as restrições, que delimitam os casos onde espera-se que a hipótese seja verdadeira.
- Análise do modelo: inicia-se com a busca de situações onde se determinam os cenários relativos à evolução do modelo nas condições definidas pela hipótese. Em seguida simula-se o modelo.
- Verificação se todas as propriedades consideradas são satisfeitas baseadas na simulação destes cenários.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste capítulo apresenta-se um exemplo de aplicação do procedimento de modelagem e análise do SPTCI desenvolvido no capitulo anterior para o caso de um prédio hospitalar, considerando sua integração com diferentes sistemas prediais.

O prédio dos ambulatórios (PAMB) faz parte do Complexo Hospitalar das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). Este prédio não é de fato um edifício inteligente, entretanto, é considerado aqui como um objeto de estudo relevante pela importância da manutenção das condições de segurança contra incêndio em um hospital.

O PAMB foi inaugurado em 1979 e faz parte do HC-FMUSP que é classificado como um hospital de atendimento terciário, caracterizado pela maior capacidade resolutiva dos casos mais complexos do sistema de saúde, nas modalidades de atenção ambulatorial, internação e de urgência. Está localizado ao lado de outro prédio deste complexo, o Instituto Central (ICHC), na Avenida Dr. Enéas Carvalho de Aguilar em São Paulo, SP.

A disposição de alguns dos prédios do Complexo Hospitalar das Clínicas do PAMB pode ser observada na Figura 5.1.

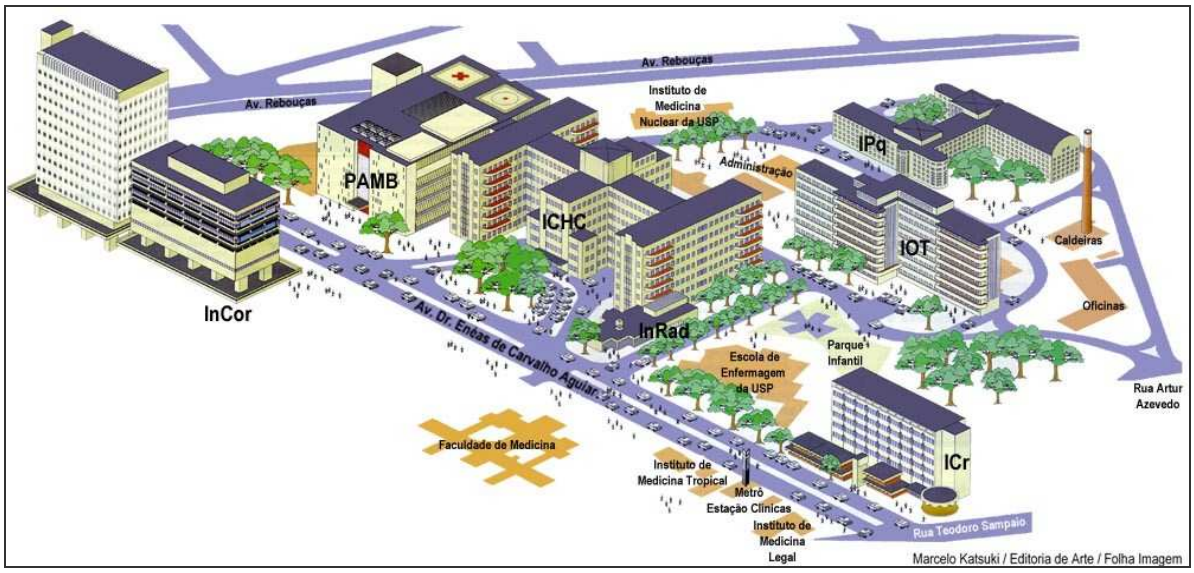


Figura 5.1 - Localização do PAMB no Complexo Hospitalar das Clínicas

Atualmente, circulam pelo PAMB cerca de 2.300 pacientes ao dia e são realizadas aproximadamente 5.500 consultas por dia. Para este prédio, foram transferidos os seguintes serviços que funcionavam anteriormente no ICHC: centro cirúrgico, banco de sangue, farmácia e laboratórios centralizados. O PAMB comporta toda a área de agendamento de consultas, administração, salas de aula, anfiteatros, centro endoscópico, 295 salas para atendimento médico, 139 consultórios, 86 consultórios especiais e 70 salas de exames especializados (BASTIDAS, 2005).

5.1 Etapa 1: Coleta de informações sobre o objetivo do edifício e os sistemas prediais envolvidos

Esta etapa foi desenvolvida através de visitas ao prédio do PAMB e por meio de revisão da documentação disponibilizada.

O PAMB tem aproximadamente 111.000m^2 de área construída e é composto por 11 pavimentos funcionais (discriminados de acordo com a Tabela 5.1) e mais de 7 pavimentos

técnicos ou pavimentos específicos para a instalação, manutenção, reparação de equipamentos (infra-estrutura elétrica e hidráulica) e outras facilidades previstas para a flexibilidade funcional do edifício. Através destes pavimentos técnicos e das prumadas (aberturas verticais) localizadas nas extremidades do edifício, passam todos os dutos: de esgoto, ar condicionado, água quente, água fria, vapor, gases medicinais, rede elétrica, rede de telefone, etc.

Tabela 5.1 - Pavimentos funcionais do PAMB

Nome do Pavimento	**Função do Pavimento**
Cobertura (andar 10)	Heliporto e área para primeiros socorros
Nono pavimento (andar 9)	Centro cirúrgico com 33 salas cirúrgicas
Oitavo pavimento (andar 8)	Farmácia industrial
Sexto pavimento (andar 7)	Andar de ambulatórios
Quinto pavimento (andar 6)	Andar de ambulatórios
Quarto pavimento (andar 5)	Serviços administrativos, arquivos, agendamento de consulta, farmácia, área convênio. Entrada de pacientes e visitantes.
Segundo pavimento (andar 4)	Laboratório central
Primeiro pavimento (andar 3)	Banco de sangre (Hemocentro)
Pavimento térreo (andar 2)	Acesso de funcionários e unidades de serviço de apoio aos funcionários e visitantes.
Subsolo (andar 1)	Serviços gerais (cabina primária de alimentação de energia elétrica)
Casa de máquinas	Caldeiras, geradores

Segundo a nomeação dos andares, no PAMB não existem pavimentos identificados como terceiro e sétimo devido à correspondência mantida com os identificadores existentes

nos pavimentos do prédio do ICHC. Para efeito deste trabalho considerou-se adequado nomear os andares de 1 ao 10 a partir do subsolo (sem considerar os pavimentos técnicos).

Ressalta-se também que o prédio possui dois acessos externos para seus usuários, localizados em diferentes partes do prédio. Devido à irregularidade do terreno, um deles é destinado aos funcionários do hospital e localiza-se no pavimento térreo (andar 2); a outra entrada é usada pelos pacientes e visitantes e localiza-se no nível do quarto pavimento (andar 5).

A estrutura de distribuição física dos ambientes no PAMB é genérica, isto é, basicamente tem-se a mesma planta estrutural para todos os seus andares, sendo que cada ambulatório adaptou-a de acordo às suas necessidades.

Atualmente não existe nenhum tipo de sistema de gerenciamento do edifício instalado no PAMB. Os sistemas prediais atualmente instalados atuam de forma independente, utilizando informações para a realização de suas tarefas sem compartilhar elementos comuns, gerando, com isto, sobreposições de recursos, necessidade de maiores espaços para as instalações, além de requerer maior suporte de manutenção. Como conseqüência deste quadro, verifica-se:

- multiplicidade de redes de comunicação e cabos elétricos;
- manutenção relativamente cara e complicada;
- dificuldade de integrar novos serviços e interligar redes de dados;
- ampla utilização de produtos “adaptadores”;
- problemas de reposição de peças;
- obsolescência em curto prazo.

Sistema de Proteção Técnica Contra Incêndio (SPTCI) do PAMB

O SPTCI contempla a proteção na totalidade das áreas comuns mediante um sistema de detecção e alarme de incêndios. O funcionamento, manual ou automático, não interfere com os sistemas de iluminação de emergência, extinção de incêndios ou qualquer outro equipamento interconectado com o módulo de controle de alarme.

O módulo de controle está locado na recepção do primeiro andar. Este módulo recebe os sinais de todos os dispositivos automáticos de detecção que constam no PAMB e controla e monitora outros sistemas de proteção contra incêndios.

Os dispositivos manuais de detecção estão programados de modo que, qualquer sinal de alarme emitido por algum dos dispositivos, gera no módulo de controle um sinal que deverá ser confirmado pelo pessoal encarregado da segurança, antes de ativar os dispositivos de alarme.

O módulo de controle também monitora e/ou controla os sistemas anexos que não necessariamente são de detecção e alarme de incêndios, mas fazem parte do SPTCI do PAMB.

Zonas de alarmes de incêndios

Os dispositivos que conformam o SPTCI do PAMB estão agrupados por zonas segundo a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Classificação das zonas de alarmes de incêndios

Zona	Nome do Pavimento
Zona 1	Casa de máquinas
Zona 2	Subsolo (andar 1)
Zona 3	Pavimento térreo (andar 2)
Zona 4	Primeiro pavimento (andar 3)
Zona 5	Segundo pavimento (andar 4)

Zona	Nome do Pavimento
Zona 6	Quarto pavimento (andar 5)
Zona 7	Quinto pavimento (andar 6)
Zona 8	Sexto pavimento (andar 7)
Zona 9	Oitavo pavimento (andar 8)
Zona 10	Nono pavimento (andar 9)
Zona 11	Cobertura (andar 10)

Sistema de pressurização de água contra incêndio do PAMB

O sistema de pressurização encontra-se adjacente a uma cisterna, localizado no subsolo. O sistema consiste em uma motobomba contra incêndios tipo centrífuga horizontal, com capacidade e pressão nominal de 1.892 lpm @ 11,70bar (500 gpm @ 170 psi) e uma eletrobomba *jockey* para 19 lpm @ 11,70 bar (5 gpm @ 170 psi).

O sistema é automático e mantém pressurizados os montantes e gabinetes, o que significa que estes sistemas podem atuar de imediato quando existe um requerimento de água, como por exemplo, a abertura de um *sprinkler* ou uma mangueira contra incêndio.

Sistema de combate a incêndio por gás FM-200

Além do sistema de combate a incêndio por água, foi considerado para o estudo de caso um sistema de supressão de incêndio por gás FM-200. O uso deste gás apresenta as seguintes vantagens:

- a baixa concentração do gás durante a descarga, gera pouca obscuridade e risco mínimo a pacientes e usuários do prédio;

- máxima segurança para pacientes e usuários contra mínima toxicidade (a eficácia do FM-200 não depende da remoção de oxigênio do ambiente);
- minimização dos danos aos equipamentos;
- propriedade de prevenir reignição enquanto os níveis de concentração forem mantidos.

O combate a incêndio é executado por uma bateria de cilindros de gás FM200, que através de uma tubulação e bicos dispersores satura a área protegida (dividida em dois ambientes), eliminando assim qualquer foco de incêndio existente.

Durante o acionamento deste sistema de combate a incêndio, é essencial que todo o suprimento de ar seja estancado, evitando assim a fuga do reagente do ambiente. Esta estanqueidade deve ser prevista no sistema de ar condicionado através de *dampers* motorizados comandados pelo módulo de controle.

O módulo de controle deverá disponibilizar de contatos para que seja realizado, remotamente, o desligamento/acionamento da sirene e a abortagem/acionamento do sistema.

5.2 Etapa 2: Definição do sistema a ser modelado

Segundo a norma NBR9441/1998, o SPTCI deve ser instalado como um sistema completamente independente, com centrais microprocessadas que interligam detectores, atuadores manuais e automáticos. Embora seja um sistema autônomo, o SPTCI deve interagir efetivamente com os seguintes sistemas prediais:

- Sistema de Elevadores: por exemplo, para posicionar e/ou movimentar os elevadores visando facilitar eventuais ações de desocupação.

- Sistema de Ar Condicionado: por exemplo, para acionar ventiladores de retorno do ar visando minimizar a fumaça.
- Sistema de Gerenciamento do Edifício: por exemplo, para a desenergização da zona afetada, de baixa prioridade e zonas próximas que possam vir a aumentar a magnitude do fogo (evitando curto-circuito), assim como para fornecer energia através dos geradores do sistema de iluminação de emergência, de alarmes, das bombas, de comunicações, etc.
- Sistema de Controle de Acesso: por exemplo, para destravar o acesso de algumas áreas.

A análise das informações levantadas do SPTCI e a consideração das normas que existem para hospitais, resultaram, neste exemplo, na especificação das seguintes estratégias de funcionamento do SPTCI no PAMB:

- funcionamento do sistema de bombas contra incêndio;
- ativação de um detector de vazão de água;
- detecção e combate a incêndio por gás FM200;
- ativação de um detector de fumaça na escada;
- ativação de uma estação manual de alarme.

Estratégia do sistema de pressurização de água contra incêndio

Através da bomba *jockey*, o sistema mantém a pressão projetada na rede de água contra incêndio, compensando pequenos decrementos de pressão e evitando acionamentos desnecessários da motobomba principal. A bomba *jockey* aciona automaticamente quando a pressão na linha desce à 11,03 bar (160 psi), pressuriza a linha e desliga quando alcança 11,70 bar (170 psi). No caso de uma emergência, a demanda de água solicitada por qualquer dispositivo contra incêndio deve resultar numa queda de pressão na linha que indicará ao

controlador da bomba principal a necessidade do seu acionamento quando a pressão do sistema cair para 10,70 bar (155 psi).

A Tabela 5.3 mostra os dispositivos do sistema de controle que conformam a estratégia do sistema de bombas de água contra incêndio.

Tabela 5.3 - Dispositivos utilizados na estratégia do sistema de bombas contra incêndio

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de comando	Botoneiras
Detectores manuais	—
Detectores de incêndio	Pressostato
Dispositivos de atuação	Atuador da bomba principal, atuador da bomba *jockey*
Dispositivos de monitoração	Indicadores de alarme no módulo de controle
Dispositivos de controle	Módulo de controle de alarme
Outros sistemas prediais	—

Modelagem da estratégia de ativação de detector de vazão de água

Ao receber um sinal de alerta de algum detector de vazão da linha de água do sistema de hidrantes e *sprinklers*, deve-se gerar no módulo de controle um sinal audiovisual de alarme indicando a zona de emergência, assim como acionar as lâmpadas estroboscópicas e as sirenes de alarme da zona que ativou o alarme. Adicionalmente, deverá ser ativado o equipamento de pressurização das escadas e de liberação das portas de escape.

A Tabela 5.4 mostra os dispositivos do sistema de controle que compõem a estratégia de ativação de detector de vazão de água.

Tabela 5.4 -Dispositivos utilizados na estratégia de ativação de detector de vazão de água

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de comando	Botoneiras
Detectores manuais	—
Detectores de incêndio	Detectores de vazão de água
Dispositivos de notificação	Lâmpadas estroboscópicas e sirenes
Dispositivos de monitoração	Indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle
Dispositivos de controle	Módulo de controle de alarme
Outros sistemas prediais	Atuadores de liberação das portas de escape Atuadores de pressurização das escadas

Estratégia do sistema de combate a incêndio por gás FM200

O sistema considera a detecção por zonas cruzadas. Neste caso, uma ativação de um sensor de fumaça ou temperatura num ambiente gera no módulo de controle apenas um sinal de alarme. Somente com a ativação de um segundo sensor no outro ambiente é que se dá inicio à condição de pré-alarme. O sistema de detecção por zonas cruzadas determina o acionamento do sistema de combate, isto é, esta redundância se faz necessária devido ao alto custo do agente (FM200) que deverá ser utilizado apenas quando o combate ao fogo não puder ser efetivado através de extintores existentes dentro do ambiente.

O módulo de controle é do tipo unidade de controle local conectado a dois “laços”, isso é, dois circuitos, um relacionado a detecção de presença de fumaça e temperatura (estrutura multisensores) e outro relacionado ao sensor analisador de partículas, localizado no

duto de retorno do ar condicionado que deverá identificar e sinalizar, através de LED, os seguintes status:

1. **Alarme:** quando um dos sensores de temperatura e fumaça detectarem temperatura de 30ºC ou presença de fumaça, o módulo de controle deverá acionar o indicador de "alarme" no módulo de controle, sem dar início à seqüência de eventos para ativação do sistema de combate a incêndio (a condição de alarme não dispara a descarga de FM200). A atuação do segundo sensor de temperatura e fumaça deverá acionar o indicador de pré-descarga no módulo de controle, ativar o alarme de pré-descarga e iniciar a seqüência de temporização de aborto.
2. **Pré-descarga:** o acionamento do sistema pode ser abortado até 30s. após o disparo do alarme, porém o sistema de estanqueidade de ar é imediatamente acionado através de saídas lógicas controlando o fechamento do *damper* dos dutos de captação de ar exterior e desligando os ventiladores do sistema de ar condicionado.
3. **Alarme de evento em progresso:** 30s. após o acionamento da pré-descarga, o sistema de extinção de incêndio por gás FM200 entra em ação, sem possibilidade de ser abortado. A sinalização de restrição à entrada de pessoas no ambiente deverá ser acionada e as portas trancadas por fora e liberadas por dentro (barras anti-pânico).
4. **Finalização do evento:** após 30 minutos da descarga de FM200, o módulo de controle deverá ativar o sistema de exaustão de ar do ambiente que deverá funcionar por 30 min. no mínimo.

O módulo de controle deverá enviar sinal para o solenóide das válvulas de controle dos cilindros de gás e fazer com que as válvulas dos cilindros abram-se automaticamente após a confirmação da presença de fogo.

A Tabela 5.5 mostra os dispositivos do sistema de controle que conformam a estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200.

Tabela 5.5 - Dispositivos utilizados na estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de comando	Botoneiras
Detectores manuais	Estação manual de descarga Estação de aborto
Detectores de incêndio	Detectores de fumaça detectores de temperatura
Dispositivos de atuação	Válvulas solenóides de descarga de gás FM200
Dispositivos de monitoração	Indicadores de alarme no módulo de controle
Dispositivos de controle	Módulo de controle de alarme
Outros sistemas prediais	Sistema de elevadores Sistema de gerenciamento Sistema de *HVAC* Sistema de controle de acesso

Estratégia de ativação de estação manual de alarme

Ao receber um sinal de alerta de alguma estação manual de alarme, o módulo de controle deve gerar: um sinal audiovisual de alarme, uma indicação da zona de emergência e ativação das lâmpadas estroboscópicas na zona onde se ativou o alarme.

A Tabela 5.6 demonstra os dispositivos do sistema de controle que compõem a estratégia de ativação de detector de vazão de água.

Tabela 5.6 - Dispositivos utilizados na estratégia de ativação estação manual de alarme

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de comando	Botoneiras
Detectores manuais	Estações manuais de alarme
Detectores de incêndio	_____
Dispositivos de atuação	Lâmpadas estroboscópicas
Dispositivos de monitoração	Indicadores de alarme no módulo de controle
Dispositivos de controle	Módulo de controle de alarme
Outros sistemas prediais	_____

Estratégia de ativação de detector de fumaça na escada

Ao ativar-se o detector de fumaça, o módulo de controle deverá gerar um sinal de alarme, indicando o ponto ativado, sem acionar ainda nenhum dispositivo de alarme de incêndio. A Tabela 5.7 demonstra os dispositivos do sistema de controle que conformam à estratégia de ativação de detector de fumaça na escada.

Tabela 5.7 - Dispositivos utilizados na estratégia de ativação de detector de fumaça na escada

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de comando	Botoneiras
Detectores manuais	_____
Detectores de incêndio	Sensores de fumaça
Dispositivos de atuação	_____

Classificação	**Dispositivos**
Dispositivos de monitoração	Indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle
Dispositivos de controle	Módulo de controle de alarme
Outros sistemas prediais	_____

5.3 Etapa 3: Modelagem estrutural do SPTCI

Nesta etapa é desenvolvido um modelo estrutural para cada uma das estratégias especificadas na etapa 2. Também são identificados os dispositivos de controle que compõem as estratégias de controle e é modelada a interação entre os diferentes módulos que compõem o modelo estrutural. Posteriormente, os procedimentos de cada estratégia de controle são modelados conceitualmente e funcionalmente na etapa 4.

A seguir são apresentados os modelos estruturais da estratégia de funcionamento do sistema de bombas contra incêndio (Figura 5.2) e a estratégia de ativação de detectores de vazão de água. Os modelos das outras estratégias de funcionamento do SPTCI do PAMB são apresentados no Anexo A.

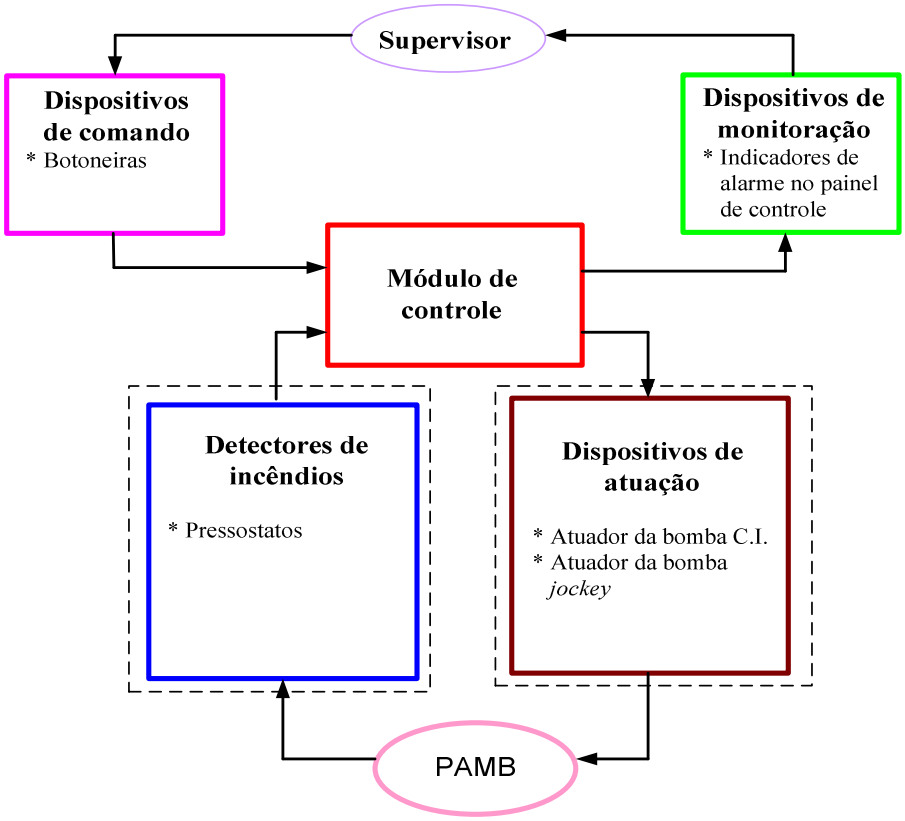


Figura 5.2 - Modelo estrutural da estratégia do sistema de bombas de água contra incêndio do PAMB

A Figura 5.2 mostra a interação entre os diferentes módulos envolvidos na estratégia de funcionamento do sistema de bombas de água contra incêndio a partir da Tabela 5.3. Uma vez recebido no módulo de controle os sinais de ativação procedentes dos dispositivos de comando, o módulo de controle dá início à estratégia de funcionamento do sistema de bombas contra incêndio. Neste instante, o sistema permanece no estado de *stand by*, pronto para receber os sinais do pressostato que indica os valores de pressão da linha contra incêndio do PAMB. O módulo de controle processa os sinais e executa um procedimento pré-estabelecido, acionando os atuadores das bombas principal e *jockey*. Os dispositivos de monitoração indicam ao supervisor os estados dos atuadores das bombas contra incêndio.

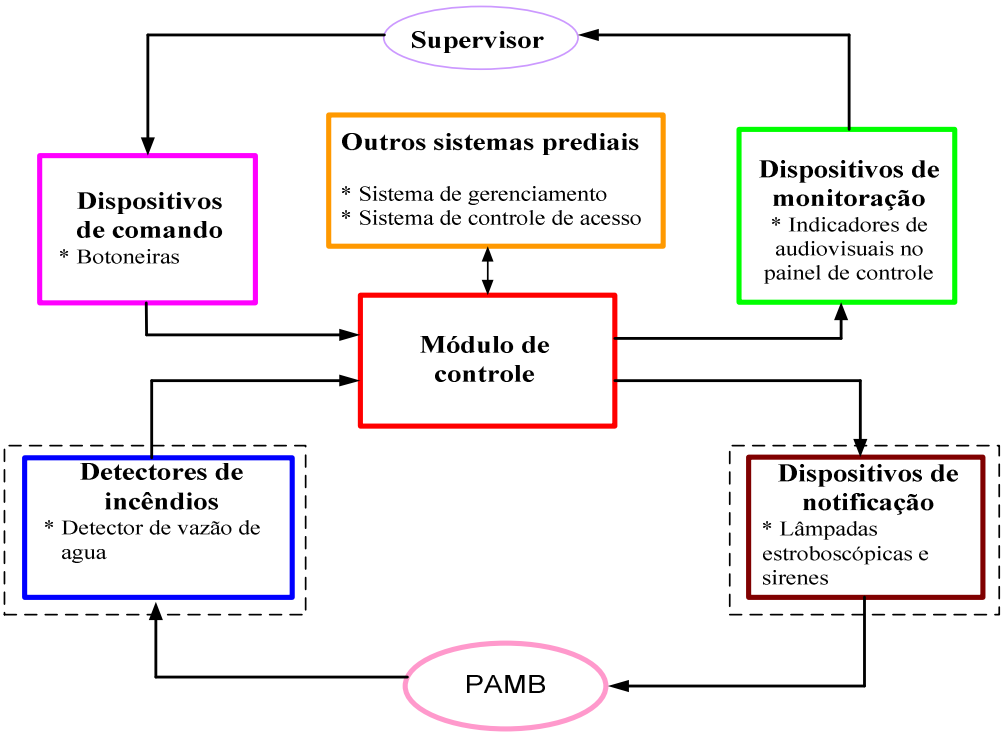


Figura 5.3 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de detectores de vazão de água

A Figura 5.3 representa a interação entre os diferentes módulos (vide Tabela 5.4) que compõem a estratégia de ativação de detectores de vazão de água.

O módulo de controle recebe os sinais dos dispositivos de comando para iniciar a estratégia de ativação de detectores de vazão de água. Neste instante, o sistema permanece em estado *stand by*, pronto para receber os sinais dos detectores de vazão de água distribuídos nos 11 andares do PAMB. Estes detectores são ativados quando pelo menos um dos *sprinklers* ou mangueiras contra incêndio estejam acionados. O módulo de controle processa estes sinais e executa o procedimento pré-estabelecido, acionando os dispositivos de notificação e monitoração. Adicionalmente, o módulo de controle envia sinais ao: sistema de gerenciamento para pressurizar as escadas e ao sistema de controle de acesso para destravar as portas de emergência.

5.4 Etapa 4: Modelagem conceitual e funcional do sistema

Inicialmente, é desenvolvido um único modelo conceitual em PFS de todas as estratégias de controle do SPTCI do PAMB (vide Figura 5.4).

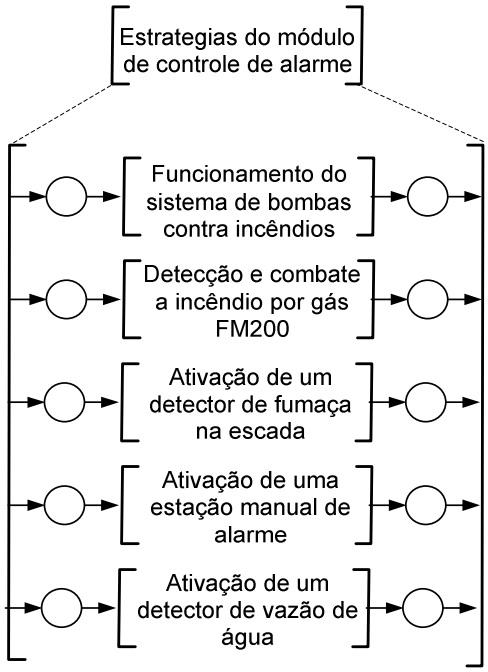


Figura 5.4 - Modelo em PFS das estratégias do módulo de controle de alarme do SPTCI

Em seguida, utilizando a técnica PFS/MFG, os modelos conceituais e funcionais de cada uma das estratégias são desenvolvidos de acordo com as especificações das estratégias e respectivos modelos estruturais.

A seguir são apresentados os modelos conceituais e funcionais da estratégia de funcionamento do sistema de bombas contra incêndio e da estratégia de ativação de detectores de vazão de água. Os modelos conceituais e funcionais das outras estratégias de funcionamento do SPTCI do PAMB são apresentados no Anexo A.

Modelagem da estratégia de funcionamento do sistema de bombas de água contra incêndio

O modelo conceitual da estratégia de funcionamento do sistema de bombas é apresentado na Figura 5.5, onde são identificadas as principais atividades que compõem esta estratégia.

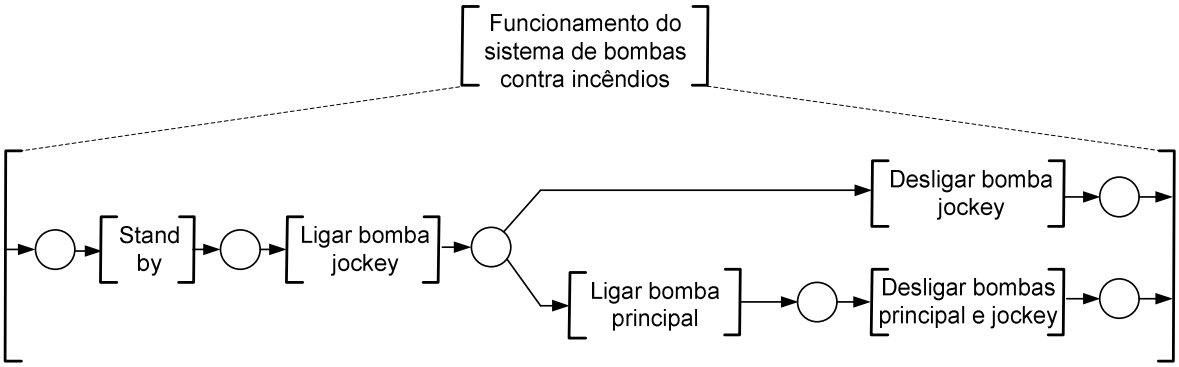


Figura 5.5 - Modelo em PFS do funcionamento do sistema de bombas contra incêndio.

Este modelo é construído segundo o modelo estrutural (vide Figura 5.2) e as especificações da estratégia de funcionamento do sistema de bombas contra incêndio. O fluxo de atividades e suas relações que conformam esta estratégia são representados através da técnica PFS.

A estratégia inicia com a atividade "*stand by*". Quando a pressão da rede de água desce a 160 psi, é realizada a atividade "*ligar bomba jockey*". Depois de realizada esta atividade, o sistema pode tomar dois caminhos, "*desligar bomba jockey*", caso a pressão da linha seja restabelecida ou "*ligar bomba principal*", caso a pressão da linha desça a 155 psi. Depois de ligar a bomba principal, e a pressão da linha alcance 170 psi, é realizada a atividade "*desligar bomba principal e jockey*".

Em seguida, são gerados os modelos funcionais de cada atividade, onde é identificada a interação dos fluxos de sinais provenientes dos diferentes módulos identificados no modelo estrutural (Figura 5.2).

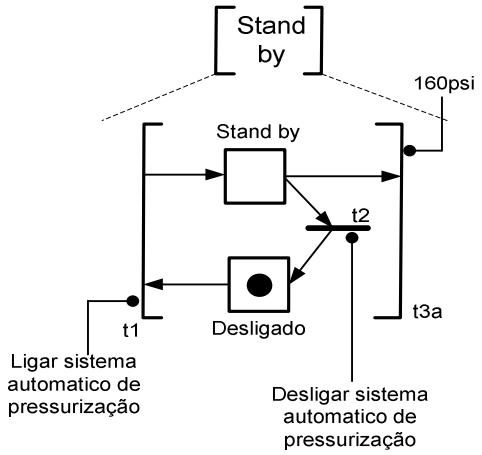


Figura 5.6 - Modelo funcional em MFG da atividade "*stand by*"

A Figura 5.6 apresenta o modelo funcional da atividade "*stand by*" desenvolvido em MFG. Um sinal (ligar sistema automático de pressurização) proveniente do módulo dos dispositivos de comando dá inicio à estratégia de funcionamento, que dispara a transição t1 e coloca uma marca no box "*stand by*". Se o pressostato detectar uma pressão de 160 psi, a transição t3a é habilitada, dando inicio à atividade "*ligar bomba jockey*". A transição t2 é habilitada quando o módulo dos dispositivos de comando envia um sinal para desligar o sistema automático.

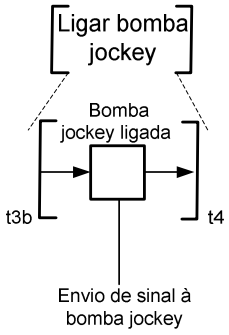


Figura 5.7 - Modelo funcional em MFG da atividade "*ligar bomba jockey*"

A Figura 5.7 apresenta o modelo funcional da atividade "*ligar bomba jockey*" em MFG. Quando a transição t3b (vide Figura 5.7) é disparada, tem-se uma marca no box "*bomba jockey ligada*" e o sistema de controle envia um sinal através do arco habilitador para o controlador da bomba *jockey*. Se a pressão da linha de hidrantes e *sprinklers* é restabelecida a 170 psi, o módulo de detecção envia um sinal habilitando a transição t5 para executar a atividade "*desligar a bomba jockey*". Se a pressão cai para 155 psi, originado pela abertura de um *sprinkler* ou de uma válvula associada a uma mangueira do prédio, habilita-se a transição $t5_b$ que executa a atividade "*ligar bomba principal*".

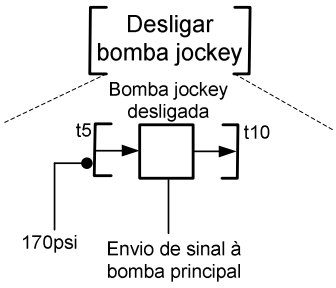


Figura 5.8 - Modelo funcional em MFG da atividade "*desligar bomba jockey*"

No modelo apresentado na Figura 5.8, quando a transição t5 é disparada, tem-se uma marca no box "*bomba jockey desligada*". Nesta situação, o sistema de controle envia um sinal através do arco habilitador ao controlador da bomba *jockey* para desligá-la.

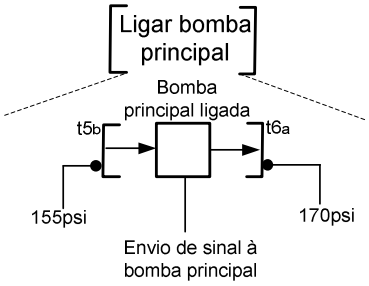


Figura 5.9 - Modelo funcional em MFG da atividade "*ligar bomba principal*"

No modelo da Figura 5.9, quando a transição $t5_b$ é disparada, tem-se uma marca no box "*bomba principal ligada*" e o sistema de controle envia um sinal através do arco habilitador para o controlador da bomba principal para ligá-la. Se o sistema alcança uma pressão de 170 psi, a transição $t6_a$ é habilitada.

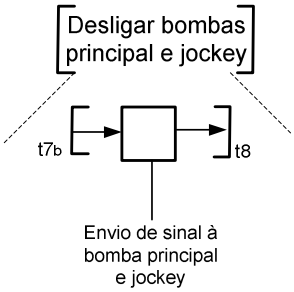


Figura 5.10 - Modelo funcional em MFG da atividade "*desligar bombas principal e jockey*"

No modelo da Figura 5.10, se a transição $t7_b$ é habilitada, quando dispara, tem-se uma marca nos boxes "*bomba jockey desligada*" e "*bomba principal desligada*". Nesta situação, o sistema de controle envia um sinal para desligar as bombas principal e *jockey*.

A integração de todas as atividades do modelo conceitual resulta num único modelo funcional do módulo de controle (Figura 5.11).

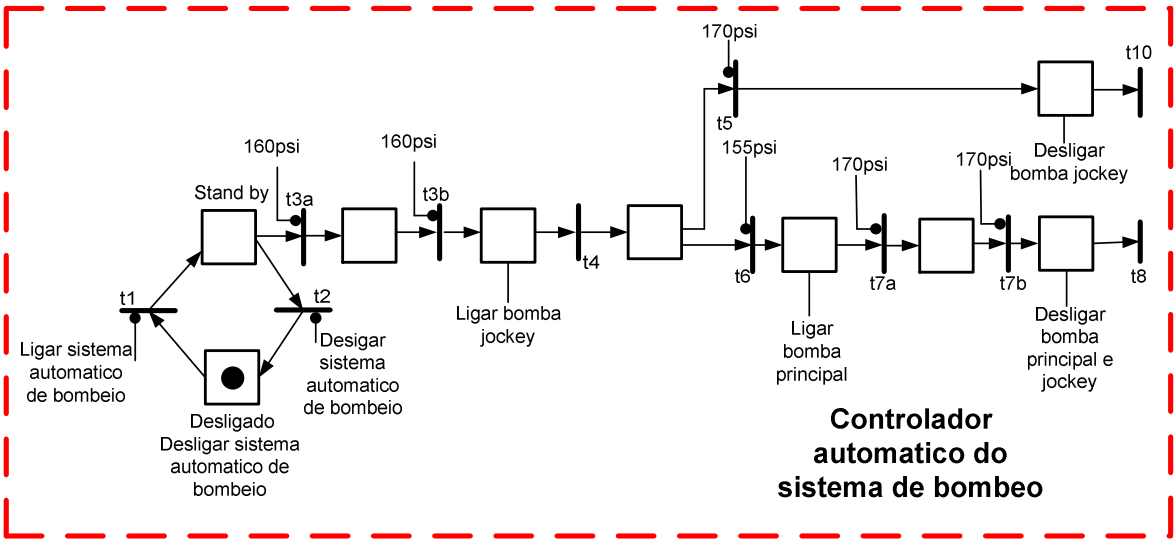


Figura 5.11 - Modelo funcional em MFG do módulo de controle

Com base nas técnicas de construção de modelos PFS/MFG, algumas estruturas (boxes e/ou transições) desnecessárias são omitidas, isto é, realiza-se a fusão de boxes e/ou transições. Por exemplo, uma transição ti_{ab} indica que a transição ti_a e ti_b foram fundidas, obtendo-se assim o modelo funcional simplificado do módulo de controle (Figura 5.12).

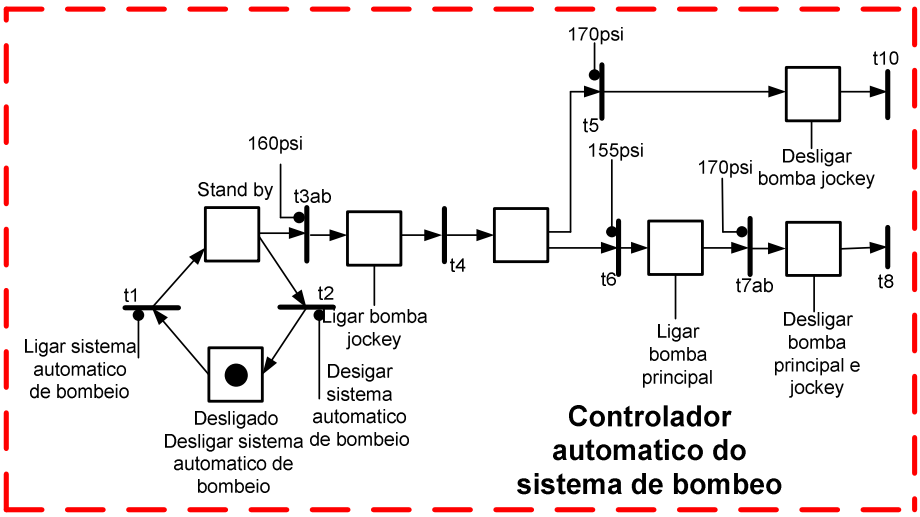


Figura 5.12 - Modelo funcional simplificado em MFG do módulo de controle

Os fluxos das funções são representados dinamicamente através de uma evolução das marcas no modelo e o controle destas pode ser realizado através do controle dessa evolução das marcas.

Na Figura 5.13, os diferentes valores de pressão da linha de hidrantes e *sprinkers* são modelados com boxes e transições temporizadas ligados às transições devidas do módulo de controle do sistema de pressurização através de portas habilitadoras. A transição temporizada é introduzida para que uma nova pressão não seja alcançada enquanto o módulo de controle não sofra todas as evoluções de estado correspondentes devido ao valor da pressão da linha de hidrantes e *sprinkers*.

Os estados dos atuadores das bombas *jockey* e principal são modelados com boxes e transições, sendo que estes recebem portas habilitadoras originadas do módulo de controle que é responsável por ativar/desativar os atuadores.

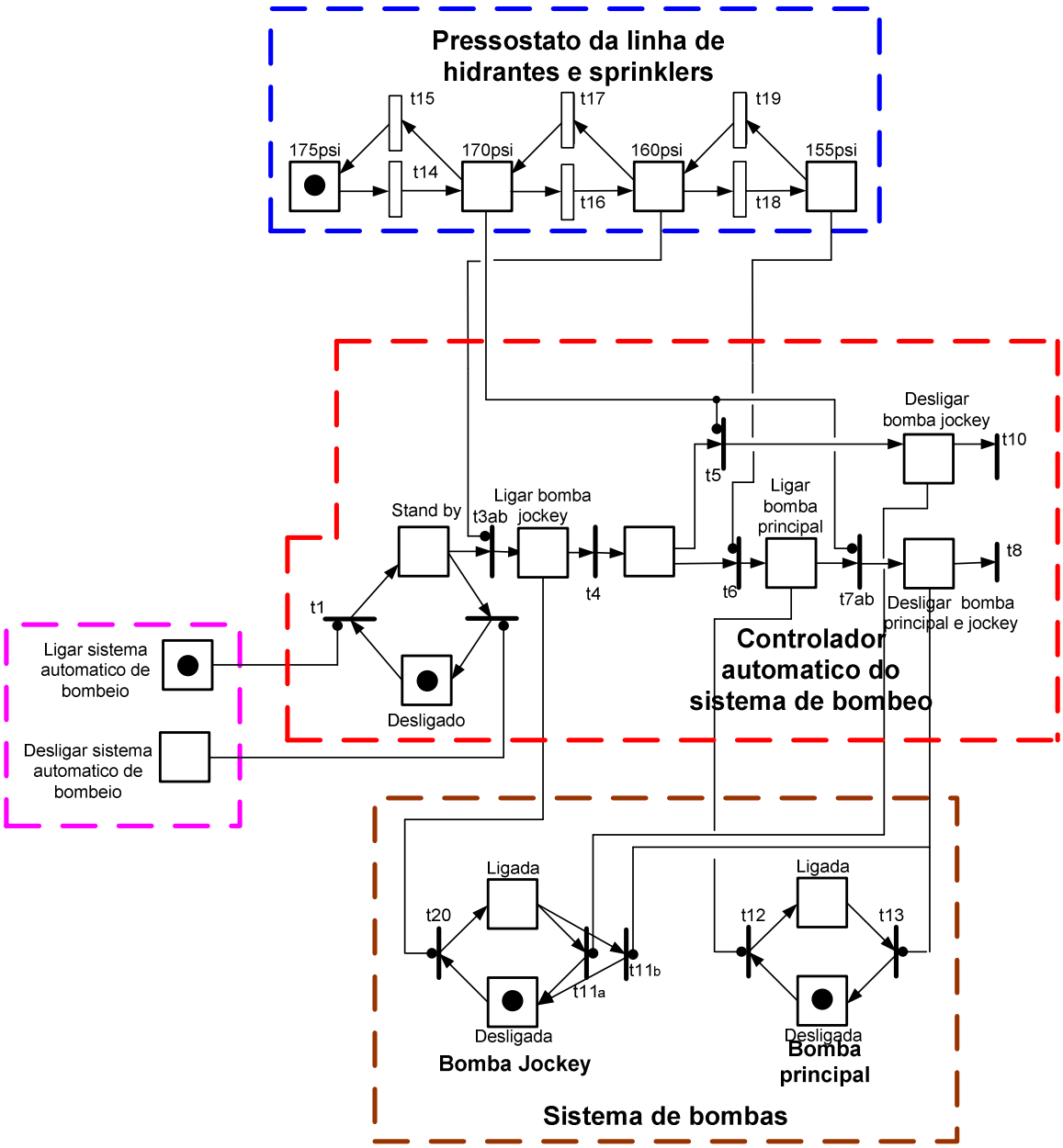


Figura 5.13 - Modelo em MFG da estratégia de funcionamento do sistema de bombas de água contra incêndio.

Estratégia de ativação de detector de vazão de água

O modelo conceitual da estratégia de ativação de detector de vazão de água é apresentado na Figura 5.14, onde são identificadas as principais atividades que compõem esta estratégia.

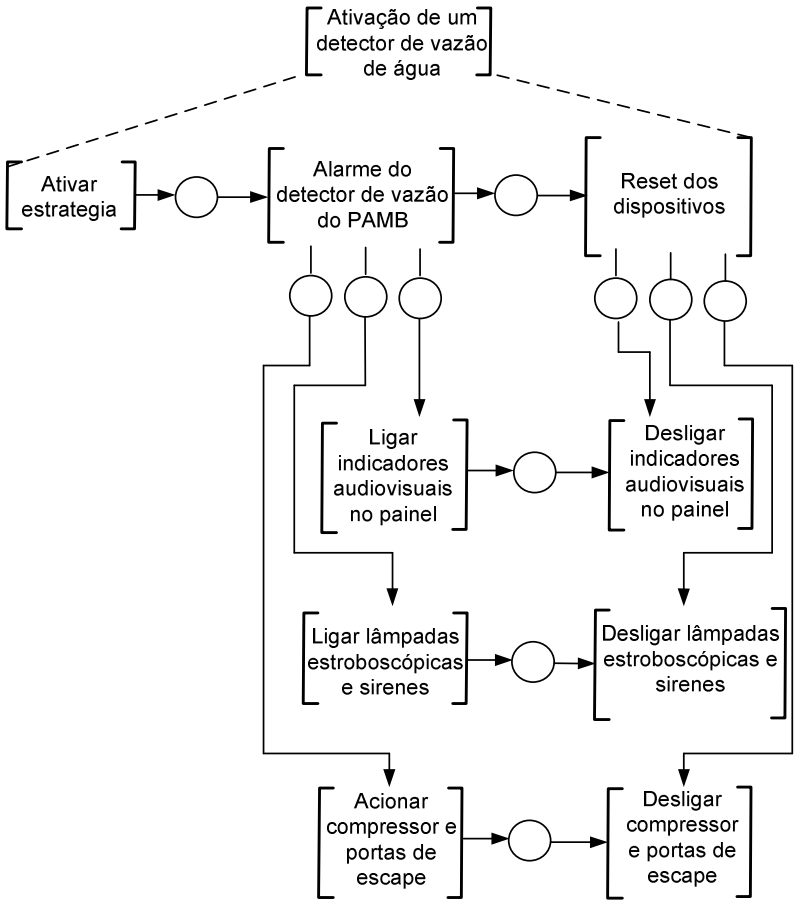


Figura 5.14 - Modelo em PFS da estratégia de ativação de detector de vazão de água

O fluxo de informações entre as atividades e suas relações que conformam esta estratégia é representado através da técnica PFS. O procedimento inicia com a atividade "*ativar estratégia*", onde o módulo de controle recebe os sinais dos dispositivos de comando para iniciar a estratégia. Em seguida, é realizada a atividade *"alarme de detector de vazão do PAMB"*. Nesta atividade, o sistema permanece em estado *stand by* pronto para receber os

sinais dos detectores de vazão de água distribuídos nos 11 andares do PAMB. Quando pelo menos um dos *sprinklers* ou válvulas associadas a mangueiras contra incêndio são acionados, o módulo de controle realiza as atividades: *"ligar indicadores audiovisuais no painel"*, *"ligar lâmpadas estroboscópicas e sirenes"* e finalmente *"acionar estratégias do sistema de gerenciamento e controle de acesso".* Finalmente, o sistema é restabelecido e o módulo de controle realiza as seguintes atividades: *"desligar indicadores audiovisuais no painel"*, *"desligar as lâmpadas estroboscópicas e sirenes"* e *"reiniciar estratégias do sistema de gerenciamento e controle de acesso".*

Na Figura 5.15 é detalhada a atividade "*alarme do detector de vazão do PAMB*", observando que esta é composta pelas atividades: "*alarme zona 1*", "*alarme zona 2*"..."*alarme zona 11*", sendo que as atividades envolvem situações de paralelismo no seu fluxo.

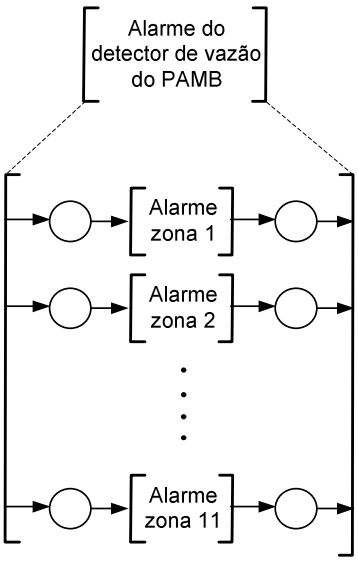


Figura 5.15 - Modelo em PFS da atividade "*alarme do detector de vazão do PAMB*"

Em seguida, são gerados os modelos funcionais de cada atividade, onde é identificada a interação dos fluxos de sinais provenientes dos diferentes módulos que conformam o modelo estrutural do sistema.

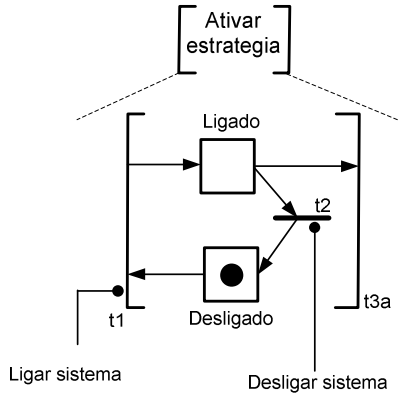


Figura 5.16 - Modelo em MFG da atividade "*Ativar estratégia*"

A Figura 5.16 apresenta o modelo funcional da atividade "*ativar estratégia*", desenvolvido em MFG. Um sinal (ligar sistema) proveniente do módulo dos dispositivos de comando dá inicio à estratégia de ativação dos detectores de vazão de água. O disparo da transição t1 remove a marca do box "*desligado*" e coloca uma marca no box "*ligado*". A transição t2 é habilitada quando o módulo dos dispositivos de comando envia um sinal para desligar o sistema. Se o sistema permanecer ligado, a transição $t3_a$ é disparada, dando inicio às atividades: "*alarme zona 1*", "*alarme zona 2*", ..."*alarme zona 11*".

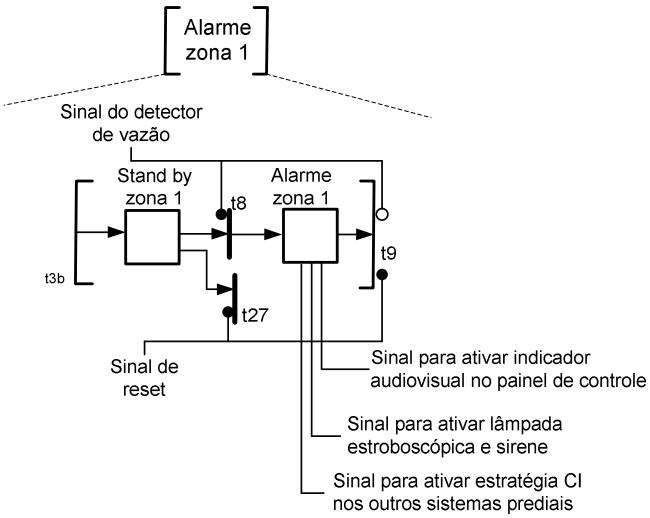


Figura 5.17 - Modelo em MFG da atividade "*Alarme zona 1*"

Na Figura 5.17, depois de disparada a transição $t3_b$, o sistema alcança o estado "*stand by zona 1*". Neste estado, o sistema estará pronto para receber qualquer sinal de alarme proveniente do detector de vazão de água da zona 1. No caso deste detector ser ativado, é enviado um sinal ao módulo de controle, habilitando a transição t8 e inibindo a transição t9. Quando t8 dispara, o estado do sistema passará da condição "*stand by zona 1*" para "*alarme na zona 1*", representada por uma marca no box "*alarme zona 1*". Neste estado, o módulo de controle liga o indicador audiovisual de alarme no módulo de controle. Também aciona as lâmpadas estroboscópicas e sirene da zona 1 assim como aciona os compressores das escadas e a liberação das portas de escape. Para reinicializar o sistema, o módulo de comando envia um sinal de *reset* ao módulo de controle, habilitando as transições t27 e t9. A transição t27 é disparada quando existir marca no box "*stand by zona 1*" e o detector de vazão não for ativado.

O processo de ativação dos detectores de vazão das outras zonas é similar ao descrito acima.

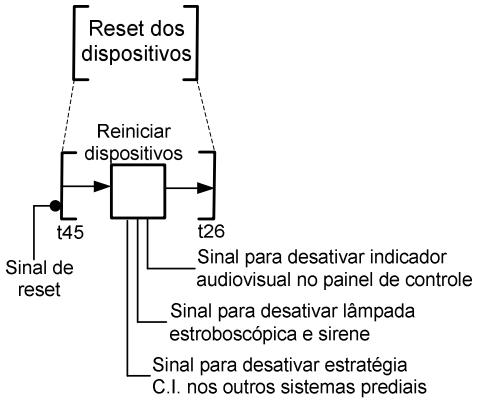


Figura 5.18 - Modelo em MFG da atividade "*reset* dos dispositivos"

Na Figura 5.18, quando o módulo de comando envia um sinal de *reset* ao módulo de controle, a transição t45 é disparada, gerando uma marca ao box "*reiniciar dispositivos*".

Neste estado, o sistema desliga todos os dispositivos de monitoração e atuação, além disso, desativa os compressores das escadas e trava as portas de escape.

A integração dos modelos funcionais de cada atividade resulta num único modelo funcional da estratégia de ativação do detector de vazão de água, apresentado na Figura 5.19.

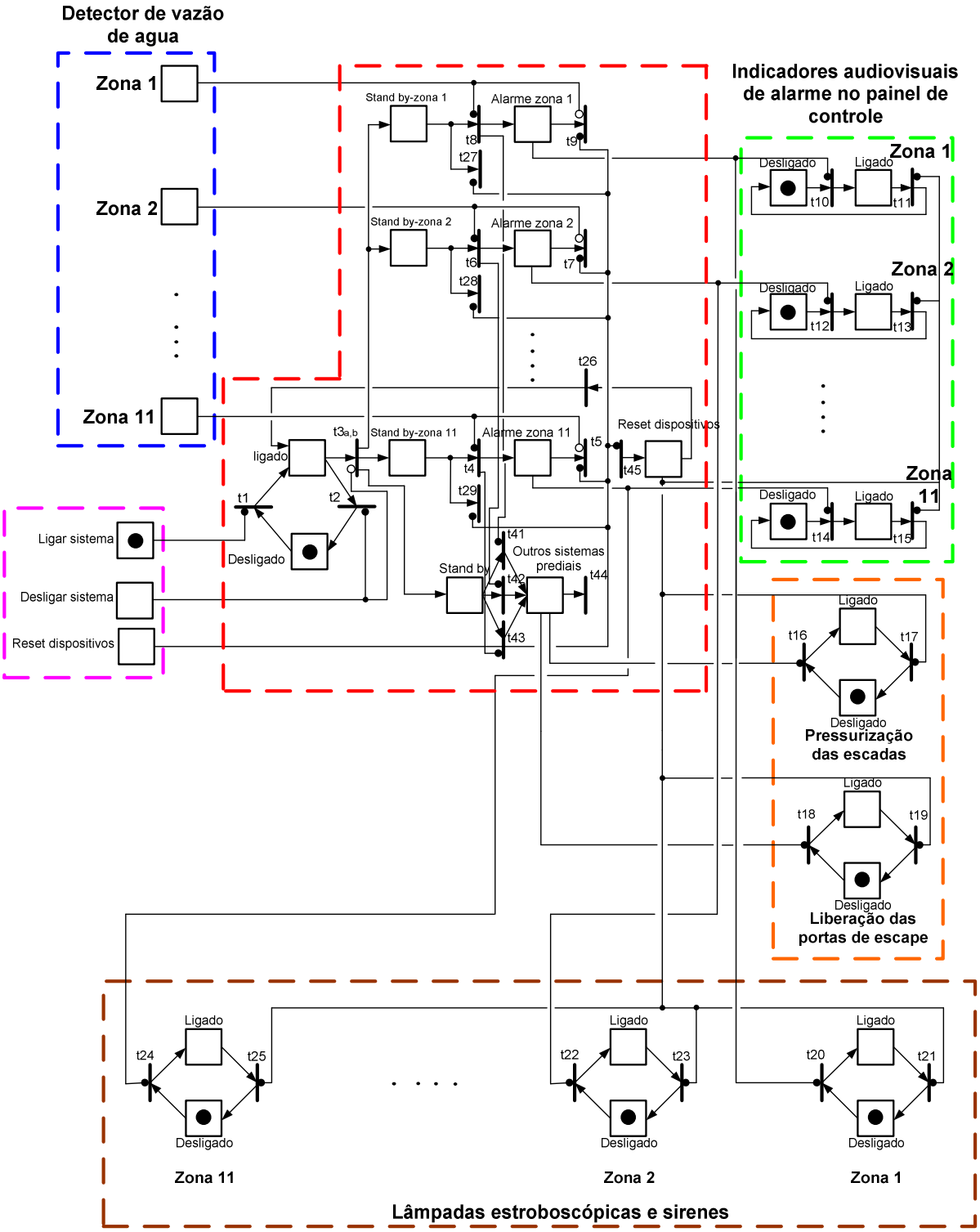


Figura 5.19 - Modelo funcional em MFG da estratégia de ativação de detector de vazão

O modelo da Figura 5.19 apresenta o seguinte estado: os indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle, os detectores de vazão de água, as lâmpadas estroboscópicas e

sirenes localizadas nas 11 zonas protegidas, a liberação das portas de escape e o sistema de pressurização das escadas encontram-se todos desligados.

O disparo da transição t1 dá inicio à estratégia de ativação dos detectores de vazão de água, removendo as marcas dos boxes "*ligar sistema*" e "*desligado*" e colocando uma marca no box "*ligado*". Nesta condição, o sistema pode voltar ao estado desligado (disparando a transição t2) caso o box "*desligar sistema*" apresente uma marca ou alcance os estados: "*stand by*", "*stand by zona* 1", "*stand by zona 2*", ..."*stand by zona 11*" (disparando a transição $t3_{a,b}$). No caso do sistema alcançar estes últimos estados, o sistema estará pronto para receber qualquer sinal de alarme proveniente dos detectores de vazão de água localizados nas 11 zonas do prédio. Caso o detector de vazão de água na zona 1 seja ativado, o box *"zona 1"* será marcado, enviando um sinal ao módulo de controle, habilitando a transição t8 e inibindo a transição t9.

Quando t8 dispara, o estado do sistema passará da condição *"stand by-zona1"* e "*stand by*" para "*alarme na zona 1*", representada por uma marca no box *"alarme zona 1"* e uma marca no box *"outros sistemas prediais*". Neste estado, o módulo de controle habilita a transição t10 que quando disparada, liga o indicador audiovisual de alarme no módulo de controle. O mesmo sinal que habilita t10, também habilita a transição t20 que quando disparada, aciona as lâmpadas estroboscópicas e sirenes da zona 1. A marca no box "*outros sistemas prediais*" habilita as transições t16 (para ligar pressurização das escadas) e a transição t18 (para liberar portas de escape). O processo de ativação dos detectores de vazão das zonas restantes é similar ao descrito acima.

Para reinicializar o sistema, o detector de vazão de água tem que ser desativado manualmente (a marca no box "*zona 1*" deve ser removida) e o box "*reset dispositivos*" tem que estar marcado, habilitando as transições t9, t7,..., t15, que, quando disparadas, removem respectivamente as marcas dos boxes: "*alarme zona 1*", "*alarme zona* 2", ... "*alarme*

zona 11”. Adicionalmente, um outro sinal é enviado ao módulo de monitoração, habilitando as transições t11, t13, ..., t15 que, quando disparadas, desligam os indicadores de alarme no módulo de controle. Um outro sinal é enviado para habilitar as transições t17 e t19, que, quando disparadas, desligam, respectivamente, os equipamentos de pressurização das escadas e liberação das portas de escape e habilitam as transições t21, t23, ..., t25 para desligar as lâmpadas estroboscópicas e sirenes.

Para finalizar, a transição t26 é habilitada, de modo que, quando disparada, tem-se uma marca no box “ligado” e as marcas nos boxes “*stand* by *zona 1*” “*stand* by *zona 2*”, ... “*stand by zona 11*” que não foram ativadas são removidas (através do disparo das transições t27, t28..., t29).

5.5 Etapa 5: Análise dos modelos

Uma vez gerados os modelos em MFG das diferentes estratégias do SPTCI, se procede a sua análise, isto é, validação e verificação. Considerou-se que para ilustrar as vantagens e limites do procedimento proposto, o mais adequando seria selecionar algumas zonas para sua aplicação. Assim e pelas características do quarto pavimento (isto é, os diferentes serviços que apresenta) (andar 5) do PAMB, as áreas em questão foram consideradas.

No quarto pavimento (zona 6) são realizados os seguintes serviços:

- marcação de consultas;
- consulta médica a pacientes;
- arquivo médico (arquivos em papel);
- farmácia (venda de medicamentos);
- salas administrativas.

Como exemplos de aplicação, são analisados as estratégias de ativação do sistema de bombas contra incêndio e a estratégia de ativação do sensor de vazão de água quando é acionado um *sprinkler* localizado no arquivo médico.

A. Análise da estratégia de ativação do sistema de bombas contra incêndio

O acionamento do *sprinkler* origina uma queda de pressão na linha de água de hidrantes e *sprinkler*s (de 170 psi para 155 psi), medida pelo pressostato (vide Tabela 5.3) segundo a estratégia de ativação do sistema de bombas contra incêndio.

Validação

Por questões prácticas de simulação, o módulo dos sensores foi modelado de tal forma que permita sinalizar aleatoriamente quatro valores de pressão (175, 170, 160 e 155 psi) da linha de hidrantes e *sprinklers*.

Foi definido, inicialmente, o estado inicial do modelo: a linha de água do sistema pressurizado está a 175 psi, e que o módulo do controlador automático do sistema de pressurização e as bombas *jockey* e principal encontram-se desligadas.

Em seguida foi ligado o sistema automático de pressurização para dar inicio à estratégia de funcionamento. Isto deveria posicionar o sistema no estado *stand by,* isto é, pronto para receber os sinais do pressostato da linha de água contra incêndio. Quando a pressão da linha desce a 160 psi, o módulo de controle deveria ligar a bomba *jockey*. Se a pressão da linha de hidrantes e *sprinklers* é restabelecida a 170 psi, o módulo de controle deveria desligar a bomba *jockey*. Se a pressão cair para 155 psi, originado pela apertura do *sprinkler*, se iniciaria o funcionamento da bomba principal com o objetivo de aumentar a pressão na linha de água para combater o foco do incêndio. Quando a pressão aumenta 170 psi, o módulo de controle deveria desligar a bomba principal e *jockey*.

Os resultados obtidos a partir da simulação do modelo (Figura 5.13) demonstram que o sistema de bombas contra incêndio apresentou um comportamento esperado diante da abertura do *sprinkler* no arquivo médico (zona 6). Uma das telas geradas pelo software de simulação do modelo do sistema de bombas contra incêndio é apresentada na Figura 5.20.

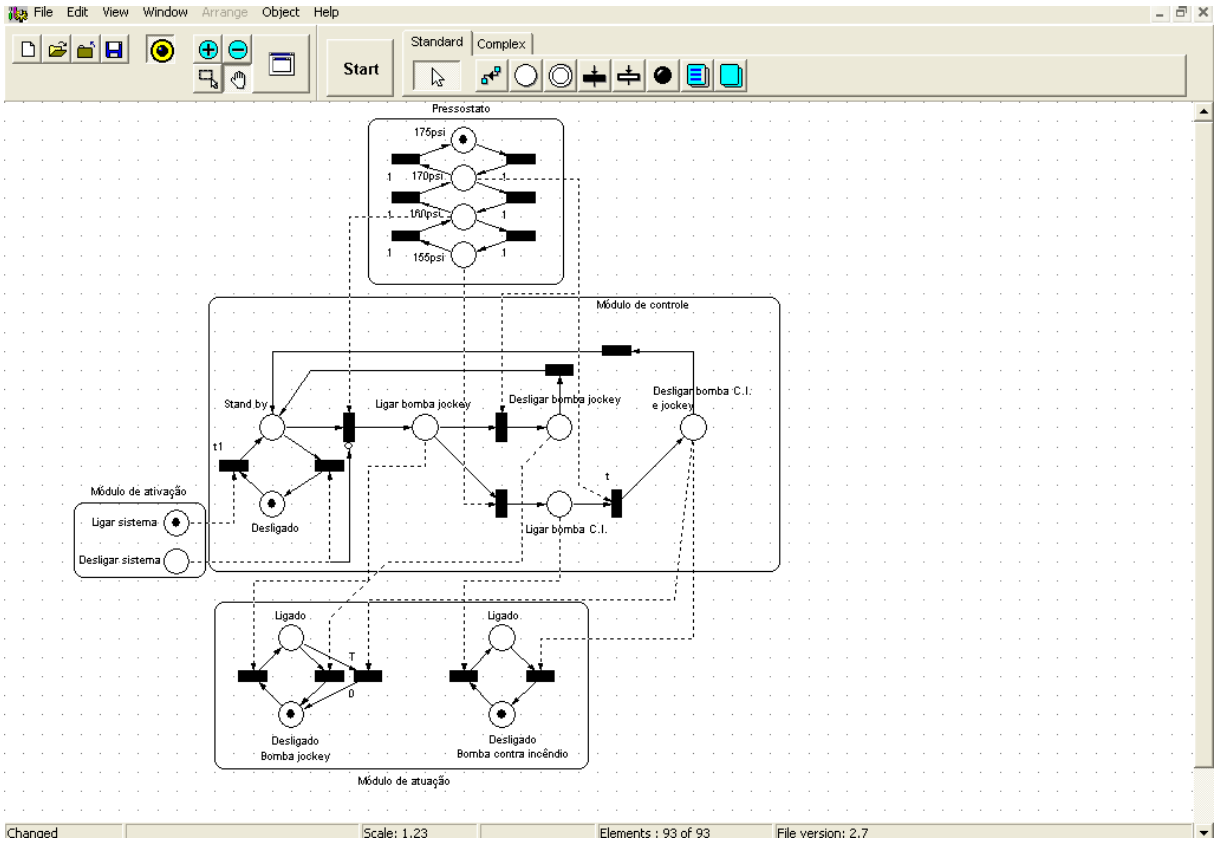


Figura 5.20 - Modelo do Sistema de bombas contra incêndio em *Visual Object Net++*

Verificação

O enunciado da propriedade de alcançabilidade considerada foi: a abertura do *sprinkler* no arquivo médico deve conduzir ao acionamento da bomba contra incêndio principal. A restrição considera que o módulo de controle está em *stand by* e as bombas *jockey* e principal estão desligadas. A hipótese considera que a abertura de no mínimo um *sprinkler* origina uma queda de pressão na linha de hidrantes e *sprinkler*s inferior ou igual a 155 psi. Como resultado, o módulo de controle envia um sinal ao módulo de acionamento para ligar a bomba principal.

A simulação do modelo mostra que a restrição é atendida e verifica-se que segundo os estados alcançados, quando a pressão da linha é de 155 psi, a bomba principal é efetivamente ligada.

O enunciado da propriedade de segurança considerado foi: A bomba contra incêndio principal nunca pode ser ligada antes da bomba *jockey*. A restrição considerada é a mesma que no caso da análise da propriedade de alcançabilidade, isto é, que o módulo de controle está em *stand by* e as bombas *jockey* e principal estão desligadas. A simulação do modelo mostra que se o pressostato detecta uma pressão de 160 psi, a bomba *jockey* é ligada para tentar restabelecer a pressão para 170 psi. Se isso não ocorre e a pressão da linha cai para 155 psi, a bomba contra incêndio principal é ligada.

Os resultados da verificação do modelo funcional desta estratégia confirmaram o correto comportamento da estratégia modelada.

B. Análise da estratégia de ativação de detector de vazão de água

A abertura do *sprinkler* é detectada pelo sensor de vazão de água da zona 6 (vide Tabela 5.4). Segundo a estratégia de ativação do sensor de vazão de água estabelecida na etapa 2, o módulo de controle deverá realizar as seguintes atividades:

- ligar a lâmpada estroboscópica e sirene do quarto pavimento (zona 6);
- ligar os indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle, indicando o alarme na zona 6;
- ativar as estratégias contra incêndio no sistema de gerenciamento e controle de acesso para pressurizar as escadas e liberar as portas de escape.

Validação

Foi definido, inicialmente, o estado inicial do modelo: os indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle, os detectores de vazão de água, as lâmpadas estroboscópicas e sirenes localizadas nas 11 zonas protegidas, a liberação das portas de escape e o sistema de pressurização das escadas encontram-se todos desligados.

Em seguida é acionada à estratégia de ativação de detector de vazão de água, posicionando o sistema nos estados “stand by zona 1”, stand by zona 2”, ...”stand by zona 11”. Quando uma marca é colocada no box “zona 6”, indicando o acionamento do detector de vazão de água na zona 6, o sistema deveria passar do estado “stand by zona 6” para o estado “alarme zona 6”.

Neste estado, o módulo de controle enviaria um sinal para ligar os indicadores audiovisuais de alarme no módulo de controle e acionar a lâmpada estroboscópica e a sirene localizada no quarto andar (zona 6). Adicionalmente, o módulo de controle enviaria um sinal aos sistemas de gerenciamento e controle de acesso para pressurizar às escadas e liberar as portas de escape. Uma das telas geradas pelo software simulando o modelo dinâmico da estratégia de ativação do detector de vazão de água (Figura 5.19) é apresentada na Figura 5.21.

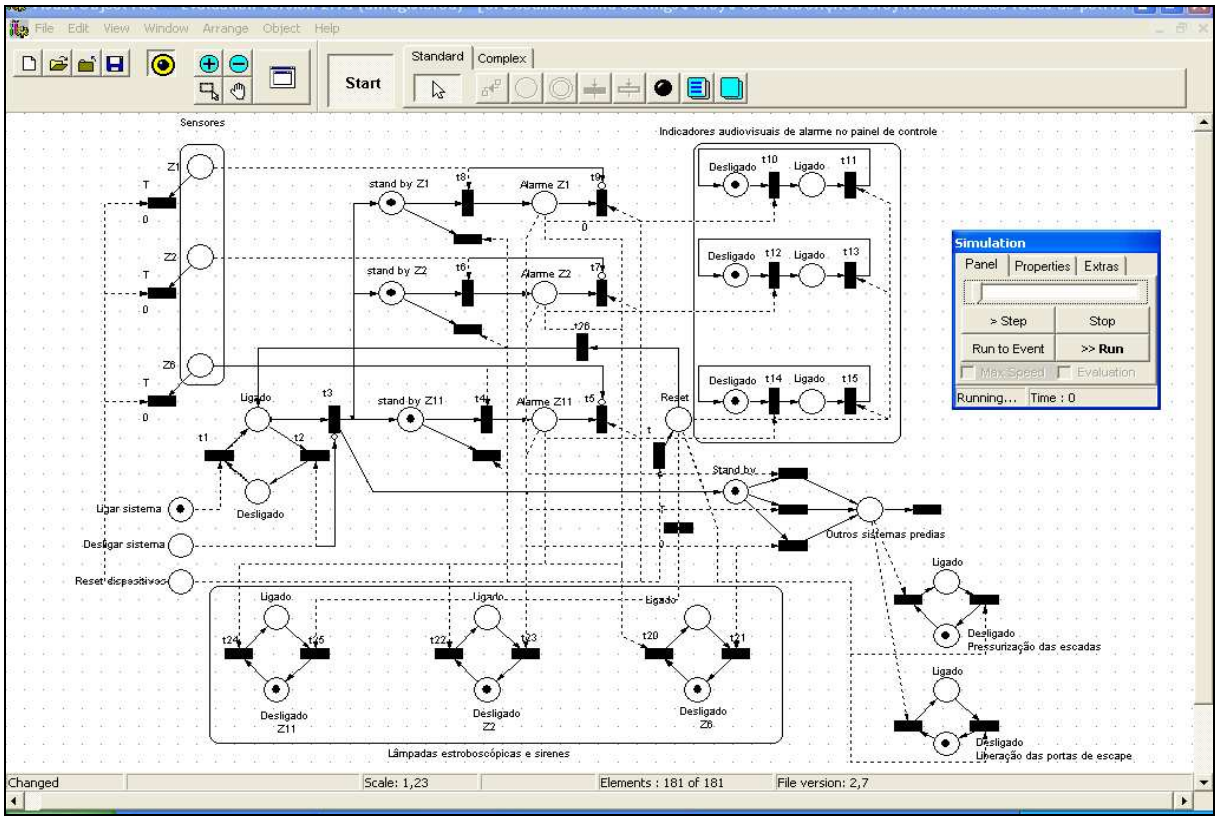


Figura 5.21 - Modelo da estratégia de ativação de detector de vazão de água da linha de hidrantes e *sprinkler*s em *Visual Object Net++*

Os resultados obtidos a partir da simulação demonstram que o modelo apresentou um comportamento esperado diante da abertura do *srpinkler* no arquivo médico (zona 6), onde foi observada a efetiva integração entre os diversos sistemas prediais presentes.

Verificação

O enunciado da propriedade de alcançabilidade considerada foi: depois da abertura do *sprinkler* no arquivo médico (zona 6), é acionado um outro *sprinkler* no laboratório central (zona 5). Como resultado, o módulo de controle deveria de acionar o indicador audiovisual de alarme no módulo de controle, indicando o acionamento de alarme na zona 5. Adicionalmente, a lâmpada estroboscópica e sirene do laboratório central têm que ser ativadas.

A restrição considera que o indicador audiovisual no módulo de controle indica o acionamento de alarme na zona 6 e que a lâmpada estroboscópica e sirene localizadas no quarto andar estão ligadas. Adicionalmente, que as escadas estão presurizadas e as portas de escape estão liberadas.

A simulação do modelo mostra que a restrição é atendida e verifica-se segundo os estados alcançados que quando o *sprinkler* no laboratório central é aberto, o módulo de controle liga a lâmpada estroboscópica e a sirene na zona 5 e, o indicador audiovisual de alarme no módulo de controle indica o acionamento do alarme na zona 5.

5.6 Considerações do capítulo

Neste capítulo foi apresentado um exemplo de aplicação do procedimento proposto no Capítulo 4, para modelar e analisar o SPTCI do prédio dos ambulatórios (PAMB) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). Assim, procura-se apresentar como são desenvolvidos os modelos do sistema iniciando com um modelo estrutural do sistema, para depois derivar os modelos conceituais em PFS refinado-os em modelos funcionais em MFG. Finalmente foi também apresentada uma amostra de como foi realizada a análise, validação e verificação dos modelos considerando as propriedades da rede de Petri e técnicas de simulação.

6. CONCLUSÕES FINAIS E CONTINUIDADE DO TRABALHO

A integração dos sistemas prediais dentro da abordagem dos edifícios inteligentes (EI) é considerada um elemento essencial para a otimização dos serviços do edifício. Entre estes serviços, este trabalho considerou particularmente a proteção técnica contra incêndio, cuja importância é evidente no sentido que a eficiência do seu funcionamento afeta diretamente a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio. Neste contexto, o trabalho propõe um procedimento para a modelagem e análise de estratégias de controle do SPTCI no contexto de EI.

Para atingir o objetivo acima, foi introduzido o uso dos modelos conceituais e funcionais, cuja finalidade é facilitar á construção de um modelo global do SPTCI considerando sua integração com os outros sistemas prediais, para sua posterior implementação. O desenvolvimento do procedimento de modelagem envolve o teste de diferentes propostas em estudos de caso cujos dados estavam em sua maioria disponibilizados em publicações.

Os estudos de caso avaliados confirmaram a utilidade e eficiência das redes de Petri interpretadas como o PFS e o MFG para a modelagem e análise de sistemas prediais, especificamente dos SPTCIs. Confirmando-se assim, a possibilidade de se utilizar a metodologia PFS/MFG para o auxilio a projetos (modelagem, análise e especificação) em sistemas prediais ao permitir a efetiva compreensão das funcionalidades do sistema e explicitando as interações entre os diferentes dispositivos envolvidos.

A metodología PFS/MFG também confirmou através da especificação do modelo funcional, ser efetiva para definir as funções de controle para o projeto de controladores

programáveis, facilitando desta forma a implementação do controle e a integração do SPTCI com os outros sistemas prediais.

O método proposto é valido para sistemas centralizados, onde o módulo de controle realiza todas as estratégias de controle em situações de emergência, porém, este método pode ser estendido aos sistemas distribuídos. Neste tipo de arquitetura, a estratégia de funcionamento de cada dispositivo pode ser modelada através do uso dos modelos conceituais e funcionais.

Os estudos conduzidos indicam que o procedimento proposto apresenta as seguintes características:

- estabelece uma forma sistemática para a abordagem do SPTCI e a construção dos modelos de suas estratégias, os quais podem ser usados para a verificação do sistema e sua implementação;
- representa as características funcionais do sistema de modo claro e uniforme;
- representa o sistema do nível conceitual ao detalhado segundo a estrutura hierárquica das atividades do sistema, considerando aspectos de modularidade, flexibilidade e capacidade de expansão.

No entanto, uma efetiva integração com os outros sistemas prediais inclui a manipulação de um grande número de variáveis e de diferentes tipos de sinais. Trabalhos como Bastidas (2005), indicam que conceitos de orientação a objetos e sistemas de controle distribuído, desempenham um papel importante no projeto das funções supervisoras nos edifícios inteligentes. Por outro lado, estudos sobre o fogo e o comportamento humano em situações de emergência (VILLANI; KANESHIRO; MIYAGI, 2006) indicam que conceitos de sistemas híbridos e incertezas são também relevantes no gerenciamento das estratégias de controle nos prédios.

De acordo com a experiencia alcançada na elaboração do presente trabalhos, são sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- aprofundar o estudo da combinação de conceitos como orientação a objetos, sistemas de controle distribuido e sistemas híbridos para o desenvolvimento de um procedimento geral de projeto de sistemas supervisórios para edifícios inteligentes;
- adaptação do procedimento para gerar a especificações das estrategias do módulo de controle do SPTCI;
- desenvolver módulos de controle do SPTCI a partir das estrategias modeladas em MFG;
- desenvolvimento de uma ferramenta de simulação baseada na metodologia PFS/MFG;
- adaptação do procedimento de modelagem e análise às redes de controle distribuidas, visando à implementação nas redes de controle Lonworks.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9441**: Sistema de Detecção e Alarme de Incêndio: documento. Rio de Janeiro, 1998.

ALVARES, R. **Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: Edifícios inteligentes**. 2002. 144f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

ARAKAKI, J. **Análise de Sistema de Manufatura através da Metodologia MFP/PFS e Regras de Produção**. São Paulo, 1993. 114f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1993.

ARAKAKI, J.; SANTOS FILHO, D. J.; MIYAGI, P. E. Análise de sistemas integrados de manufatura baseada na metodologia MFG/PFS. In: WORKSHOP IBERO-AMERICANO DE SISTEMAS EM ROBOTICA E CIM. 1992, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Robótica e automação, 1992. p.19-24.

ARAKAKI, J.; MIYAGI, P. E.; SANTOS FILHO, D. J. Aplicação da metodologia PFS/MFG na modelagem de sistemas de edifícios inteligentes. In: WORKSHOP SOBRE EDIFÍCIOS INTELIGENTES. 1998, Varadero. **Anais...** Varadero: UNINOVA/CYTED, 1998. p. 98-100.

ARATA, W. **Representação computacional de sistemas a eventos discretos considerando a heterogeneidade e a integração dos modelos**. São Paulo, 2005. 188f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARKIN, H.; PACIUK, M. Service Systems Integration in Intelligent Buildings; In: INTELLIGENT BUILDINGS CONGRESS. 1995, Tel-Aviv. **Proceedings…** Tel-Aviv, 1995. p. 19-30.

BASTIDAS, G. **Aplicação de Redes de Petri Interpretadas na modelagem de Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes**. São Paulo, 1999. 164f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BASTIDAS, G. **Modelagem e análise de sistemas distribuídos e abertos para automação predial**. São Paulo, 2005. 196f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BOLZANI, C. A. **Residências inteligentes**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 327p.

BUSHBY, S. T. Integrating: Fire Alarm Systems with Bilding Automation and Control Systems. **Fire Protection Engineering**. n.11, p.5-11, 2001.

CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997. 220p.

CASSANDRAS, C. **Discrete event systems: Modeling and performance analysis**. Boston: Irwin Publications, 1993.

CASTRO, N.; **Edifícios de alta tecnologia.** São Paulo: Editora Carthago e Forte, 1994. 174p.

CHAPMAN, R.E. **Benefits and Costs of Research: A case study of Cybernetic Building Systems**. NITS report. NISTIR 6303, 1999.

DAVID, R.; ALLA, H. **Petri Nets and Grafcet - Tools for Modelling Discrete Event Systems**. Londres: Prentice Hall, 1992. 339p.

DIAS, C. L. Domôtica: aplicabilidade às edificações residenciais. **Revista Vértices**, v.6, n.3, 2004. 24p.

DIAGNE, A.; ESTRAILLIER, P. **A component-based framework for the specification, verification and validation of open distributed systems**. Rapport de Recherche, 1997. 18p.

DRATH, R. Petri-Net-CADKAE-Tool: Visual Object Net ++. Version 2.6. 1999. Disponivel em: <http://www.r-drath.de/VON/von_e.htm> Acesso em: 20 de Abr.2006.

JENSEN, K.; Coloured **petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use.** Berlin: SpringerVerlag, 1992. 265p.

JUNQUEIRA, F.; **Modelagem de sistemas flexíveis de movimentação de materiais através de redes de Petri interpretadas**, 2001. 128f. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

KAGOHARA, M. Y. **Aplicação da Metodologia PFS/MFG a sistemas de produção enxuta (Lean Manufacturing Systems)**. 1998. 149f. São Paulo, Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

KRONER, W. M., An intelligent and responsive architecture. **Automation in Construction**, v. 6, p. 381-393, 1997.

KIRBY, R.; Integrated building systems. **International fire Protection (IFP) Magazine**, Issue 4, nov 2000.

LIU, W.; MIYAGI, P.E; SCHREEK, G. MFG/PFS methodology in manufacturing industries. **Studies in Informatics and Control**, v.3, n.2-3. p.195-200. 1994.

LIU, Z.G.; MAKAR, J. M.; Development of fire detection systems in the intelligent buildings. In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATIC FIRE DETECTION, 2001, Maryland. **Proceedings...** Maryland: National Institute for Standards and Technology Research in Construction, 2001.

LONMARK ASSOCIATION. Site. Disponível em: <http://www.lonmark.org/>, Acesso em: 14 de ago.2006.

FLAX, B., Intelligent building. **IEEE Communications Magazine**, v.29, n.4, p.24-27, 1991.

FINLEY, M.; KARAKURA, A.; NBOGNI, R. Survey of Intelligent Building Concepts. **IEEE Communications Magazine**. v.29, p.18-23, 1991.

FRANCO, L.R. Uma visão geral sobre fielbuses. **Eletricidade Moderna**. Disponível em: <http://www.labfield.unifei.edu.br/pub.htm> Acesso em: 13 de ago. 2006.

GOMES, L.F. **Redes de Petri Reativas e Hierárquicas- integração de formalismos no projeto de sistemas reativos de tempo real**. Lisboa, 1997. 240f. Tese (Doutorado) – Universidade Nova de Lisboa, 1997.

HASEGAWA, K. Modeling, Control and Deadlock Avoidance of FMS. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. São Paulo, 1996. **Conferências plenárias...** São Paulo, p. 37-51, 1996.

HASEGAWA, K.; MIYAGI, P.E..; TAKAHASHI, K. Mark Flow Graph (MFG) para modelamento e controle de sistemas de eventos discretos. **Monografias em Automação e Inteligência Artificial**. São Paulo. v.1, n.1, p.1-10, 1989.

MEISSNER, U. et al. Network-based co-operation processes for fire protection planning. **Digital Library of Construction Informatics.** paper w78-2003-231, 2003.

MARTE, C.L. **Estudo e Análise das Unidades Funcionais Remotas no Controle Distribuído em Processo de Automação Predial**. São Paulo, 1994. 171f. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994.

MIYAGI, P. E. **Controle programável:** fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 194p., 1996.

MIYAGI, P.E.; et al., Petri net approach for modeling system integration in intelligent buildings. **Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences**, Rio de Janeiro: ABCM, v. 23, n.4, p.341-350, 2002.

MOORE, K. E., BRENNAN, J. E. Alpha/SIM Simulation Software Tutorial. In: 1996 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedings…**New York: WSC, 1996.

MURATA, T. Petri Nets - Properties, Analysis and Applications. In: IEEE, **Proceedings…** v.77, n.4, 1989.

NEVES, R.P. **Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: os edifícios inteligentes**. São Carlos, 2002. 144f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NFPA., **Fire Protection Handbook**, 16th edition. Quincy, Massachusetts, 1997.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 101:** Life Safety Code, Quincy, Massachusetts, 2000.

OLENICK, S.M.; CARPENTER, D.J., An updated international survey of computer models for fire and smoke, **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 13, n.2, p.87-110, 2003.

PEREIRA, G.A. **Sistema experimental de monitoramento e controle para casas de vegetação baseado em redes de controle distribuído LonWorks**. 2006. 125f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2006.

PETERSON, J. L. **Petri Net Theory and the Modelling of Systems**. New Jersey, Prentice Hall Inc., 1981.

PINHEIRO, J. M. **A evolução da revolução**. Disponível em: <http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_evulocao_da_revolucao.php.> Acesso em:13/08/2006

PORTAL FLEX. São Paulo, Edifícios Inteligentes, Standard do século XXI. Disponível em:<http://www.flexeventos.com.br/detalhe_01.asp?url=artigos_edificios_futuro.asp> Acesso em: 3 de jan. 2006.

RAMADGE, P.J.; WONHAM, W.M., The control of discrete event systems. In: IEEE, 1989. **Proceedings…** v.77, n. 1, 1989.

REISIG, W. **A Primer in Petri Design**. Berlin: Springer-Verlag, 1992.

RIASCOS, L.A.; MIYAGI P.E. Supervisor system for detection and treatment of failures in balanced automation systems using Petri nets. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS. Tucson, 2001. **Proceedings...** Tucson, AZ: IEEE-SMC´2001, p.2528-2533, 2001.

SANTOS FILHO, D. J. **Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a modelagem e controle de sistemas integrados de manufatura.** 1993. 155f. São Paulo, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

SANTOS FILHO, D.J. **Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas.** 1988, 287f. São Paulo, Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SARAMAGO, M.A.P. **Integração de dispositivos inteligentes utilizando conceitos de domótica direcionados a automação hospitalar**. 2002, 224f. Campinas, Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas. São Paulo, 2002.

SEILA, A. Introduction to simulation. In: 27th WINTER SIMULATION CONFERENCE. Arlington, 1995. **Proceeding…** New York, 1995.

SILVA, M. **Las Redes de Petri:** en la Automática y la Informática. Madrid: Editorial AC, 1985.

SPÓSITO, J. I. Apoio à manutenção, controle de energia e prevenção de incêndio. **Eletricidade Moderna**, São Paulo.n.220, p.28-50, 1992.

VALENCIA R., **Modelagem de sistemas C3I para navios de guerra através de redes de Petri**. 2004. 185f. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VASSILIS, G.; ACHILLES, K.; PANAYOTIS, P. Comparative study and categorization of high-level Petri Nets. **Journal of Systems and Software**, v. 43, n. 2, p.133-160, 1997.

VILLANI, E. **Abordagem híbrida para modelagem de sistemas de ar condicionado em edificios inteligentes**. 2000. 154f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

VILLANI, E. **Modelagem e análise de sistemas supervisorios híbridos**. São Paulo, 2004. 339f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VILLANI, E; KANESHIRO, P.I.; MIYAGI, P.E. Uncertainty in Hybrid Systems and the Fire Management System Design. In: 16th IFAC WORD CONGRESS, 2005, Prague. **Proceedings…** Prague: IFAC, 2005.

VILLANI, E; KANESHIRO, P.I.; MIYAGI, P.E. Hybrid Stochastic Approach for the Modelling and Analysis of Fire Safety Systems. **Journal Nonlinear Analysis**, Amsterdam, v. 65, n.6, p.1123-1149, 2006.

WANG, S.W.; et al., Intelligent building research: a review. **Automation in Construction**, v.14, n.1, p.143-159, 2005.

WANG, S; XIE, J. Integrating Building Management System and facilities management on the internet. **Automation in construction**, issue 6, v.11, p. 707-715, 2002

ZURAWSKI, R.; ZHOU, M. Petri nets and industrial applications : a tutorial. **IEEE Transactions on Industrial Electronics.** v.41, n.6, p.567-583, 1994.

8. ANEXO A

Neste anexo são apresentados os modelos estruturais, conceituais e funcionais que conformam as estratégias do SPTCI do PAMB, que não foram apresentas no exemplo de aplicação.

A.1 Modelos da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM-200

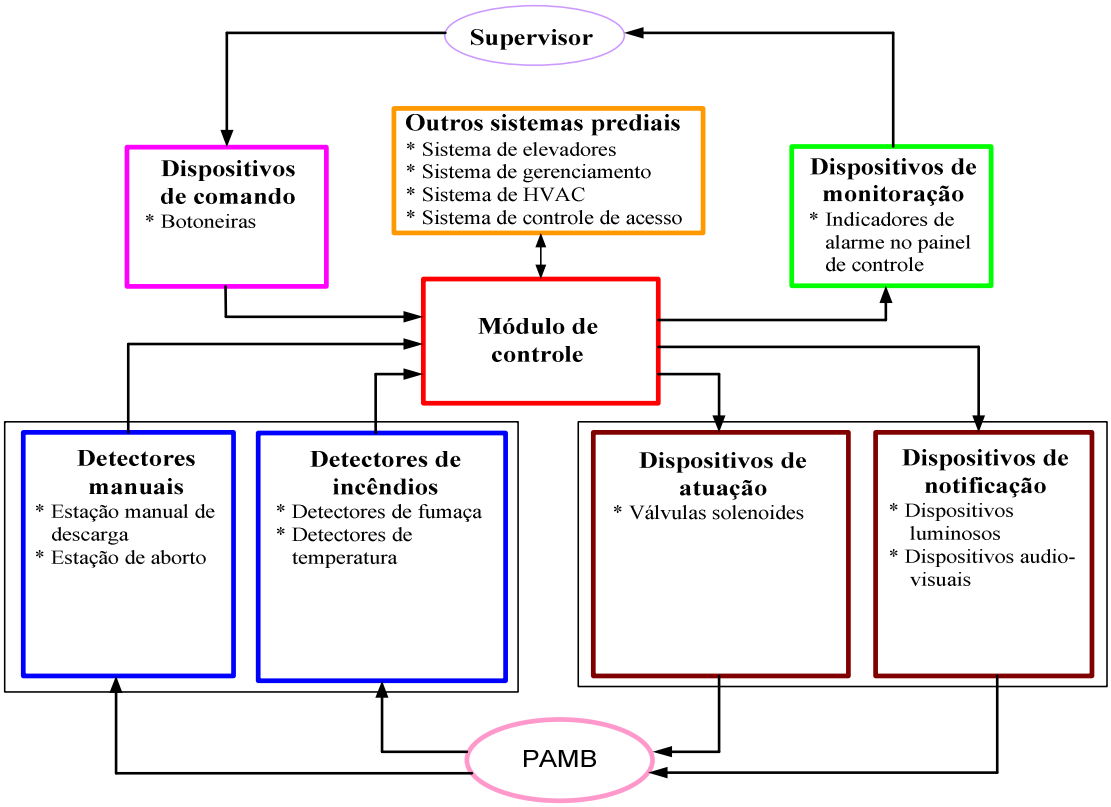


Figura A.1 - Modelo estrutural da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200

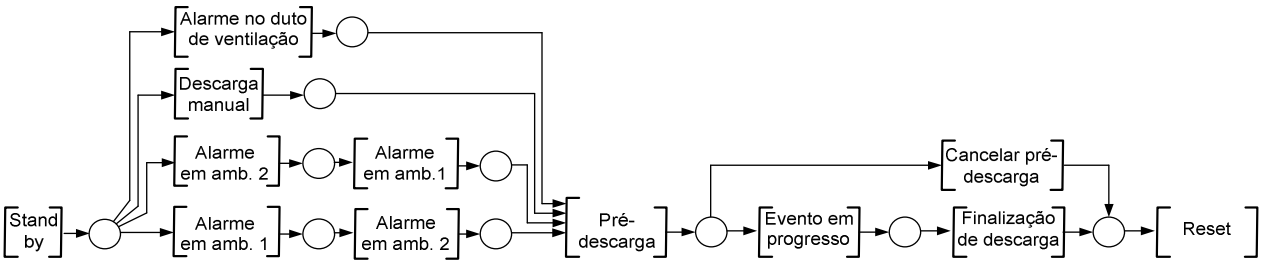


Figura A.2 - Modelo conceitual da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200

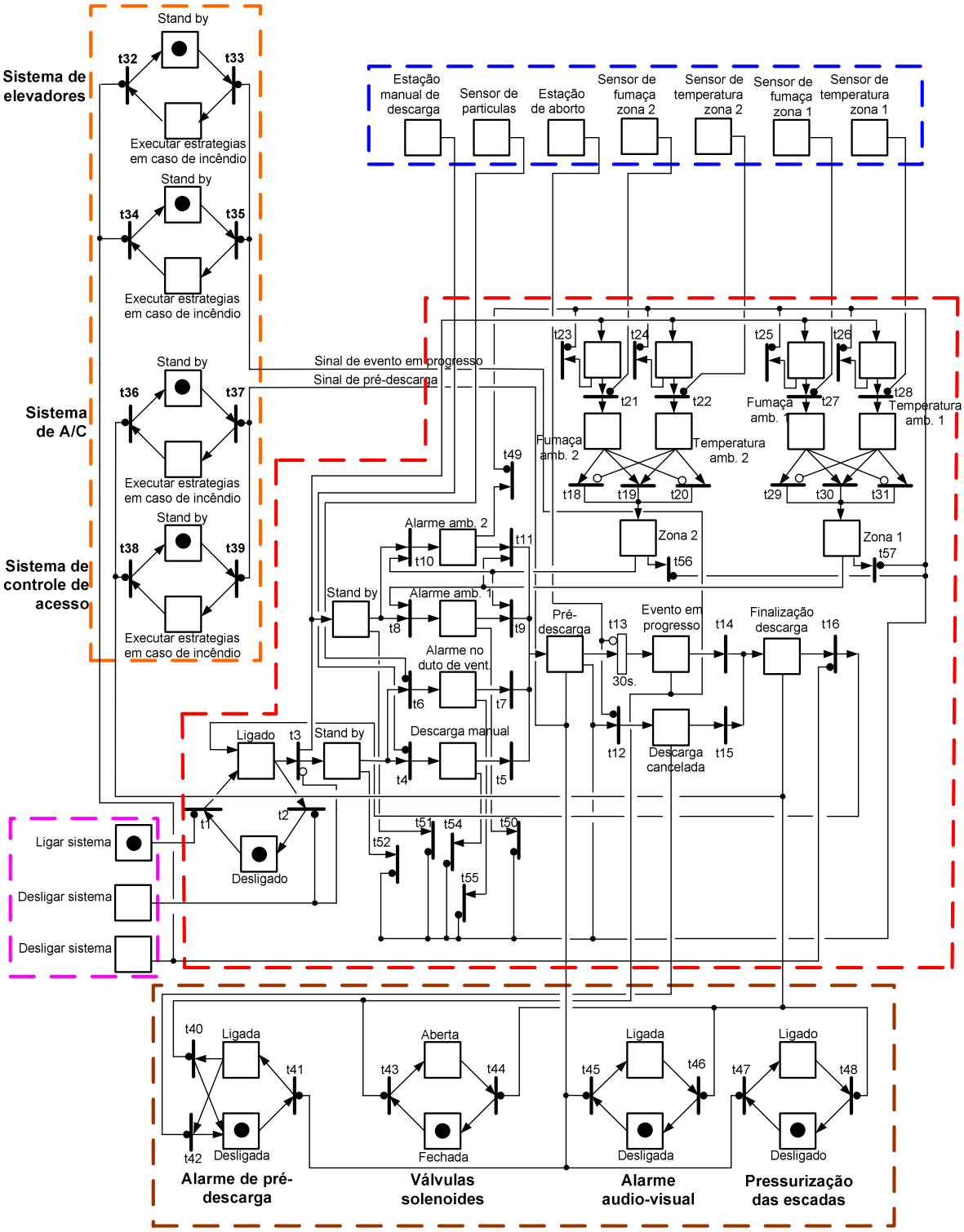


Figura A.3 - Modelo funcional da estratégia de funcionamento do sistema de combate a incêndio por gás FM200

A.2 Modelos da estratégia de ativação de estação manual de alarme

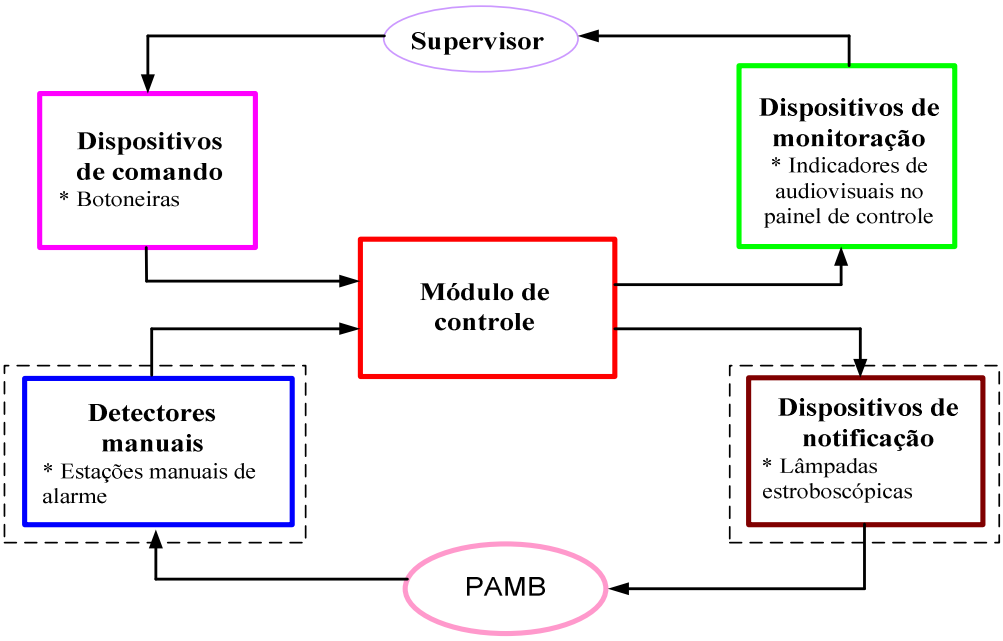


Figura A.4 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de estação manual de alarme

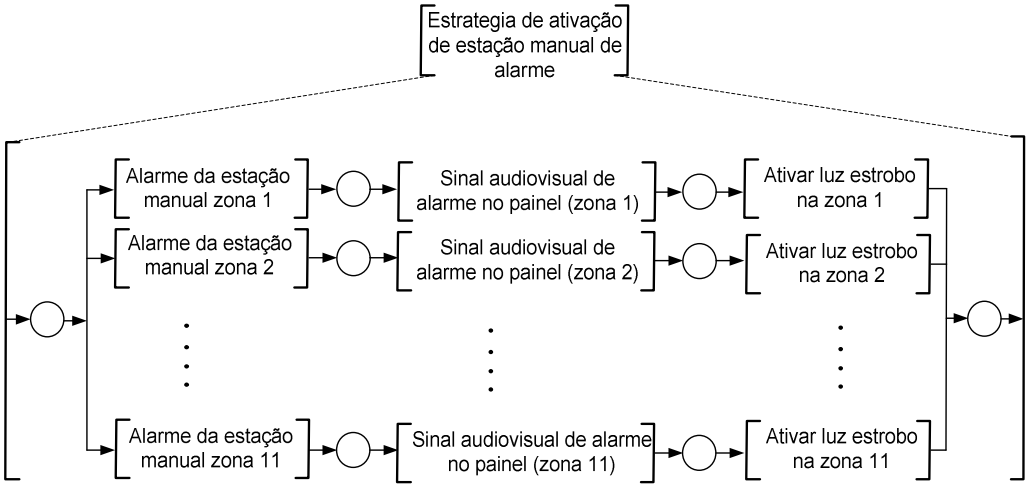


Figura A.5 - Modelo conceitual da estratégia de ativação da estação manual de alarme

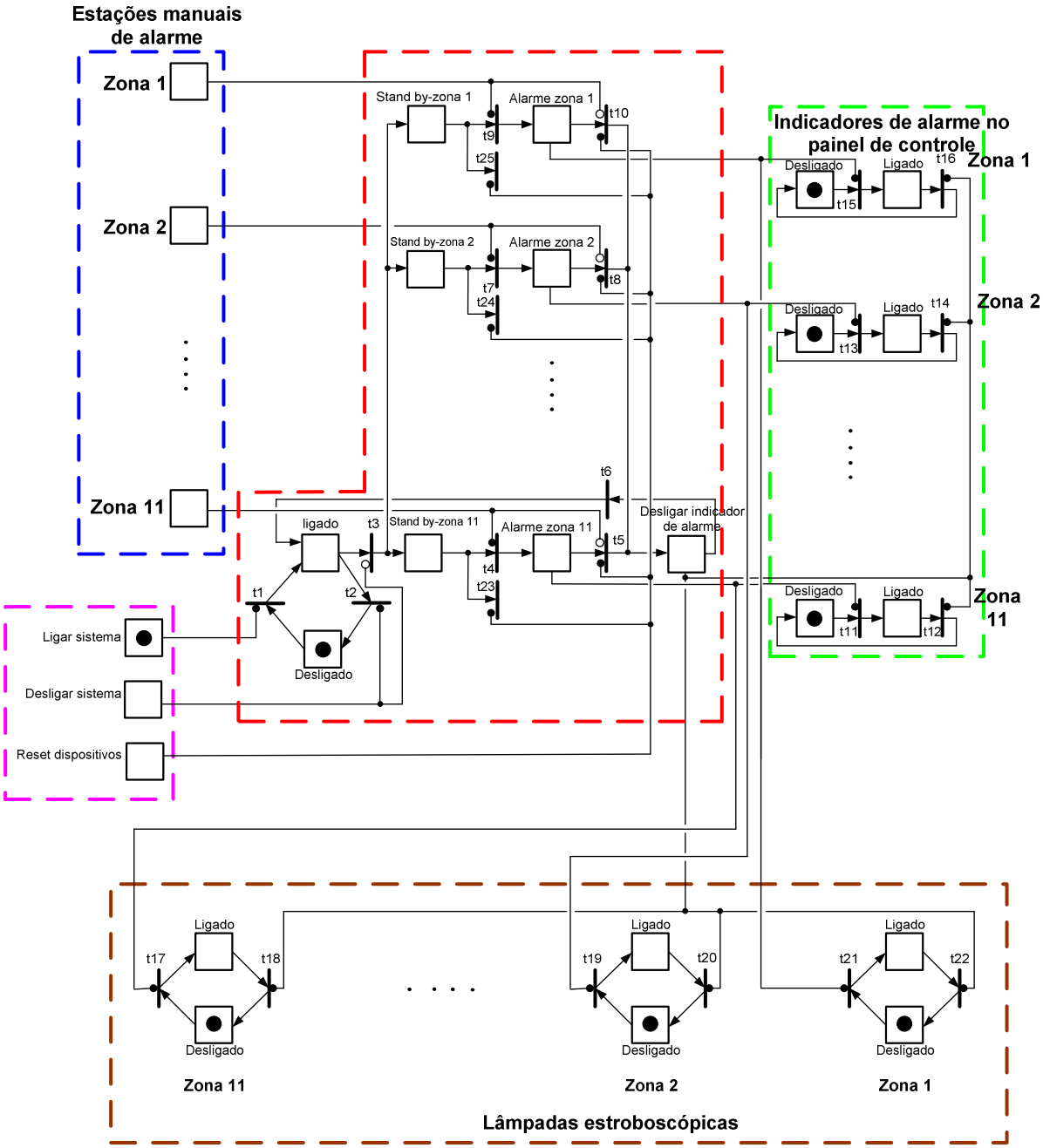


Figura A.6 - Modelo funcional da estratégia de ativação de estação manual de alarme

A.2 Modelos da estratégia de ativação de estação manual de alarme

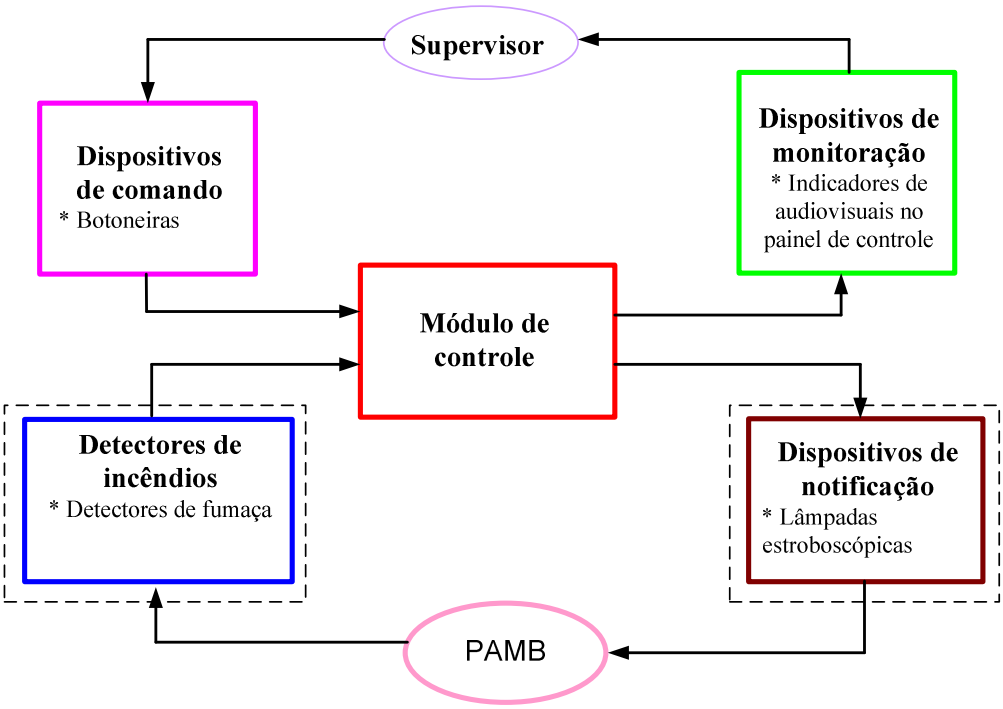


Figura A.7 - Modelo estrutural da estratégia de ativação de detector de fumaça

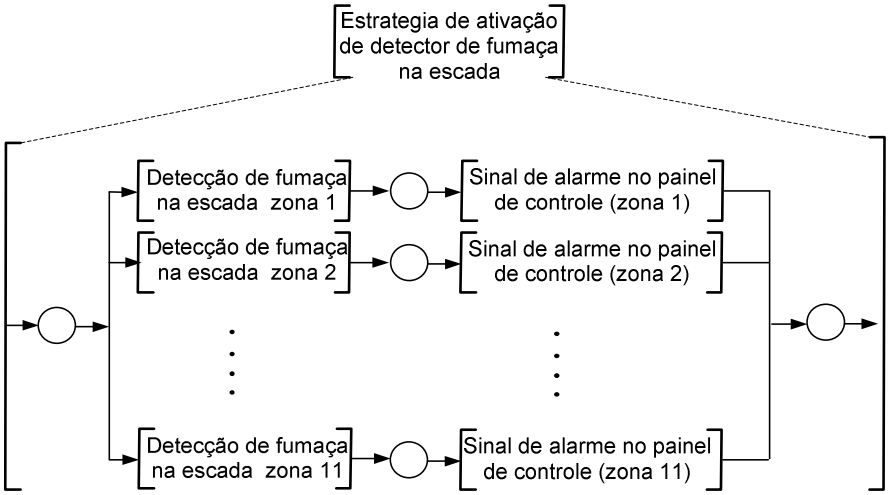


Figura A.8 - Modelo conceitual da estratégia de ativação de detector de fumaça na escada

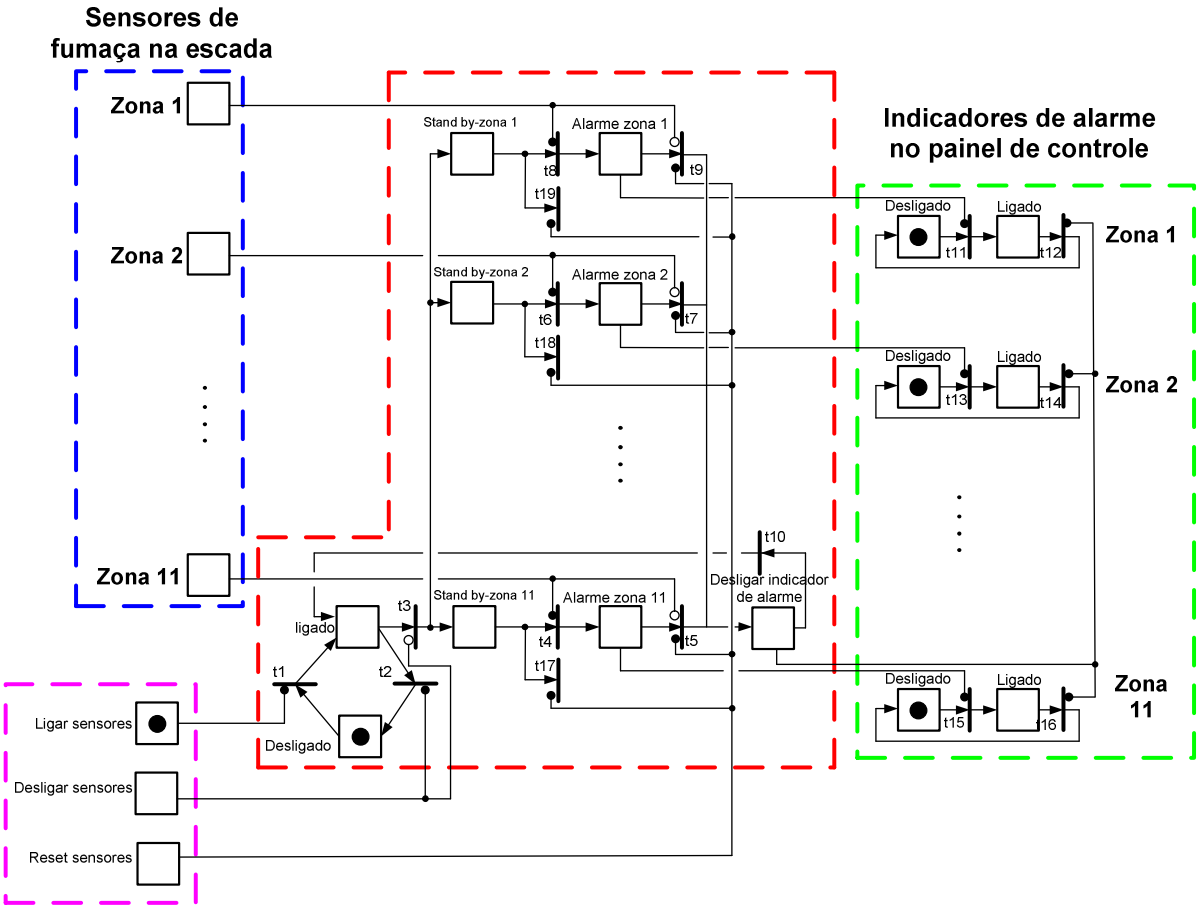


Figura A.9 - Modelo funcional da estratégia de ativação de sensor de fumaça na escada

9. APÊNDICE I – Trabalhos Publicados

Hybrid Stochastic Approach for the Modelling and Analysis of Fire Safety Systems.
VILLANI, Emilia ; KANESHIRO, P. I. ; MIYAGI, P. E.
Revista Nonlinear Analysis. Theory, Methods and Applications, Amsterdam, v. 65, n. 6, p. 1123-1149, 2006.

Modelagem e Analise de Sistemas Contra Incêndio em Edifícios Inteligentes.
KANESHIRO, P. I. ; VILLANI, Emilia ; MIYAGI, P. E.
In: XVI CBA Congresso Brasileiro de Automática, 2006, Salvador, BA. Anais. Salvador, BA : SBA, 2006. p. 881-886.

Uncertainty in Hybrid Systems and The Fire Management System Design.
VILLANI, Emilia ; KANESHIRO, P. J. I. ; MIYAGI, P. E.
In: 16th Triennial World Congress of the IFAC, 2005, Prague. Preprints. Praha : IFAC, 2005.

Modeling of Fire Protection Systems in Intelligent Buildings.
KANESHIRO, P. I. ; MIYAGI, P. E. ; VILLANI, Emilia.
In: COBEM XVIII International Congress of Mechanical Engineering, 2005, Ouro Preto. Proceedings. Rio de Janeiro : ABCM, 2005.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo