ORGANIZAÇÃO
ALCONPAT BRASIL
www.alconpat.org.br
III SEMINÁRIO DE
PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
I CONFERÊNCIA LIVRE REGIONAL DE ENGENHARIA PARA A DEFESA CIVIL
LEME
PÓS ENG UFRGS
DO SUL
- ANAIS -
10 a 12 de dezembro de 2009
Hotel Embaixador | Porto Alegre - RS
APOIO
CAPES
CREA-RS
ISBN 978-85-63207-00-5
PATROCÍNIO
comatra

METODOLOGIA PARA A INVESTIGAÇÃO DE SINISTROS

Prof. Dario Lauro Klein
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Civil
Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais
Associação Brasileira de Patologia das Construções
dario@ppgec.ufrgs.br – www.alconpat.org.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma sugestão de Metodologia para a Investigação de Sinistros, baseada nas experiências adquiridas pelo grupo de pesquisas do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME da UFRGS, bem como analisa um caso real de sinistro ocorrido no Brasil.

É mostrada, também, a importância da aplicação de uma adequada metodologia, fundamentada em princípios científicos de análise de incêndios, objetivando sempre obter uma conclusão segura sobre as causas do sinistro.

Esta metodologia foi aplicada, em parte, na análise de um caso real de incêndio, ocorrido num prédio com 26 pavimentos destinados ao uso residencial e comercial.

Sobre este caso, são apresentadas as hipóteses sobre as possíveis causas do incêndio, baseadas na análise dos danos estruturais, evolução do incêndio, informações de testemunhas, dos bombeiros e dados sobre a edificação.

1. INTRODUÇÃO

Cabe salientar, em primeiro lugar, que a falta de informações sobre as causas de incêndios ocorridos no Brasil, é um grande problema para o setor.

O que se observa é que há uma necessidade urgente de se aplicar uma metodologia eficiente, baseada em princípios científicos de análise de incêndios, para a realização das perícias. Este procedimento leva o investigador a obter, com mais segurança, as prováveis causas dos sinistros em edificações, modificando desta forma as estatísticas brasileiras, as quais indicam que 52,6% das ocorrências, registradas pelos Corpos de Bombeiros do Brasil, correspondem à causa indeterminada (32,4%), causas não apuradas (20,2%) e somente 47,4% correspondem a causas apuradas.

A Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) publicou no seu Relatório Descritivo de 2006 as estatísticas indicadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Incêndios ocorridos no Brasil em 2004.

Local da ocorrência	Número de ocorrências	%
Edificações	42.511	30,9
Vegetações (florestas)	44.760	32,5
Veículos de transporte terrestre	10.629	7,7
Vazamentos de GLP	6.328	4,6
Outros tipos de incêndios	33.551	24,3
Total	137.779	100,0

Fonte: Relatório Descritivo do SENASP, 2006.

Pela Tabela 1.1 verifica-se que o número de ocorrências de incêndios em edificação é um pouco inferior ao de incêndios florestais, mas os primeiros originam danos muito mais significativos do que os incêndios florestais, pois, além de danos materiais, ocorrem perdas de vidas humanas.

Isto indica que deve ser dada muita atenção para este tipo de sinistro, reforçando ainda mais a importância de uma investigação correta para determinar as causas e indicar diretrizes para as ações de prevenção de novos incêndios.

Os 32.910 casos registrados de incêndios em edificações correspondem a apenas 23,9% do total de 137.779 incêndios.

Assim, apenas 11,3% dos incêndios ocorridos no Brasil, em 2004, tiveram suas causas identificadas (ver Tabela 1.2).

Tabela 1.2 – Origem dos incêndios registrados pelos Corpos de Bombeiros no Brasil em 2004 em edificações.

Causas de incêndio	Número de causas de incêndio estabelecidas	Percentagem (%)
Ação pessoal intencional	10.181	30,9
Ação pessoal acidental	247	0,8
Causa indeterminada	10.655	32,4
Ação de crianças	233	0,7
Fenômenos termoelétricos	2.508	7,6
Fenômenos naturais	25	0,1
Fenômenos químicos	333	1,0
Origem acidental	2.067	6,3
Causas não apuradas	6.661	20,2
Total	32.910	100,0

Fonte: Relatório Descritivo do SENASP, 2006.

O baixo número de ocorrências registradas, com identificação de suas causas, decorre da falta de qualificação de profissionais para a atividade de perícias e da falta de uma padronização de suas atividades, a qual permite uma análise mais precisa do sinistro.

Em geral, quem investiga o incêndio necessita de conhecimento técnico sobre a edificação sinistrada (comportamento estrutural sob ação de incêndio, comportamento dos materiais, disposições arquitetônicas dos ambientes atingidos); sobre as características do incêndio (comportamento da queima, dinâmica do incêndio), bem como sobre as origens das causas do incêndio.

A segurança das edificações contra o incêndio exige, das mesmas, baixo risco de ocorrência de incêndio, baixa probabilidade de mortos e feridos e mínimas perdas de materiais.

Para estabelecer que uma edificação seja segura é necessário uma regulamentação técnica e legal, uniforme em todo o país. A qualificação técnica dos profissionais, o uso de equipamentos eficazes de proteção passiva e ativa e a adoção de mecanismos institucionais e de gestão, compartilhado com

a sociedade, são importantes para cumprir a legislação e as normas técnicas. A segurança contra incêndios em edificações depende, também, das atividades de treinamento, conscientização, prevenção e combate a incêndios.

A qualificação técnica dos profissionais da área de incêndio está restrita a cursos de especialização na área de Engenharia. Atualmente, quem atua nesta área são os engenheiros e arquitetos.

É raro encontrar, em cursos de graduação, disciplinas específicas desta área. Observa-se que em algumas disciplinas existem alguns tópicos relacionados com combate a incêndios por hidrantes ou mangotinhos, com carga horária reduzida.

Portanto, é necessário criar um curso de graduação na área de Engenharia de Incêndios que possa qualificar civis e militares (bombeiros).

Esta iniciativa preencherá uma lacuna existente nesta área do conhecimento, podendo formar profissionais qualificados, evitando assim a atuação dos profissionais, de forma superficial e burocrática, simplesmente para atender as exigências legais.

É necessário também, incentivar as Instituições de Ensino Superior a fomentarem grupos de pesquisa na área de incêndio, contribuindo com novas técnicas de investigação e análise de danos oriundos dos incêndios.

2. OBJETIVOS

Com o intuito de padronizar as atividades dos investigadores de estruturas sinistradas pelo incêndio, apresenta-se a metodologia abaixo descrita, a qual permite atingir os objetivos principais que são:

a) Investigar as causas do sinistro;
b) Estimar a resistência residual dos materiais e elementos estruturais constituintes da edificação;
c) Formular um diagnóstico seguro e preciso;
d) Indicar soluções para a recuperação, reforço ou demolição da edificação.

A metodologia sugerida vai mais além do que simplesmente determinar as causas do sinistro. Ela determina também o grau de degradação da edificação, indicando a percentagem das áreas atingidas e que deverão ser reforçadas, recuperadas ou demolidas.

A aplicação desta metodologia pode ser feita nos mais diferentes tipos de edificações, desde os mais simples (residências unifamiliares) às mais complexas (edifícios de mediana altura e de grande altura).

3. METODOLOGIA

Para analisar estruturas danificadas pelo fogo, é conveniente utilizar uma metodologia para sistematizar as atividades de determinação das causas do sinistro, bem como para formular corretamente um diagnóstico e projeto de recuperação e reforço da edificação.

A Figura 3.1 apresenta um fluxograma de etapas a serem seguidas para este tipo de análise.

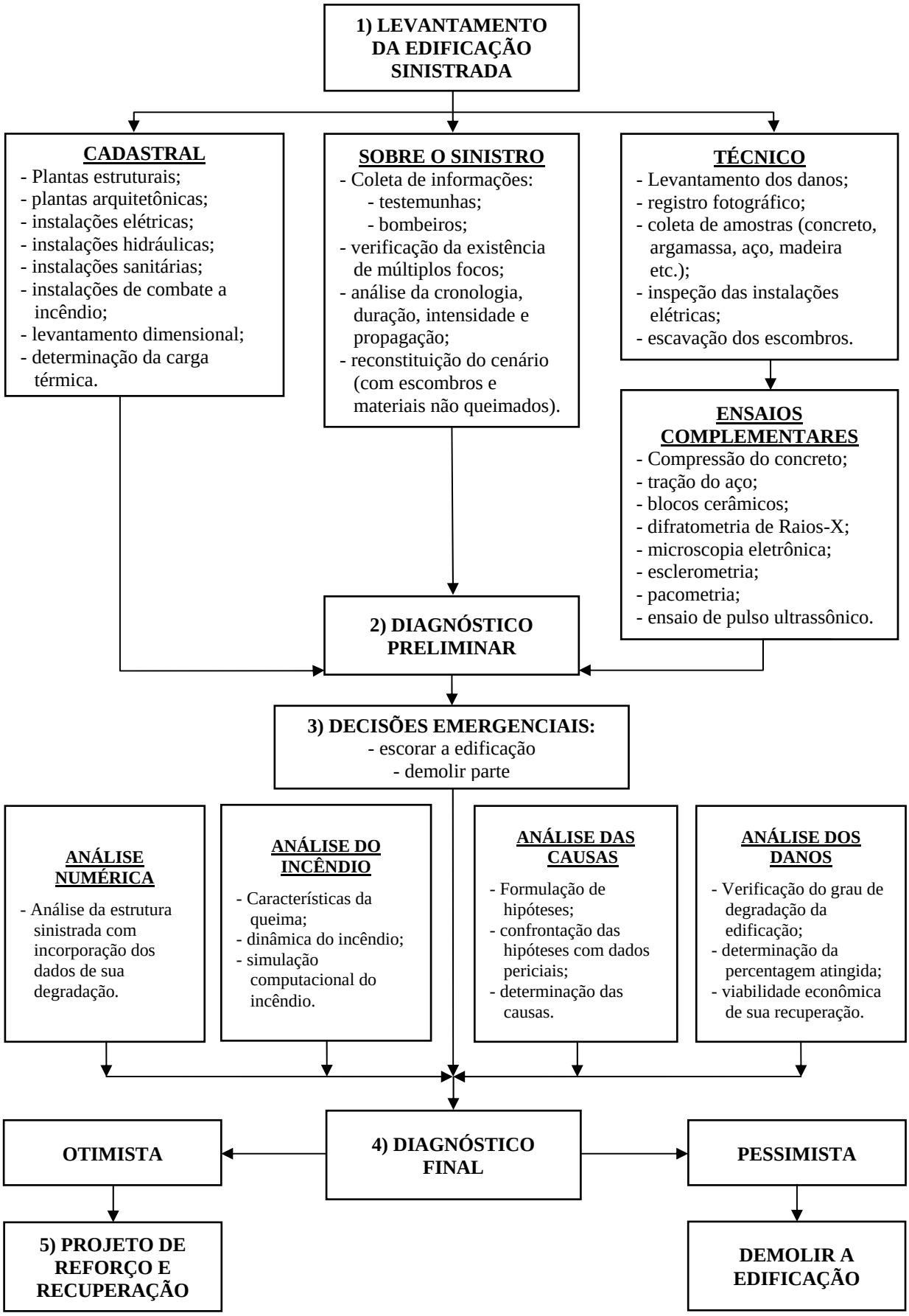

Figura 3.1 – Fluxograma de etapas para a abordagem de uma análise de estruturas sinistradas.

4. METODOLOGIA

4.1. Levantamento Cadastral

O Levantamento Cadastral compreende a atividade de busca de todas as informações relativas à edificação sinistrada e do seu entorno.

Estas informações estão contidas nos projetos arquitetônico, estrutural, de instalações elétricas, hidrossanitário, telefonia, redes lógicas, bem como no projeto de proteção e combate contra incêndio do prédio.

Neste levantamento também devem ser relacionados dados sobre endereço, tipo de edificação (com alvenaria portante, estruturado, misto, pré-moldado etc.), tipo de uso (residencial, comercial, mista, industrial, esportivo), área total da edificação, número de pavimentos, tipo de material de construção (concreto, blocos cerâmicos, blocos de cimento, madeira, aço etc.), tipo de cobertura (laje de concreto, treliças de madeira ou de aço etc.), e também a área atingida pelo incêndio e outros dados pertinentes.

Em geral, é necessário executar um levantamento dimensional dos elementos constituintes da edificação, pois esta pode ter sofrido modificações durante a sua vida útil ou não dispõe de projetos arquitetônicos.

Nesta primeira parte da Metodologia, é fundamental verificar os diferentes usos da edificação para avaliar com boa precisão a carga térmica dos ambientes atingidos pelo sinistro.

4.2. Levantamento sobre o Sinistro

Inicialmente, é muito importante preservar o cenário original do sinistro para possibilitar a análise dos vestígios que levam a formulação das hipóteses sobre as causas do incêndio.

No combate ao fogo, os bombeiros removem alguns escombros, para eliminar focos do incêndio, além de aplicar jatos de água. Esta atividade de combate modifica, em parte, o cenário.

Outro fator que impede a preservação do cenário é a ação severa das chamas, as quais acabam destruindo parte dos vestígios.

A coleta de informações, realizada através de entrevistas com as testemunhas oculares e bombeiros, é fundamental para a composição da cronologia do sinistro.

O relato dos bombeiros é importante para analisar a dinâmica do incêndio, pois estes profissionais podem modificar o comportamento do incêndio através da abertura de janelas, para melhor combater as chamas, alterando o fluxo de ar nos ambientes.

Uma análise preliminar da edificação é necessária, pois, às vezes, a fonte de calor que originou o incêndio não está localizada no ambiente sinistrado, podendo ter sido trazida pelo fosso de ventilação, dutos de ar, pelas janelas, ou por outros meios.

Com os escombros e materiais não queimados, pode-se reconstituir o cenário do incêndio, verificando se houve um ou mais focos de calor. A existência de múltiplos focos indica, geralmente, incêndio criminoso.

4.3. Levantamento Técnico

O levantamento técnico objetiva registrar todas as manifestações patológicas ocorridas na edificação decorrentes da ação do incêndio. Para tanto, realiza-se um inspeção visual detalhada de todas as áreas atingidas pelo incêndio, bem como as adjacentes, anotando as manifestações patológicas encontradas e documentando-as com fotografias. Este levantamento compreende: deformações excessivas dos elementos estruturais, zonas calcinadas do concreto, zonas rompidas, regiões com lascamento do concreto, flambagem de barras de aço comprimidas, ruptura de elementos estruturais, fissuração por retração, flexão e cisalhamento, fissuras por deslocamentos

relativos de partes da estrutura, descolamento de revestimentos, mudança de coloração do concreto, armaduras expostas, ruptura de alvenarias de vedação, entre outros.

O levantamento contempla também inspeção das instalações elétricas (fusíveis, disjuntores, condutores, terminais etc.).

Para complementar o levantamento técnico, são retiradas amostras dos materiais envolvidos no incêndio (concreto, aço, madeira etc.) para a determinação da resistência residual dos mesmos e análise das características da queima.

4.4. Ensaios complementares

Para determinar as resistências residuais dos materiais concreto e aço, constituintes da estrutura da edificação, é necessário extrair amostras (corpos-de-prova cilíndricos) do concreto e também amostras do aço.

Os corpos-de-prova (CPs) de concreto extraídos das regiões atingidas pelo sinistro são rompidos à compressão simples e comparados com outros extraídos de regiões não atingidas. Em função da intensidade do incêndio, pode-se observar uma maior ou menor perda da resistência à compressão das amostras. Para orientar a extração dos corpos-de-prova, pode-se utilizar o pacômetro para identificar as posições das armaduras localizadas dentro dos elementos estruturais, evitando assim o corte das mesmas por ocasião da extração dos CPs.

As amostras de aço, extraídas dos elementos estruturais danificados ou não degradados, são ensaiadas à tração e verificada a sua perda de resistência à tração.

Para analisar a homogeneidade do concreto em regiões danificadas ou não do concreto, é possível utilizar a técnica não destrutiva de obtenção de resistência superficial do concreto conhecido como esclerometria. Outra técnica não destrutiva, utilizada para estimar a profundidade da capa de concreto afetada pelas altas temperaturas, é a do ensaio de pulso ultrassônico. Neste caso, são submetidos ao ultrassom elementos estruturais danificados e não danificados para a comparação. Em geral, de forma genérica, níveis de velocidades médias de propagação de pulso ultrassônico inferiores a 3000 m/s tendem a indicar um concreto com baixa resistência ou com muitos vazios.

Pode-se, ainda, utilizar a técnica de ultrassom nos pontos de extração dos CPs de concreto, objetivando estabelecer uma relação entre a velocidade de ultrassom com a resistência a compressão do concreto.

As amostras de pó do concreto, retiradas em diferentes pontos da estrutura sinistrada e em diferentes profundidades, no mesmo ponto, são utilizadas no ensaio de difratometria de Raios-X.

Este ensaio permite avaliar as mudanças no material cristalino, componentes do concreto, devido à elevação da temperatura, quando ocorre a dissecação e transformação de cristais mudando o difratograma. Estas mudanças são usadas para estimar as temperaturas de exposição das amostras.

5. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR E DECISÕES EMERGENCIAIS

Após a realização das atividades de levantamento cadastral, sobre o sinistro, técnico, ensaios complementares e inspeção visual com avaliação prévia da segurança dos elementos estruturais degradados pelo incêndio, é possível emitir um diagnóstico preliminar sobre as condições de segurança da edificação, tomando-se, em seguida, medidas emergenciais tais como: escoramento das áreas de alto grau de degradação (eminente ruptura ou desabamento) e/ou demolição de áreas de alto risco que impedem os trabalhos de coleta de dados para a reconstituição do sinistro.

6. ANÁLISES ADICIONAIS PARA A FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FINAL

6.1. Análise Numérica

A análise numérica da edificação deve ser feita introduzindo os danos encontrados (por exemplo, pilar rompido, vigas rompidas). Esta análise, para o caso de prédios estruturados, é feita considerando a estrutura tridimensional, pois, desta forma, ocorrerá uma distribuição de esforços internos dos elementos degradados para os não atingidos pelo sinistro.

6.2. Análise do Incêndio

A análise inicia observando a área global da edificação sinistrada, objetivando delimitar a zona de origem do incêndio e, posteriormente, o foco inicial. Nesta zona, observam-se as marcas mais intensas da ação das chamas.

Localizado o foco inicial, deve-se observar se a queima produzida no ambiente é radial e ascendente ou em forma cônica, influenciada por vento agindo sobre as chamas. Quando existe a incidência de um vento predominante, observa-se, na direção do mesmo, danos mais intensos sobre os materiais.

O padrão da queima, em forma de “V”, é identificado nos materiais e quando a temperatura se eleva a 1000º C esta queima penetra fundo nos materiais.

A temperatura atingida nos diversos pontos do ambiente sinistrado pode ser determinada, para o caso de estruturas de concreto armado, através do procedimento visto no item 4.4.

Continuando a análise do incêndio, é necessário compreender a dinâmica do incêndio, a qual apresenta três fases distintas, descritas a seguir.

Na fase inicial as chamas são mais localizadas, junto à zona de origem e o incêndio cresce rapidamente, mas a temperatura junto ao forro do ambiente encontra-se em torno de 50º C. Quando o fogo é combatido nesta fase, nota-se na região de origem padrão de queima em forma de “V” e vestígios intactos. É possível, neste caso, determinar facilmente o foco inicial.

Na fase de desenvolvimento do incêndio a produção de chamas aumenta e a temperatura próxima ao forro do ambiente atinge intensidades acima de 900º C. Se o fogo for interrompido nesta fase, pela ação dos bombeiros, seriam observadas, na vistoria, marcas de fuligem nas paredes, derretimento de materiais metálico tipo alumínio, uma maior carbonização dos materiais na região de origem do incêndio do que em outras regiões, padrão de queima em forma de “V” evidente em elementos de madeira.

Na fase final do desenvolvimento do incêndio, a carga de combustível já é mais escassa e, portanto, as chamas diminuem e ocorre o aumento da incandescência (brasas).

Ao ser combatido o incêndio nesta fase, a observação pós-combate, mostra marcas de fuligem nas paredes, podendo chegar próximo ao piso e o padrão de queima, em forma de “V”, é oculto pela carbonização do material. As regiões que são atingidas pelas chamas apresentam-se claras, sem fuligem. É muito difícil determinar as causas do sinistro neste caso, pois o tempo de queima dos materiais foi grande.

A análise da duração e intensidade do incêndio depende de vários parâmetros que podem ser classificados em três categorias, conforme apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Classificação dos parâmetros que influem na duração e intensidade de um incêndio.

Parâmetros	Referentes à edificação	- localização da edificação; - natureza da construção; - rotas de escape; - acesso a meios de combate; - compartimentação; - meios externos de combate.
	Referentes aos usuários	- número e distribuição de usuários; - estado de saúde e mobilidade dos usuários; - familiaridade com a edificação.
	Referentes ao incêndio	- carga combustível; - densidade de carga térmica; - fontes de ignição; - temperatura e tamanho das chamas.

Para colaborar na identificação das causas do sinistro, são utilizados modelos computacionais de simulação do incêndio. Estes modelos procuram comparar o evento real com a simulação de diferentes cenários e com várias causas.

Além de procurar obter a causa mais provável do incêndio, a simulação computacional permite, também, verificar se o projeto arquitetônico da edificação é adequado para a proteção passiva da mesma.

Atualmente é utilizado o programa FDS (*Fire Dynamic Simulator*) da NIST (*National Institute of Standards and Technology*) complementado com o *Smokeview* (programa que permite ver em três dimensões os cálculos de FDS).

O programa FDS faz uma avaliação da dinâmica do incêndio, bem como do movimento da fumaça através de informações sobre a geometria do ambiente sinistrado e propriedades térmicas dos materiais existentes.

6.3. Análise dos Danos à Edificação

Após a análise das manifestações patológicas, verificação numérica da estrutura degradada e dos resultados dos ensaios complementares, pode-se avaliar o grau de degradação da edificação. Os levantamentos feitos indicam as áreas atingidas pelo sinistro e consequentemente o percentual da região a ser reforçada, demolida, recuperada ou reconstruída.

Definidas as áreas da edificação a serem recuperadas, através de projetos de reforço e recuperação, é possível avaliar os custos destas atividades e consequentemente verificar a viabilidade do reaproveitamento da edificação.

6.4. Análise das Causas do Sinistro

Como foi visto na Tabela 1.2, a origem dos incêndios corresponde a diversos tipos de causas, como as descritas a seguir:

a) ação pessoal institucional – neste caso a análise indica múltiplos focos iniciais de incêndio e também a presença de hidrocarbonetos, oriundos de produtos inflamáveis, tais como gasolina, álcool, querosene, utilizados para iniciar um incêndio criminoso;
b) ação pessoal acidental – esta causa normalmente é decorrente da negligência ou imprudência de pessoas que por descuido, deixam velas acesas, não apagam corretamente o cigarro, entre outros;
c) causa indeterminada – esta corresponde a situação na qual não é possível provar se existe culpa ou não sobre o ocorrido;
d) ação de crianças – esta causa normalmente é devida à imprudência das crianças que costumam brincar com fósforos, isqueiros, junto a sofás ou camas de sua habitação;
e) fenômenos termoelétricos – esta causa tem origem no mau funcionamento da corrente elétrica, seja por sobrecarga, sobretensão, aumento de temperatura de fios condutores, desconexão parcial, produzindo centelhamento, inflamação de fios condutores e curto circuito;
f) fenômenos naturais – esta causa de incêndio é proveniente de queda de raios, vendaval, deslizamentos, terremotos e desmoronamentos;
g) fenômenos químicos – neste caso o incêndio tem origem no aumento intenso de temperatura, gerada por uma reação química exotérmica espontânea ou induzida;
h) origem acidental – esta situação ocorre normalmente devido a defeito de funcionamento de equipamentos elétricos, eletrodomésticos ou eletroeletrônicos, os quais apresentam superaquecimento com produção das chamas e por vezes produção de fagulhas (exemplo: uso de disco de corte em aço próximo a material inflamável);
i) causa não apurada – quando os vestígios do incêndio não sustentam nenhuma hipótese sobre a causa do sinistro, neste caso é classificado como causa não apurada.

Após estudar os danos coletados no local sinistrado, é feita a análise do incêndio, na qual devem ser consideradas todas as hipóteses possíveis sobre as causas do sinistro. Cabe lembrar que, às vezes, o sinistro tem origem em mais de uma causa.

Formuladas as hipóteses, estas devem ser testadas levando em conta os depoimentos das testemunhas, os exames laboratoriais, os vestígios coletados, as análises das manifestações patológicas e da estrutura da edificação, bem como as análises realizadas em outros casos semelhantes.

Eliminando as hipóteses não coerentes com os dados, evidencia-se uma ou mais hipóteses para a análise final.

Assim, por eliminação, pode-se chegar a uma única hipótese coerente, a qual apontará as causas do sinistro. Quando isto não ocorrer, tem-se a situação de causa não apurada.

7. DIAGNÓSTICO FINAL

Realizadas as análises numérica do incêndio, dos danos da edificação e das causas do sinistro, é possível formular o diagnóstico final sobre as condições de segurança da edificação.

Também é importante fazer a análise do grau de degradação da edificação e da viabilidade econômica de sua recuperação.

Assim o diagnóstico final pode ser otimista ou pessimista.

No caso de otimista são elaborados os projetos de reforço dos elementos danificados, reconstrução dos elementos rompidos e recuperação geral da edificação.

O diagnóstico pessimista indica que a edificação não é recuperável economicamente e, portanto, deverá ser demolida.

8. ESTUDO DE CASO REAL

Este caso corresponde a um incêndio ocorrido num prédio de mediana altura, localizado na cidade de Porto Alegre, RS. Foi aplicada, na análise da estrutura sinistrada, uma metodologia para sistematizar as atividades de investigação das prováveis causas do incêndio.

A metodologia seguiu, em parte, o fluxograma apresentado na Figura 3.1.

8.1. Levantamento Cadastral do Existente

8.1.1. Identificação da edificação

O prédio sinistrado corresponde a um edifício com 26 pavimentos, suportado por uma estrutura de concreto armado, constituída por lajes, vigas e pilares. As lajes dos pavimentos foram moldadas "*in loco*" e são constituídas por placas de concreto armado maciças, do 2º ao 12º pavimentos e, a partir do 13º pavimento, construídas com tijolos armados.

O Condomínio Edifício Cacique, nome conferido ao edifício, está situado na Rua dos Andradas, nº 943, no Centro da cidade de Porto Alegre. O seu uso era residencial (apartamentos) e comercial (escritórios, sindicatos, federações e diretórios de partidos políticos), todos localizados no corpo principal do prédio. Nos fundos havia um grande pavilhão que abrigava dois cinemas, o Cacique (no térreo) e o Cinema Escala (no 2º pavimento). Este pavilhão apresentava, no telhado, uma estrutura de madeira, em forma de tesouras, coberta com telhas de fibrocimento.

A Figura 8.1 mostra um corte longitudinal do prédio, onde pode ser observada a existência de dois recuos da fachada frontal, localizados no 12º e no 17º pavimentos.

Observando ainda a Figura 8.1, verifica-se que o prédio apresenta uma disposição arquitetônica interna para os escritórios e apartamentos, que define um corredor central, localizado nos pavimentos 5º ao 10º e 13º ao 16º, e corredor externo, na fachada fundos, para os pavimentos 17º ao 23º. As Figuras 8.3 a 8.6 mostram as plantas baixas dos pavimentos. O 5º pavimento apresenta, na fachada fundos, uma sacada destinada ao acesso do telhado do Cinema Cacique, para manutenção do mesmo. Esta sacada, bem como o muro de alvenaria construído sobre ela, foi importante na proteção do 5º pavimento, em relação à ação das chamas.

O Cinema Escala foi construído dentro do Cinema Cacique, no seu mezanino. A estrutura de suporte do seu piso era constituída por vigas treliçadas metálicas, inclinadas, fixadas no corpo principal do edifício e na outra extremidade numa importante viga treliçada apoiada, nas extremidades, sobre as paredes externas do pavilhão.

A disposição arquitetônica da edificação foi importante para evitar a propagação do incêndio, assim como os dois recuos da fachada frontal.

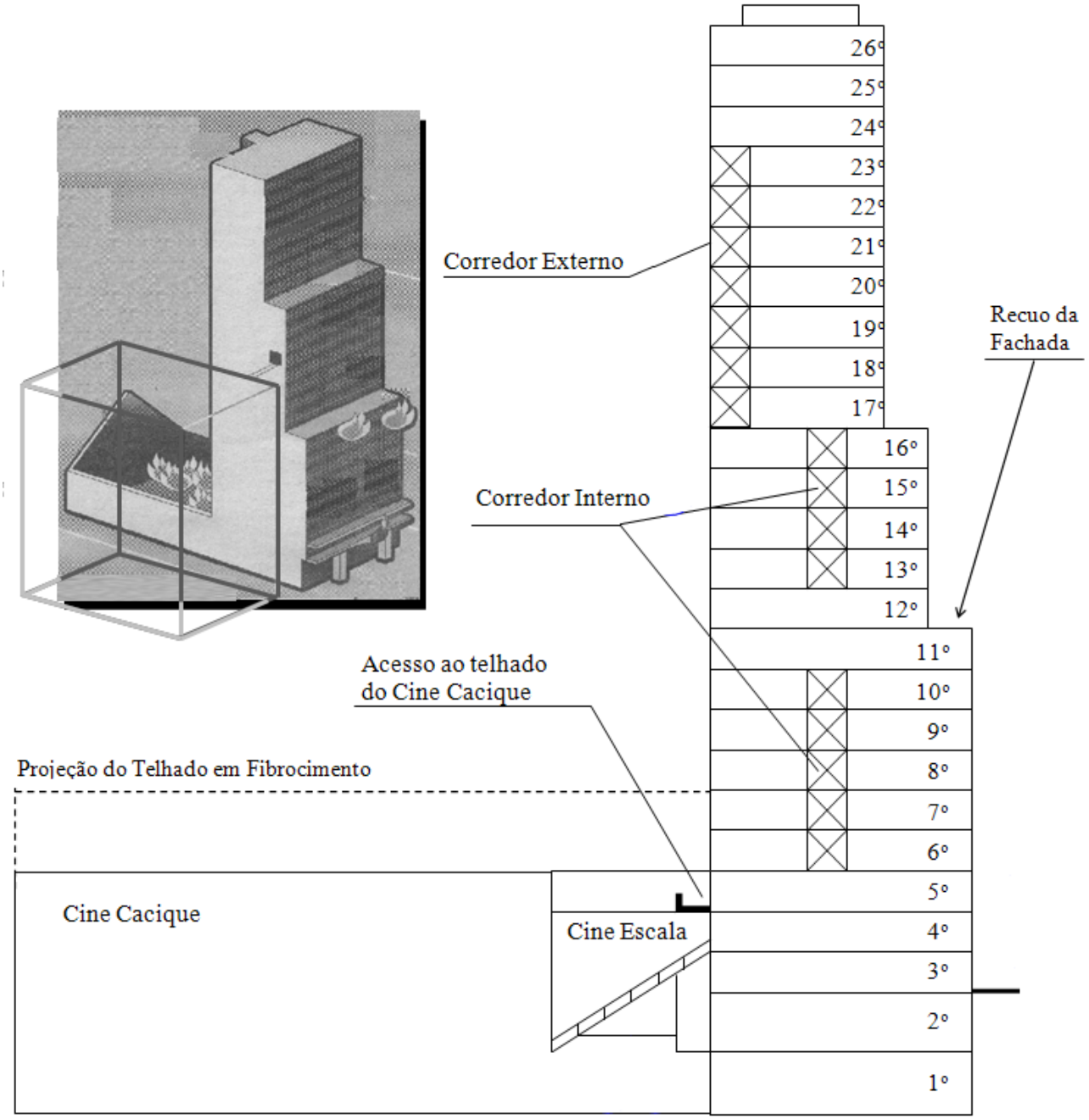

Figura 8.1 – Croqui do prédio – corte longitudinal.

A Figura 8.2 mostra uma vista da fachada frontal do prédio, onde pode ser observado o 11º pavimento, após o sinistro, único pavimento que apresentou chamas nas janelas (ver Figura 8.7).

Figura 8.2 – Vista da fachada frontal da edificação.

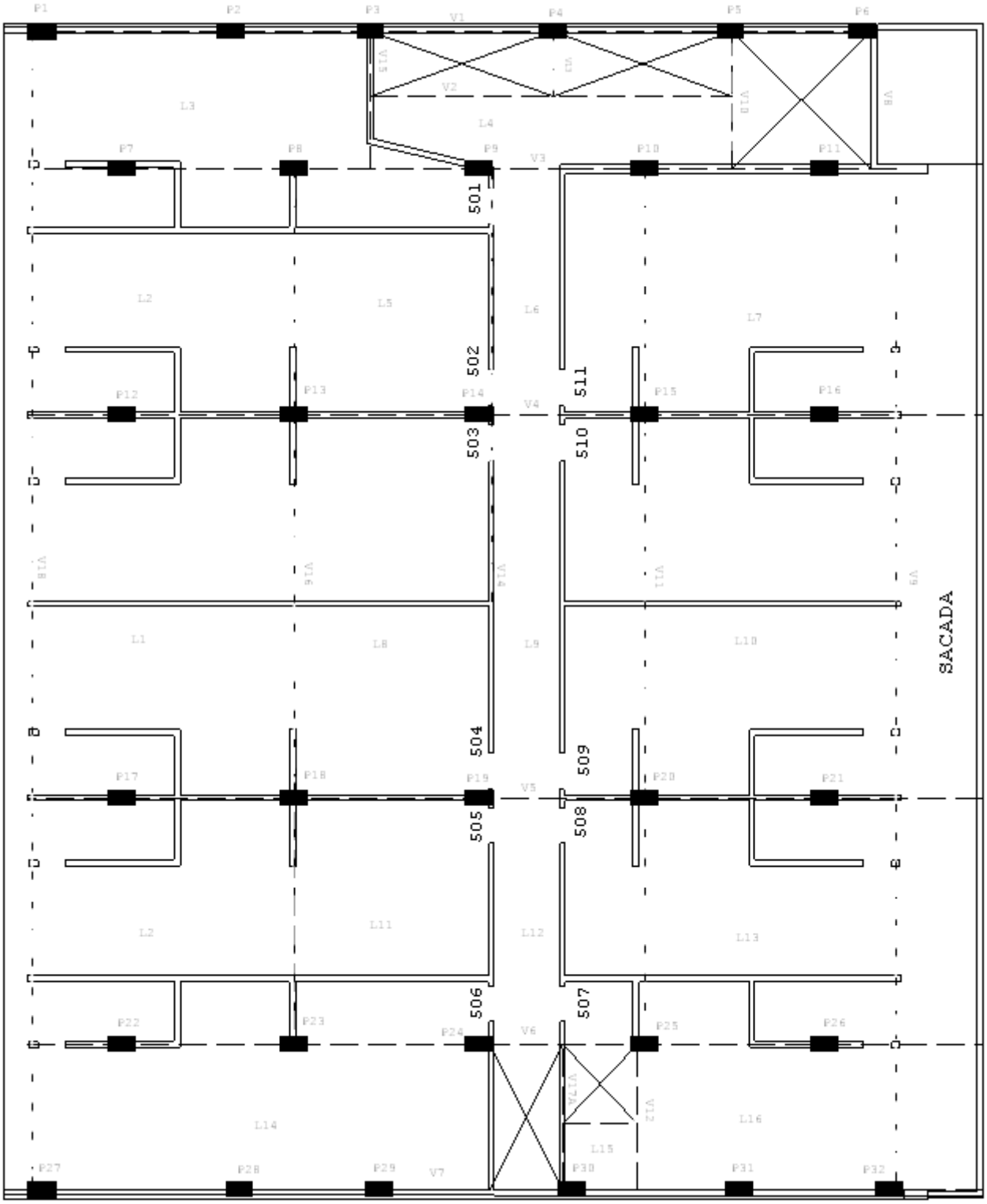

Figura 8.3 – Planta baixa do 5º pavimento.

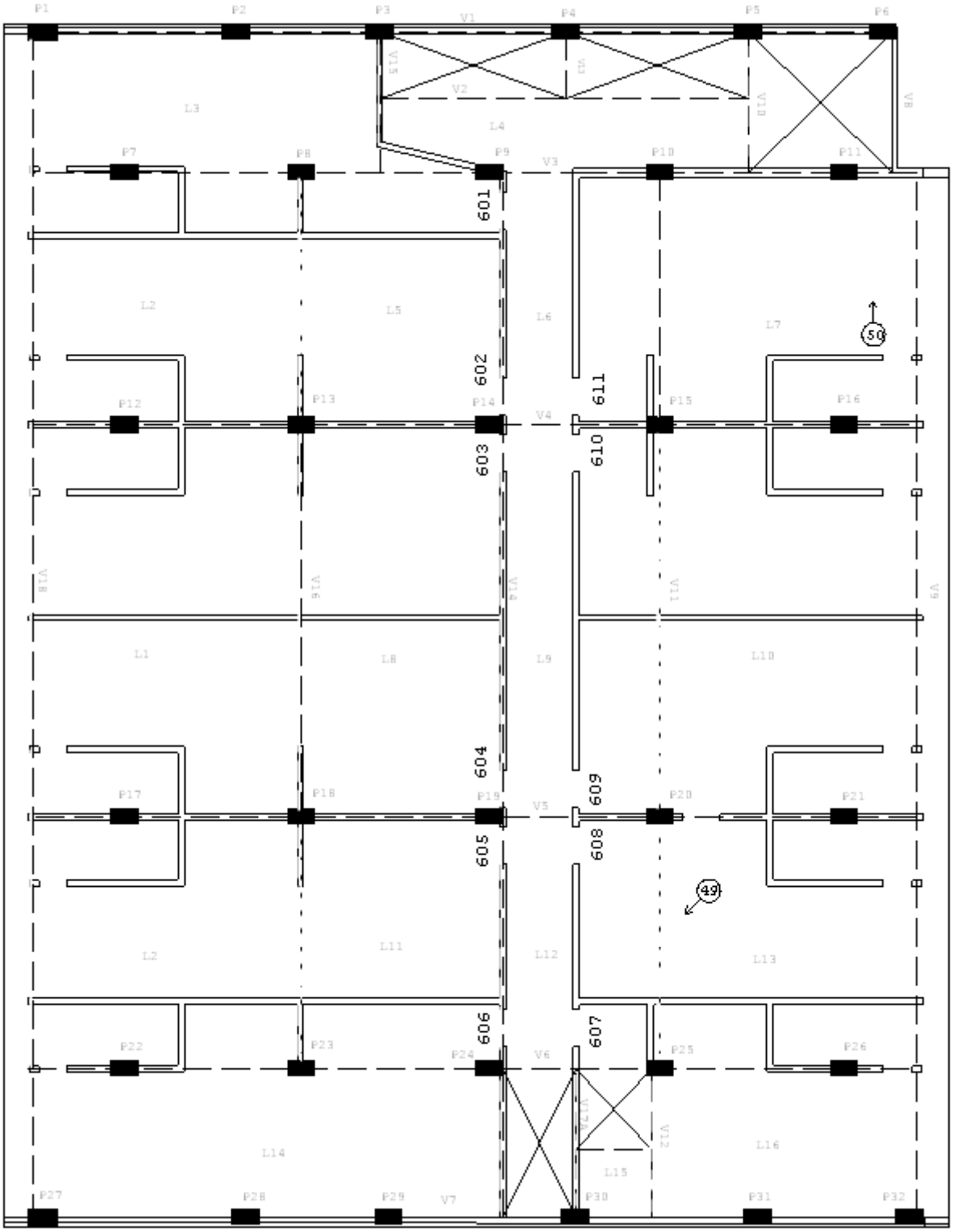

Figura 8.4 – Planta baixa do 6º ao 10º pavimentos.

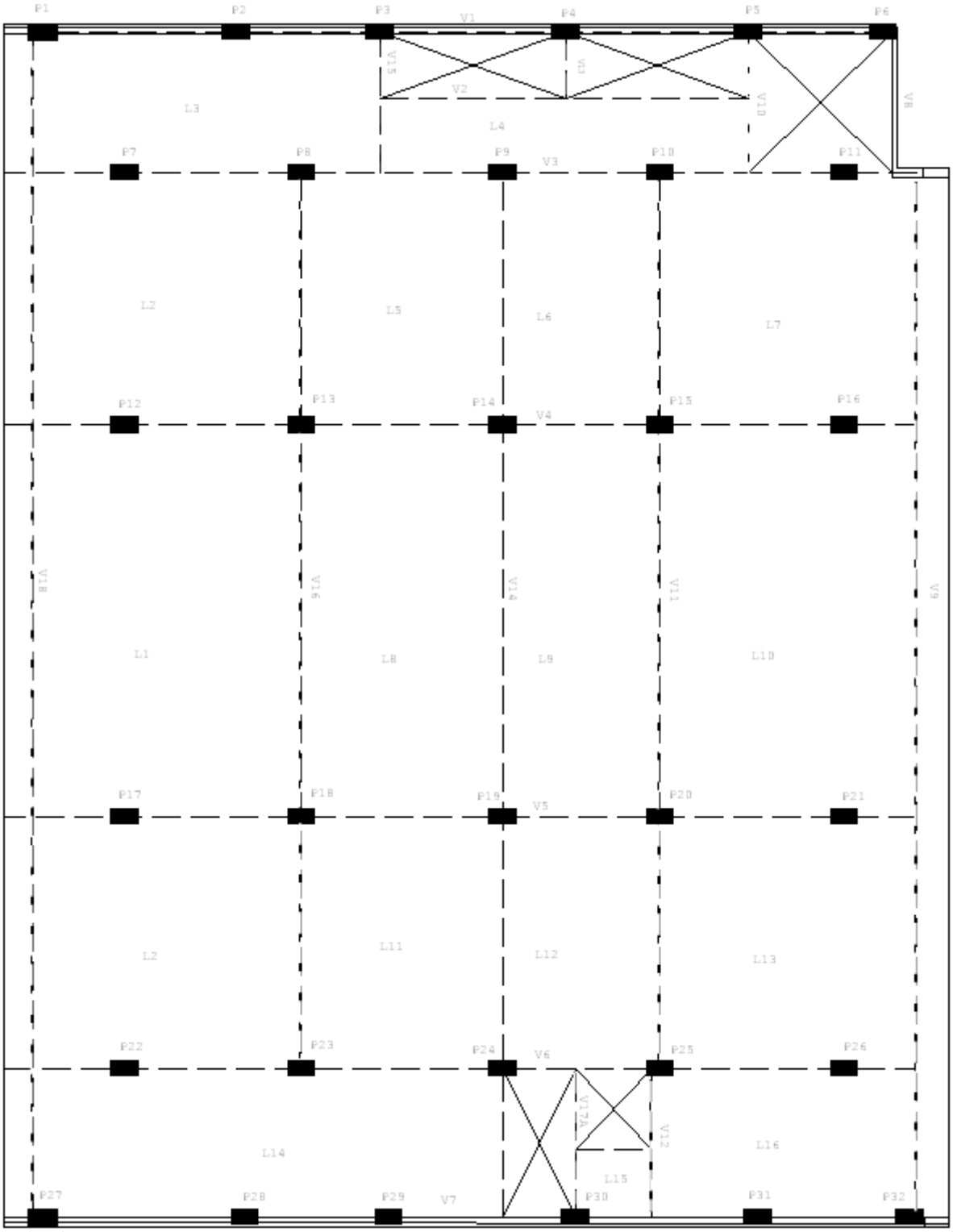

Figura 8.5 – Planta baixa do 11º pavimento.

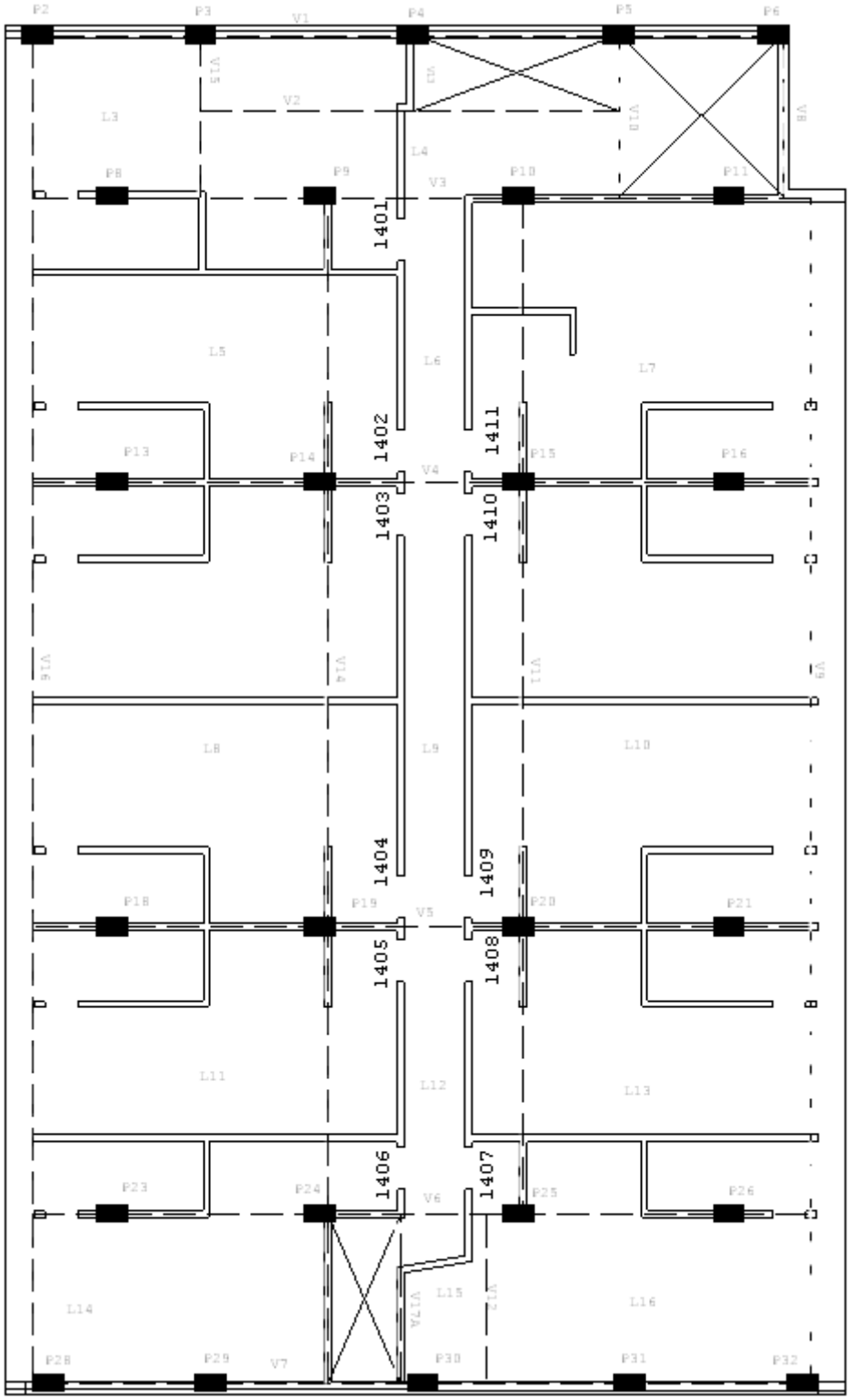

Figura 8.6 – Planta baixa do 13º ao 16º pavimentos.

8.2. Levantamento sobre o Sinistro

8.2.1. Reconstituição da Cronologia do Incêndio

Com base em informações obtidas por testemunhas oculares e em depoimentos dos bombeiros, a cronologia do incêndio foi a seguinte:

a) Início do incêndio à 1h 30min da madrugada, do dia 26 de junho de 1996, tendo sido visto pela primeira vez chamas saindo pelas janelas do 11º da fachada frontal do prédio, seguido de explosões (ver Figura 8.7);
b) Chegada dos bombeiros para o combate às chamas, sem possibilidades pela falta de uma escada telescópica adequada;
c) Vizinhos, moradores, na região dos fundos do prédio, acusam o fogo quando este já estava localizado no térreo e consumindo as dependências dos dois cinemas, produzindo chamas de grande altura;
d) O fogo propagou-se pela fachada fundos do térreo até o 17º pavimento, onde parou;
e) O Corpo de Bombeiros encontrou enorme dificuldade para combater o sinistro e este foi considerado tecnicamente extinto após 6 horas de combate.

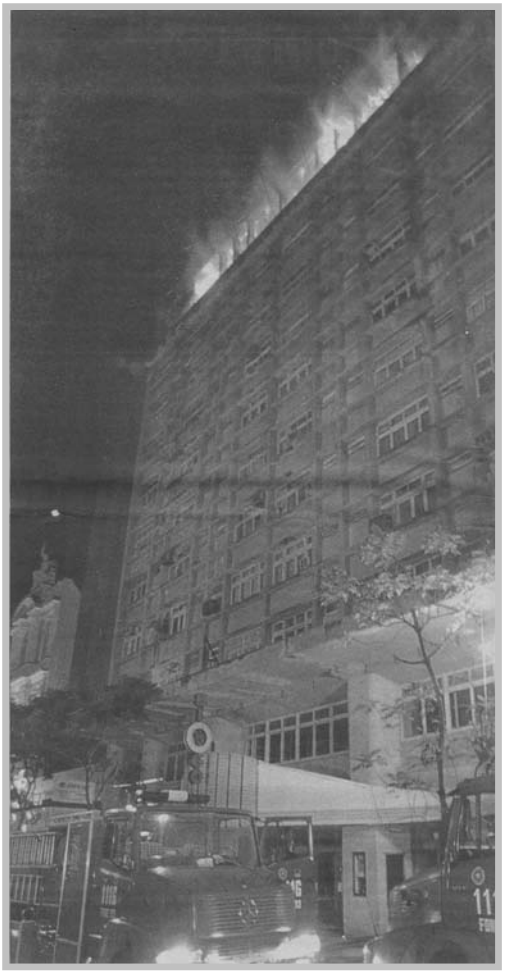

Figura 8.7 – Vista das chamas saindo no 11º pavimento da fachada frontal.

8.2.2. Parâmetros que influenciaram na Intensidade e Propagação do Incêndio

a) A localização da edificação não permitia o acesso dos meios de combate às diferentes partes da construção, sendo com muita dificuldade controlada a propagação do fogo aos prédios vizinhos;
b) A natureza da construção possibilitou o uso de materiais com alto grau de combustão e geradores de fumaça. Não havia inspeção periódica e manutenção de instalações elétricas e de gás (antigas);
c) Não havia rotas de escape para permitir a evacuação dos usuários, o que foi feito com muita dificuldade pelos bombeiros
d) O acesso aos meios de combate foi ineficiente pela precariedade dos extintores e hidrantes. Não havia sistema de chuveiros automáticos nem brigada de combate a incêndios;
e) A disposição arquitetônica do prédio evitou, por sua compartimentação, que o fogo se propagasse para as regiões frontais do edifício. Os corredores centrais funcionaram como câmaras de isolamento, bem como os corredores externos, localizados a partir do 17º pavimento. Os recuos de fachada coibiram a propagação das chamas do 11º pavimento para os andares superiores;
f) A edificação não apresentava facilidades aos meios externos de combate, sendo que houve muitas dificuldades para o corpo de bombeiros acessarem o interior do prédio;
g) Não foram dimensionadas adequadamente as rotas de escape para os usuários sendo que a escada, com largura inferior ao prescrito pelas normas vigentes não era enclausurada, não possuía corrimão e apresentava degraus em leque com largura insuficiente para o apoio dos pés;
h) Não foi considerado o estado de saúde dos usuários, com idade avançada, residentes no prédio, o que representou dificuldade na mobilidade dos mesmos;
i) Não existia uma sinalização, nem iluminações de emergência para a saída dos usuários; nenhum usuário havia sido treinado para tal situação de emergência;
j) Havia, em certas regiões do prédio, um armazenamento muito grande de material combustível, o que implicou numa elevada carga combustível para o incêndio. As maiores concentrações localizavam-se no 11º pavimento e em algumas salas comerciais;
k) A densidade térmica do prédio era alta, tendo em vista os materiais de construção utilizados, como pisos de madeira, carpetes, paredes forradas com madeira, forro de madeira na região dos cinemas e divisórias leves no caso do décimo primeiro pavimento;
l) O prédio apresentava diversas fontes de ignição não controladas, tais como: instalações elétricas antigas, instalações de gás irregulares (como as encontradas no 11º pavimento), produtos químicos inflamáveis encontrados em salas comerciais, entre outros;
m) A temperatura e tamanho das chamas decorreram da existência de materiais com alta taxa de desenvolvimento de incêndios, o que propiciou a sua propagação;
n) Houve influência do vento na condução das chamas, como pode ser observado na Figura 8.8.

8.3. Levantamento Técnico

A Figura 8.8 apresenta uma vista da fachada fundos do prédio, voltada para o pavilhão onde funcionavam os cinemas. Observa-se a propagação externa do incêndio, o qual destruiu totalmente os cinemas, as salas comerciais e apartamentos localizados nos fundos do prédio até o 11º pavimento e, parcialmente, estas economias nos andares mais altos, do 12º ao 16º pavimentos. Observa-se também na mesma figura, a influência do vento conduzindo as chamas para o lado direito da fachada fundos. O fogo não atingiu o 17º pavimento por razões que serão discutidas no item 8.6.3.

Figura 8.8 – Aspecto da fachada dos fundos do prédio após o sinistro.

A Figura 8.9 mostra a estrutura metálica de suporte do cinema Escala rompida e a Figura 8.10 exibe uma vista geral do pavilhão destruído.

Nesta fachada dos fundos, devido à severidade do fogo, observou-se fratura com destacamento do concreto em vigas do prédio, armaduras expostas, elementos estruturais deformados e calcinação do concreto em diversas regiões. Todo o entorno do pavilhão foi atingido com intensidade pelo fogo, ocasionando ruptura das paredes de blocos cerâmicos vazados, além da degradação sofrida pelos pilares e vigas de suporte do telhado. As salas localizadas nos pavimentos 2º ao 5º foram pouco atingidas pelo fogo tendo em vista que, na fachada dos fundos, existe uma parede sem aberturas que impediu a ação do mesmo. No 5º pavimento existe uma sacada com muro, conforme mostrado nas Figuras 8.1 e 8.3 que protegeu a penetração das chamas neste pavimento.

Figura 8.9 – Aspecto da fachada fundos, após o sinistro, até o 5º pavimento.

Figura 8.10 – Vista geral do pavilhão após o sinistro.

O sexto pavimento foi parcialmente atingido nas salas dos fundos, apresentando fissuras nos elementos estruturais.

O 7º e 8º pavimentos apresentaram danos mais significativos nos elementos estruturais e de vedação (paredes). Além disso, registraram-se manifestações patológicas como: fratura do concreto com destacamento de pedaços expondo a armadura longitudinal dos pilares, deformações excessivas nas

lajes, ruptura de lajes e vigas nos pontos mais atingidos pelo fogo, descolamento do revestimento das paredes, calcinação do concreto, entre outros.

Os pavimentos seguintes, 9º e 10º, não apresentaram danos significativos à estrutura do prédio. Apenas foram registradas manifestações patológicas nas salas localizadas nos fundos, do tipo: descolamento de revestimentos e fissuras com pequena abertura.

O décimo primeiro pavimento correspondeu à região de maior intensidade do sinistro. Com divisórias leves internamente e com muito material inflamável depositado no mesmo, o fogo atingiu severamente a estrutura do prédio causando ruptura das lajes do piso e do forro, ruptura de pilares com flambagem de sua armadura longitudinal, ruptura de vigas, mudanças de coloração do concreto, descolamento de revestimento e ruptura de paredes.

Devido à temperatura elevada ocorrida no incêndio (acima de 300º C), os materiais concreto e aço, constituintes da estrutura, apresentaram perdas de suas propriedades mecânicas. A ruptura do prédio não ocorreu devido à redistribuição dos esforços que ocorreram entre os elementos estruturais decorrentes do comportamento espacial da sua estrutura.

As Figuras 8.11 e 8.12 mostram, em detalhes, as armaduras flambadas de dois pilares do 11º pavimento bem como as fraturas dos mesmos. A Figura 8.13 apresenta o aspecto da laje do forro do 11º pavimento rompida e com escoramento provisório. A grande deformação experimentada pela laje do forro do 11º pavimento é documentada na Figura 8.14, onde foi observado, para esta laje, um deslocamento de 16 cm.

No décimo segundo pavimento, que se encontrava em reforma, não foram observadas manifestações patológicas significativas, além daquelas decorrentes das deformações excessivas no piso pela ação do fogo do 11º pavimento.

Entretanto, no pavimento seguinte, a ação do fogo foi mais intensa, causando danos nas paredes de vedação, no revestimento de pilares e vigas, ocasionando em muitos pontos fissuras e lascamentos do concreto.

No décimo quarto pavimento observaram-se danos sérios à alvenaria com descolamento completo do revestimento e ruptura dos blocos cerâmicos. A laje do forro deste pavimento, localizada nas salas dos fundos do prédio, apresentou descolamento do seu revestimento, expondo a armadura constituinte da laje mista de tijolo armado. As Figuras 8.15 e 8.16 mostram, em detalhe, os danos causados.

Nos pavimentos seguintes, 15º e 16º, os danos registrados foram pouco significativos para a estrutura do prédio, restringindo-se a algumas fissuras nas paredes de vedação, lascamento do concreto em alguns pontos e perda de revestimento em algumas regiões.

Nos pavimentos 17º ao 26º não houve incidência direta do fogo, sendo que os danos verificados limitaram-se a ação do calor e da fumaça, produzindo descolamento da pintura, derretimento de acabamentos de interruptores, entre outros.

Figura 8.11 – Apoio da viga V16 sobre o pilar P13, com armadura flambada (11º pavimento)

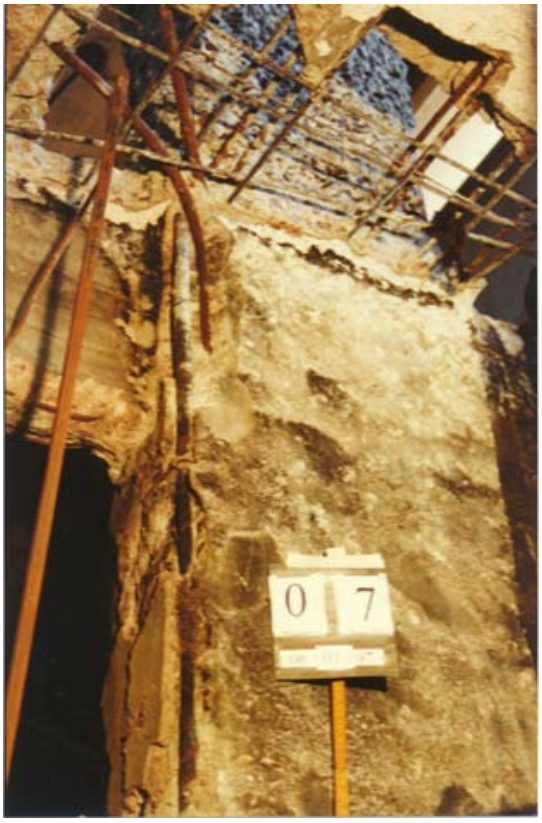

Figura 8.12 – Aspecto do pilar P18 do 11º pavimento com armadura exposta pela ação de altas temperaturas.

Figura 8.13 – Laje do forro do 11º pavimento rompida e escorada.

Figura 8.14 – Deformação excessiva da laje L5 do piso do 12º pavimento devido à ação de altas temperaturas (deslocamento máximo de 16 cm).

Figura 8.15 – Aspecto da degradação da laje mista do forro do conjunto 1411 do 14º pavimento, após o sinistro.

Figura 8.16 – Aspecto da ruptura dos blocos cerâmicos vazados da parede de vedação do conjunto 1411 do 14º pavimento, após o sinistro.

8.4. Ensaios Complementares

Para complementar o levantamento de dados necessários para a formulação de um diagnóstico preliminar, foram realizados ensaios tecnológicos dos materiais como resistência à compressão do concreto em corpos extraídos, resistência à tração do aço e de ensaios de difratometria de Raios-X para o concreto. Estes ensaios indicaram que o concreto das amostras retiradas atingiu temperaturas compreendidas entre 200 e 300º C em algumas regiões, atingindo perto de 600º C nas zonas de maior intensidade do fogo.

Os resultados obtidos para os ensaios dos corpos de prova do concreto extraídos em zonas afetadas pelo incêndio e noutras não atingidas, mostraram que houve uma redução de 22% na resistência dos mesmos. Deve ser ressaltado que os resultados obtidos pelos corpos de prova extraídos, muitas vezes não representam a zona mais afetada pelo incêndio, pois nelas o concreto apresenta-se bastante degradado, o que dificulta a retirada dos CPs.

Os ensaios de tração do aço apresentaram bons resultados, indicando que os mesmos não perderam resistência com a ação do fogo. Esta conclusão não permite afirmar que o aço manteve-se íntegro durante o incêndio, pois segundo a literatura sobre o tema os aços recuperam as suas propriedades originais quando a temperatura não ultrapassa os 700º C.

8.5. Diagnóstico Preliminar e Decisões Emergenciais

Após a análise do levantamento técnico, dos resultados dos ensaios complementares e dados sobre o sinistro, foi decidido escorar imediatamente todo o 11º pavimento, onde ocorreram rupturas de pilares por flambagem, bem como de lajes e vigas do piso do 12º pavimento.

8.6. Análises Adicionais para a Formulação do Diagnóstico Final

8.6.1. Análise Numérica

A análise numérica da estrutura com a incorporação dos danos, realizada na forma tridimensional, identificou diversos pilares no 11º pavimento com insuficiência de seção pela sobrecarga oriunda da ruptura de alguns pilares. Esta análise definiu quais os pilares que deveriam ser reconstruídos e reforçados com adição da armadura e, por conseqüência, aumentando a sua rigidez. Este reforço estendeu-se desde a metade do 10º pavimento até a metade do 12º pavimento. Além disso, foi necessário reforçar algumas vigas a flexão e cisalhamento.

8.6.2. Análise dos danos à edificação

Após a análise do levantamento técnico e ensaios complementares foi possível identificar as áreas danificadas pelo incêndio e construir a Tabela 8.1 com a indicação de percentagem das áreas atingidas, por andar do prédio.

Esta análise mostrou que 33,81% da área total da edificação deveria ser recuperada e, portanto, tornou viável a sua recuperação.

A tabela mostra, também, como o incêndio se propagou ao longo da edificação, indicando os pavimentos mais atingidos pela propagação das chamas pela fachada fundos do prédio. A degradação decresce com a altura da edificação parando no 17º e tendo duas áreas de perda total, o 11º e 12º pavimentos, seguido do 1º pavimento onde os danos atingiram 83,2% de sua área.

Tabela 8.1 – Percentual das áreas atingidas pelo sinistro em relação às áreas totais dos diversos pavimentos do prédio.

PAVIMENTO	ÁREA* TOTAL (M2)	ÁREA ATINGIDA PELO SINISTRO(M2)	PERCENTUAL DE ÁREA SINISTRA
1º (TERREO)	1874,00**	1560,00	83,20
2º	622,00	60,00	9,70
3º	1210,00***	600,00	49,60
4º	572,23	20,00	3,50
5º	572,23	30,00	5,20
6º	572,23	180,00	31,50
7º	572,23	250,00	43,70
8º	572,23	187,00	32,70
9º	572,23	118,00	20,60
10º	572,23	70,00	12,20
11º	572,23	572,23	100,00
12º	445,71	445,71	100,00
13º	445,71	160,00	35,90
14º	445,71	64,00	14,40
15º	445,71	60,00	13,50
16º	445,71	0,00	0,00
17º	270,43	0,00	0,00
18º	270,43	0,00	0,00
19º	270,43	0,00	0,00
20º	270,43	0,00	0,00
21º	270,43	0,00	0,00
22º	270,43	0,00	0,00
23º	270,43	0,00	0,00
24º	270,43	0,00	0,00
25º	270,43	0,00	0,00
TOTAL	12.946,26	4.376,94	33,81

Obs.: *Dados retirados das plantas registradas na SMOV/PMPA
**Inclui a área do cinema Cacique (pavilhão)
***Inclui a área do cinema Escala (mesanino)

8.6.3. Análise das causas do sinistro

Duas hipóteses foram levantadas para explicar a origem do sinistro, sendo que nenhuma delas pode ser comprovada com exatidão. O que se constata é que houve duas regiões de grande intensidade de fogo: o térreo e o 11º pavimento.

Caso o fogo tenha iniciado no 11º pavimento, onde tinha havido uma reunião concluída uma hora antes do início do sinistro, o incêndio passaria da fase de ignição (atribuída eventualmente a cigarro) ao de início de combustão, chegando rapidamente à inflamação generalizada pelas condições favoráveis encontradas (muito material armazenado, instalações de gás irregulares, divisórias leves, etc.). O pavimento é completamente consumido pelas chamas que aparecem na fachada frontal do prédio. Com a queima das esquadrias localizadas nos fundos, as quais fixavam aparelhos de ar condicionado, estes se desprendem e caem em chamas sobre o telhado de fibrocimento dos cinemas, localizados no térreo, perfurando-o e produzindo o início do incêndio do térreo. Testemunhas afirmam ter havido explosão no 11º pavimento, oriunda da queima de botijões encontrados posteriormente pelos bombeiros.

Como esta área do térreo apresentava uma densidade térmica alta, rapidamente o fogo chega à condição de inflamação generalizada e consome totalmente os cinemas, provocando o desmoronamento da estrutura metálica do cinema Escala.

Devido à grande quantidade de material de construção inflamável localizado na área dos cinemas, as chamas atingem grande altura, provocando a propagação do incêndio para os andares superiores. Esta propagação perde a intensidade quanto mais alto for o pavimento atingido, no caso até o 10º pavimento, que apresentam manifestações patológicas não significativas.

Nesta hipótese, é considerado que o fogo não se propaga do 10º ao 11º pavimento, pois este já estaria consumido pelo incêndio.

Simultaneamente, ao iniciar o incêndio no 11º pavimento, este se propagou pela fachada dos fundos aos andares superiores, sendo interrompido no 17º pavimento devido à presença do corredor externo que funcionou como barreira. O mesmo aconteceu na fachada frontal, onde a presença do recuo da fachada, localizada no 12º pavimento, evitou a propagação das chamas para os andares superiores.

Os danos causados pelo incêndio no 11º pavimento decrescem com a altura dos pavimentos.

Internamente, observou-se que o fogo não se propagou para as salas localizadas na parte frontal da edificação devido ao corredor interno que funcionou como uma câmara de isolamento.

Se o incêndio tivesse iniciado no térreo, a propagação do mesmo se daria de forma semelhante ao descrito anteriormente, considerando, neste caso, a passagem do fogo do 10º ao 11º pavimento. Nesta hipótese, as chamas demorariam mais tempo para atingirem a fachada frontal no 11º pavimento, o que não corresponde às observações feitas pelas testemunhas, que afirmaram terem visto as chamas no 11º pavimento logo no início do sinistro. A causa, nesta situação, poderia ser um curto circuito nas instalações elétricas precárias da edificação.

8.6.4. Análise das Condições de Proteção Contra Incêndios do Prédio e dos Usuários

Um levantamento efetuado no ano de 1994, nas dependências do prédio, aponta inúmeras irregularidades quanto à prevenção de incêndio, tais como: inexistência de alarmes sonoros, extintores localizados em zonas inadequadas, instalações elétricas precárias, escada de incêndio fora das prescrições da norma, instalações de gás irregulares, entre outras. A Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV) de Porto Alegre notificou várias vezes o condomínio para que fossem realizados os serviços para a regularização de sua situação. Os comentários feitos no item 8.2.2 deste trabalho mostram que o prédio não apresentava as condições necessárias para preservar a sua estrutura e os seus usuários de um sinistro, como o que aconteceu. As poucas condições favoráveis e o heroísmo dos bombeiros fizeram com que o sinistro não se transformasse numa tragédia ainda maior.

8.7. Conclusões e Diagnóstico Final

Tendo em vista as análises feitas, os resultados obtidos nos ensaios complementares, a verificação estrutural e o grau de degradação da edificação, conclui-se que o prédio pode ser recuperado em suas áreas atingidas pelo sinistro. Neste caso, obtém-se um diagnóstico otimista e a recuperação da edificação é economicamente viável, podendo ser executado um projeto de reforço e recuperação do prédio.

9. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **"Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo"** – NBR. Rio de Janeiro, RJ, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **"Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo"** – NBR 5627. Rio de Janeiro, RJ, 1980.

CÂNOVAS, M.F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** São Paulo: PINI, 1988.

FERREIRA, S.G. Ação do incêndio nas Estruturas de Concreto Armado: consequências e recuperação. Em: Colóquio sobre Patologia do Concreto e Recuperação das Estruturas. São Paulo: IBRACON, 1978.

KLEIN, D.L.; CAMPAGNOLO, J.L.; GASTAL, F.P.S.L. **Vistoria Técnica do Prédio do Condomínio Edifício Cacique após o Sinistro de 26/06/1996.** Relatório Técnico 08/96 do LEME/UFRGS, 67 páginas, 30 de julho de 1996. Porto Alegre, Brasil.

KLEIN, D.L.; CAMPAGNOLO, J.L.; GASTAL, F.P.S.L. **Vistoria Técnica do Prédio do Condomínio Edifício Cacique: Avaliação de Recuperação.** Relatório Técnico 01/97 do LEME/UFRGS, 74 páginas, 24 de janeiro de 1997. Porto Alegre, Brasil.

KLEIN, D.L. Ação do Fogo em Edificações: Metodologia de Análise. Em: Anais do III Congreso Uruguayo y II Congreso Regional de Gestión de la Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción. Dezembro 2008 – Montevideo – Uruguay.