



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DE RISCOS DE  
INCÊNDIOS BASEADA NO DESEMPENHO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
POR**

**DEUSARINA PEREIRA LINS**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte, PhD**

**Recife**

**Outubro/ 2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DE RISCOS DE INCÊNDIOS**  
**BASEADA NO DESEMPENHO**

**Deusarina Pereira Lins**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, sob a orientação da Professora Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Recife**  
**Outubro/ 2006**

**L759p**

**Lins, Deusarina Pereira.**

Uma proposta para o gerenciamento de riscos de incêndios baseada no desempenho. – Recife: O Autor, 2006.  
v, 58 folhas. : il. ; fig., tabs.

Monografia (TCC) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Depto. De Engenharia de Produção, 2006.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Engenharia de Produção. 2. Incêndios - Edificações. 3. Incêndios - Gerenciamento. I. Título.

658.5 CDD (22.ed.)

UFPE  
**BCTG/2006-110**

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, Henrique e Armanda  
Lins que sempre colocaram a educação como prioridade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido a conclusão do meu curso com este trabalho, fruto de muito empenho e conhecimentos acumulados no percorrer destes mais de quatro anos.

Agradeço aos meus pais Henrique e Armanda Lins por me ensinarem que esforço dignifica o homem e que o estudo é o melhor dos investimentos.

Agradeço à professora Dayse pela paciência e pela orientação em minha vida profissional durante estes anos de convivência. Tenho grande admiração por sua humildade, mesmo sendo a grande profissional que é.

Agradeço a Hugo por se fazer presente em minha vida e me ajudar a superar obstáculos tanto presentes.

Agradeço aos grandes amigos que fiz nesta universidade e desejo muito sucesso para todos.

## RESUMO

Incêndios são responsáveis por grandes calamidades ocorridas ao longo da história. Para uma organização, um episódio como este pode significar perdas por parada de produção, abalo da imagem perante o cliente e custos adicionais na recuperação de edifícios, móveis e documentos.

Existe, porém, uma percepção enraizada em nossa cultura de que incêndios são eventos raros, e, dessa forma, não são merecedores de atenção. Ainda são poucas as empresas que investem em medidas para evitar sua ocorrência; Boa parte das empresas brasileiras limitam-se ao cumprimento das exigências impostas pelas legislações de segurança contra incêndios.

Este trabalho procura contribuir na formação de uma nova percepção dos riscos de incêndio, defendendo o fato de que investimentos em ações de contenção de incêndios não são inválidos. Aqui é demonstrado que uma devida relevância ao assunto e a tomada de medidas simples, de relativo baixo custo, são muitas vezes suficientes para diminuir a susceptibilidade de uma organização a este evento.

***Palavras-chave:*** Incêndios em edificações, Gerenciamento de riscos de incêndios baseado no desempenho.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
1.1	Justificativa .....	11
1.2	Objetivos .....	11
1.2.1	Objetivo geral .....	11
1.2.2	Objetivos específicos .....	11
1.3	Metodologia .....	11
2	REVISÃO TEÓRICA .....	13
2.1	Incêndios em ambientes fechados .....	13
2.2.1	Etapa de crescimento do incêndio .....	14
2.1.2	Etapa de desenvolvimento do incêndio .....	19
2.1.3	Etapa de decaimento do incêndio .....	20
2.2	O método AHP .....	20
3	INTERAÇÃO ENTRE O INCÊNDIO E A EDIFICAÇÃO .....	24
3.1	Incêndio versus a edificação .....	28
3.2	Movimentação dos gases tóxicos e da fumaça pela edificação .....	30
3.3	Movimentação das pessoas .....	32
3.4	Desempenho das barreiras .....	34
3.4.1	Comportamento dos materiais em incêndios .....	35
3.5	Sala de origem .....	37
3.5.1	Critérios para escolha da sala de origem .....	37
4	ESTUDO DE CASO: INCÊNDIO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR .....	40
4.1	Descrição do evento .....	41
4.2	Reconstituição do cenário .....	45
4.3	Estudo da interação entre o incêndio e a edificação .....	46
4.3.1	Escolha da sala de origem .....	46
4.3.1.1	Critérios para escolha da sala de origem .....	47
4.3.1.2	Resultados obtidos com a aplicação do AHP .....	49

4.3.2	Desenvolvimento do incêndio na sala de origem .....	50
4.3.3	Análise da propagação do incêndio além da sala de origem .....	53
4.3.4	Recomendações .....	53
4.4	Comparação de resultados .....	54
5	CONCLUSÃO .....	55
	BIBLIOGRAFIA .....	56
	APÊNDICE .....	57

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1</i>	<i>Curvas genéricas de um incêndio e uma explosão .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2.2</i>	<i>Curva típica do comportamento de um incêndio .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.3</i>	<i>Pluma de fogo .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.4</i>	<i>Desenvolvimento da pluma de fogo culminando em flashover .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.5</i>	<i>Influência do tipo de material de revestimento de teto no tempo para ocorrência do flashover .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.6</i>	<i>Fatores que interferem o potencial de crescimento de um incêndio .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.7</i>	<i>Influência das barreiras na velocidade de desenvolvimento da chama .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.8</i>	<i>Organograma para escolha de um carro esporte .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.1</i>	<i>Modelo para o gerenciamento de riscos de incêndios .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.2</i>	<i>Relação entre HRR e o tempo .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.3</i>	<i>Contribuição do teto falso para espalhamento da fumaça (e conseqüente espalhamento da chama) na edificação .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.1</i>	<i>AESA/ CESA .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.2</i>	<i>Comparação de resposta a vários tipos de notificação de um incêndio .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.3</i>	<i>Setor administrativo do pavimento superior localizado no bloco principal da instituição .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.4</i>	<i>Rota do incêndio .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.5</i>	<i>Área atingida pelo incêndio .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.6</i>	<i>Sala de arquivos após o incêndio .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.7</i>	<i>Hall de passagem para wc feminino .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.8</i>	<i>Impacto estrutural no pavimento térreo, logo abaixo da sala de arquivos .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.9</i>	<i>Sala de arquivos .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4.10</i>	<i>Organograma de seleção da sala de origem .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.11</i>	<i>Rotas de fuga da edificação .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4.12</i>	<i>Raios de alcance do calor liberado pela combustão dos materiais .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.13</i>	<i>Possíveis rotas do fogo dadas fontes de ignição .....</i>	<i>52</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1</i>	<i>Matriz de comparação dos critérios de desempenho .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2.2</i>	<i>Matriz de comparação dos critérios de desempenho .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 2.3</i>	<i>Normalização da matriz de comparação .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 2.4</i>	<i>Pesos dos critérios de desempenho .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 3.1</i>	<i>Valores NFPA 92B para etapa de crescimento do incêndio .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 3.2</i>	<i>Tipos de alarmes de incêndio utilizados na pesquisa .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 3.3</i>	<i>Comparação de resposta a vários tipos de notificação de um incêndio .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 4.1</i>	<i>Máximo fluxo de queima (m") .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 4.2</i>	<i>Calor de combustão efetivo (<math>\Delta H_c</math>) .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 4.3</i>	<i>Cálculo da taxa de calor liberado .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 4.4</i>	<i>Raio de alcance do calor liberado pela combustão dos materiais .....</i>	<i>51</i>

# **1 INTRODUÇÃO**

Hoje incêndios causam as mais frequentes e severas perdas no mundo inteiro. Estima-se que nos Estados Unidos os custos anuais provindos de incêndios estão em torno de \$85 bilhões de dólares; No Reino Unido, as perdas diretas ocasionadas por este tipo de evento chegam a \$ 1 bilhão de libras, tendo em média mais de 800 fatalidades ao ano.

O Brasil vem sofrendo grandes perdas financeiras, sociais e ambientais decorrentes dos incêndios que afetam plantas de processamento, edificações, espaços urbanos e áreas verdes. Porém, a falta de uma política nacional aliada à inconsistência dos dados estatísticos de incêndios impede a visualização da dimensão exata dos fatos.

Para efeito de ilustração, ao assumir que as perdas em nosso país chegam a 20% das do Reino Unido, chega-se a um total de \$200 milhões de libras, o que equivale a R\$ 425 milhões de Reais a cada ano.

Por causa dos grandes danos sociais e das perdas econômicas relacionadas a incêndio, fez-se relevante entender a sua anatomia, estimar as suas conseqüências e estudar medidas de prevenção.

No Brasil, o Governo, em seu papel de tutor da sociedade, impõe às organizações a tomada de medidas de proteção capazes de assegurar o mínimo de segurança contra incêndios. As organizações, entretanto, estão livres para seguir um gerenciamento de riscos mais rebuscado.

A realidade, porém, mostra que existe uma tendência das organizações em tratar o gerenciamento de riscos de incêndios de forma sistemática, só atendendo às exigências mínimas das legislações estabelecidas pelo governo.

Desta forma, o que usualmente se vê são programas de gerenciamento de riscos de incêndios baseados em normas; O problema é que estas normas são derivadas de estudos de cenários genéricos, e não levam em consideração as peculiaridades existentes em cada local, espaço ou planta de processamento.

Isto significa dizer que um projeto para controle e extinção de incêndios baseado em normas pode estar super ou sub dimensionado, acarretando, nas duas hipóteses, custos vãos.

Em contra-partida a este tipo de gerenciamento de riscos de incêndio, surge o gerenciamento de riscos baseado no desempenho. Este tipo de gestão, ao contrário do supracitado, é direcionado pelas características individuais do local.

## **1.1 Justificativa**

Tendo em vista o exposto, o presente estudo busca incentivar o gerenciamento de riscos baseados no desempenho, demonstrando através de um estudo real a consistência e o emprego de capital eficaz que este método proporciona.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Demonstrar a eficiência dos projetos baseados no desempenho para gerenciamento de riscos de incêndio.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Entender a dinâmica dos incêndios;
- Levantar aspectos relevantes sobre a interação entre incêndio e edificação;
- Analisar o desempenho de uma edificação real diante de um incêndio;
- Determinar recomendações de medidas de prevenção contra incêndios baseadas no desempenho da edificação;
- Avaliar a eficiência das recomendações.

## **1.3 Metodologia**

A metodologia aplicada consiste basicamente numa pesquisa bibliográfica associada a um estudo de caso.

A partir de uma análise sobre um incêndio ocorrido em uma organização, foi verificado que as proteções contra incêndios dimensionadas não foram suficientes para conter o fogo em seu início. Daí surgiu a necessidade de entender e avaliar a metodologia para gerenciamento de riscos aplicada (metodologia prescritiva) e propor uma gestão de riscos de incêndio diferenciada, que tivesse uma maior probabilidade de obter sucesso na contenção de um incêndio. Os procedimentos metodológicos adotados no trabalho foram divididos em duas etapas distintas, a saber:

A primeira etapa é a revisão bibliográfica e está contida no capítulo 2; Ela aborda os seguintes aspectos:

- Análise do comportamento dos incêndios em ambientes fechados a fim de melhor compreender a complexidade e dinamicidade dos incêndios;
- Caracterização do método AHP – Analytic Hierarchy Process;

A segunda etapa consiste no estudo de um caso real, e é concentrada nos capítulos 3 e 4;

Nela são versados os seguintes aspectos:

- O desempenho dos elementos de uma edificação genérica (ocupantes, barreiras, etc) diante de um incêndio;
- Análise da ocorrência de um incêndio em uma edificação real;
- Reconstituição do cenário onde o incêndio ocorreu;
- Aplicar metodologias e conhecimentos adquiridos sobre a interação do incêndio e a edificação, ou seja, fazer a análise de desempenho dos elementos da edificação diante de um incêndio;
- Comparação das recomendações obtidas na aplicação dos métodos com o evento ocorrido.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

Para a melhor compreensão da metodologia, será feita uma breve contextualização dos assuntos que fundamentam este trabalho.

### 2.1 Incêndios em ambientes fechados

O incêndio é uma reação exotérmica de oxidação descontrolada, onde o consumo de elementos (sólidos, líquidos ou gasosos) acarreta na liberação de energia em forma de luz e calor.

O fenômeno de um incêndio se difere de uma explosão pela quantidade de energia liberada em determinado espaço de tempo. Enquanto que em uma explosão se verifica uma alta liberação de energia em um curto espaço de tempo, em um incêndio envolvendo a mesma quantidade de material, a liberação desta energia é dada de forma gradual.

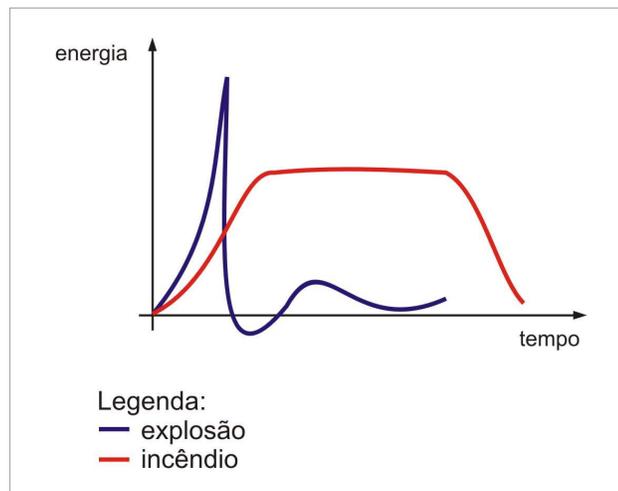


Figura 2.1 – Curvas genéricas de um incêndio e de uma explosão. Fonte: Duarte

Em ambientes confinados com volume de até aproximadamente  $100 \text{ m}^3$  é verificado o fenômeno *flashover*, que significa o total envolvimento do local por chamas através da transferência de calor dos gases aquecidos no teto, principalmente por radiação. Em ambientes abertos (ambientes com dimensões maiores que  $100 \text{ m}^3$  e não compartimentados), o fenômeno observado é o *spreadover*, ou seja, o envolvimento do ambiente é alcançado através da transferência de calor por convecção e condução entre os pacotes combustíveis.

Este trabalho limitar-se-á ao estudo de incêndios em edificações; Edificações podem ser definidas como espaços físicos compostos por  $n$  ambientes fechados (i.e., salas), dispostos nos planos horizontais e/ ou verticais, os quais se integram a partir de um conjunto arquitetônico proposto. Sendo assim, a revisão teórica proposta neste trabalho será limitada ao estudo do incêndio em locais cujo volume não seja superior a  $100 \text{ m}^3$ .

O tempo de queima e a magnitude atingida em incêndios variam bastante; estes valores são modificados a depender de diversos fatores, como material combustível, ventilação, etc.

Apesar disto, incêndios em ambientes fechados podem ser caracterizados de maneira genérica através de etapas distintas, que são baseadas na ocorrência de eventos. Em um incêndio em ambiente fechado, os estágios típicos sem que haja intervenção no sentido extingui-lo são o crescimento, o desenvolvimento e o decaimento.

A primeira etapa, chamada de crescimento do incêndio, compreende a ignição, o estabelecimento da chama e todo o período que antecede o *flashover*. O desenvolvimento do incêndio (a segunda etapa) é iniciado após o *flashover*, sendo estendido até que 80% do combustível presente no ambiente tenha sido consumido; A partir daí a terceira etapa, denominada decaimento do incêndio, é iniciada. Nesta etapa, observa-se a redução da temperatura a aproximadamente 80% do seu valor máximo. A figura 2.2 explicita estes três períodos em uma curva genérica de um incêndio, onde IG significa ignição e EC, estabelecimento da chama.

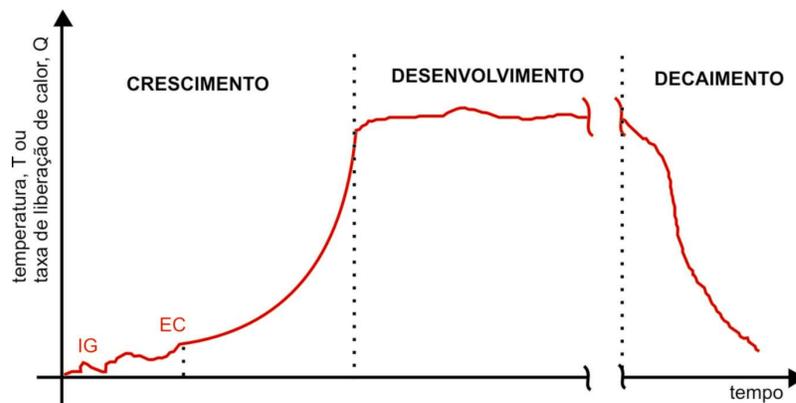


Figura 2.2 – Curva típica do comportamento de um incêndio. Fonte: Buchanan

### 2.1.1 Etapa de crescimento do incêndio

O conhecimento sobre esta etapa é fundamental para a gestão de incêndios, pois ela é decisiva para a proteção das pessoas presentes no ambiente. É nela que devem ser

concentrados os esforços para manutenção da vida, pois em determinado período, mais precisamente após o flashover, a sobrevivência torna-se impossível devido às condições extremas de calor, temperatura e concentração de gases tóxicos.

O crescimento do incêndio será iniciado após o estabelecimento da chama, ou seja, uma vez estabelecida a chama, a probabilidade de que ela atinja combustíveis próximos à fonte de ignição e envolva todo o ambiente é alta, a menos que haja algum tipo de prevenção para controlar ou extinguir completamente o fogo.

Detectores de fumaça, de calor e os sistemas de *sprinklers* são projetados e dimensionados para operar nesta etapa, antes da ocorrência do *flashover*.

A velocidade de crescimento do incêndio irá depender da geometria e arranjo físico do combustível, bem como de suas características químicas. O incêndio poderá também ser restringido pela quantidade de oxigênio, isto é, pela ventilação.

Durante o crescimento do incêndio, o ar entra na zona de combustão e a chama se desenvolve, formando uma coluna de gases quentes, denominada pluma de fogo, que tende a subir devido a sua menor densidade; Logo a pluma do fogo é interrompida pelo teto, formando uma camada de gases quentes conforme representado na figura 2.3.

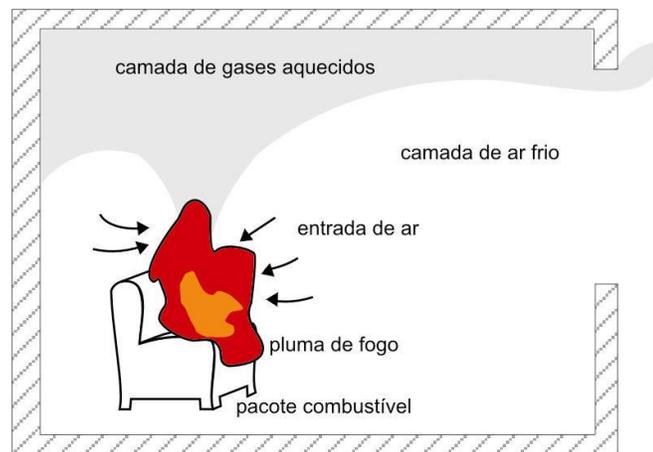


Figura 2.3 – Pluma de fogo. Fonte: Drysdale

À medida que os gases quentes descem, atingindo possíveis aberturas existentes no ambiente estes saem e um novo suprimento de ar que entra no ambiente através das aberturas existentes intensifica a chama, aumentando como consequência a quantidade de calor e gases no meio. A camada de gases aquecida irradia calor para outros combustíveis presentes no ambiente que ainda não sofreram ignição, criando as condições para o *flashover*.

O critério para este fenômeno é alcançado quando a temperatura das camadas de gases atinge  $500^{\circ}\text{C}$ , ou quando o nível de radiação no chão é de aproximadamente  $20\text{kW}/\text{m}^2$ . Durante o *flashover* todos os pacotes combustíveis presentes no ambiente queimam simultaneamente, envolvendo todo o ambiente em chamas:

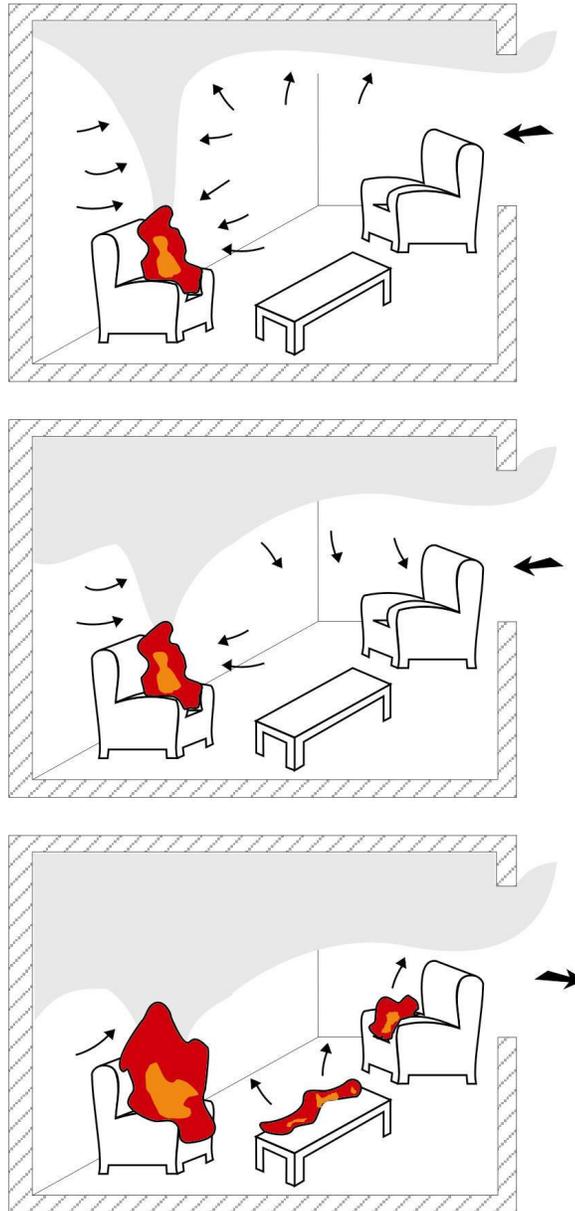


Figura 2.4 – Desenvolvimento da pluma de fogo culminando em flashover. Fonte: Buchanan

A mínima energia necessária para que o *flashover* seja atingido depende das dimensões do ambiente e da ventilação. Se existir pouca ventilação no ambiente, o *flashover* não ocorrerá; por outro lado, se houver muita ventilação, os gases aquecidos serão resfriados e a temperatura crítica ( $500 - 600^{\circ}\text{C}$ ) não será alcançada. O tempo necessário para o

envolvimento do ambiente em chamas é função dos materiais de revestimento das paredes e do teto.

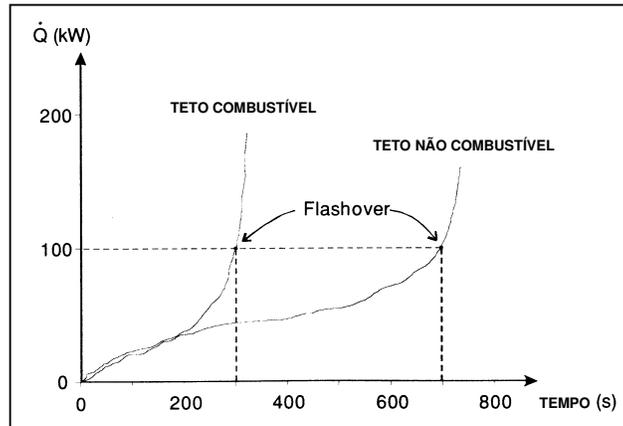


Figura 2.5 - Influência do tipo de material de revestimento de teto no tempo para ocorrência do flashover.

Fonte: Karlsson & Quitiere

Observa-se que, para uma mesma taxa de calor liberado, o tempo para a ocorrência do *flashover* num ambiente com teto combustível será menor do que no mesmo ambiente com o teto não combustível.

Os fatores que influenciam no crescimento de um incêndio são apresentados na figura 2.6.

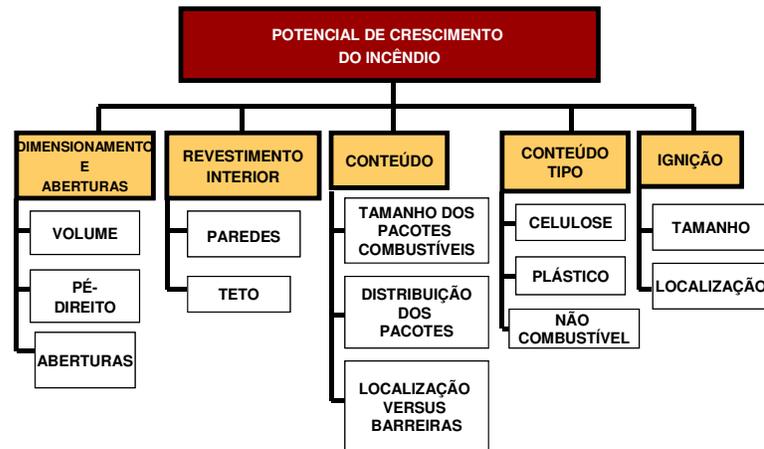


Figura 2.6 - Fatores que interferem o potencial de crescimento de um incêndio. Fonte: Fitzgerald

#### a) Aberturas/ condições de ventilação

Na etapa de crescimento, o incêndio é predominantemente regido pela ventilação do meio, isto é, pela quantidade de ar que entra no ambiente. É possível identificar dois parâmetros relacionados à ventilação de um ambiente que interferem no crescimento da chama: as dimensões das aberturas e os tipos de aberturas.

Pesquisas realizadas sugerem que a velocidade de queima é diretamente relacionada à geometria da janela, descrita pela seguinte relação:  $A\sqrt{H}$ , onde “A” representa a área da janela e “H” representa a sua altura. Esta relação indica que janelas baixas permitirão uma maior velocidade de queima, pois quanto maior for a relação  $A\sqrt{H}$ , maior será a velocidade de queima.

#### b) Revestimento interior

A reação ao fogo dos materiais contidos na edificação, quer seja mobiliários (estofamentos, cortinas, objetos de decoração, etc), quer seja como agregados aos elementos construtivos (revestimentos de piso, teto, paredes), destaca-se como um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento e propagação das chamas e pelo desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos.

Para que haja limitação do crescimento da chama, é preciso um controle da quantidade e características dos materiais de revestimento utilizados no ambiente. Os materiais empregados no acabamento/ revestimento de pisos, tetos e paredes podem influenciar na evolução de um incêndio; É comum o uso de materiais de fácil combustão como laminados de madeira, isopor e até materiais condutores para acabamentos mais baratos e até mesmo mais atrativos (maior apelo arquitetônico).

#### c) Conteúdo

Se os conteúdos materiais encontram-se distribuídos em toda a área do ambiente e observa-se uma boa separação entre eles, então o crescimento e expansão da chama serão minimizados. Porém, se o mobiliário estiver posicionado de tal forma que os objetos estejam próximos uns dos outros, esses formarão um mesmo pacote combustível; Logo, a transferência de calor entre eles será facilitada.

A maneira como os pacotes combustíveis encontram-se distribuídos no ambiente também interfere no potencial de crescimento do incêndio. A figura 2.7 mostra que quando o pacote combustível está próximo à quina da barreira a velocidade de propagação do incêndio é quatro vezes maior do que se esse não estivesse próximo às paredes.

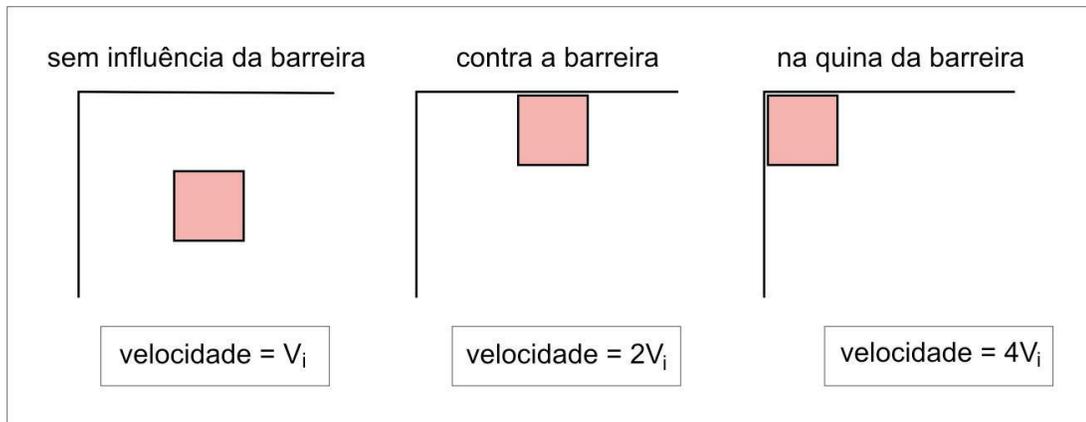


Figura 2.7 – Influência das barreiras na velocidade de desenvolvimento da chama. Fonte: Zukoski

#### d) Tipo de conteúdo

O tipo de conteúdo também deve ter suas características combustíveis controladas a fim de minimizar o risco de ocorrência e propagação de um incêndio num determinado ambiente. É possível identificar quatro classes de combustíveis a saber:

- Combustíveis sólidos de elevada densidade: São aqueles onde o crescimento da chama pode ser classificado como muito lento ou lento. Exemplo: mesa sólida de madeira;
- Combustíveis sólidos de baixa densidade: O crescimento da chama aqui é moderado; São exemplos colchões, cadeiras, etc;
- Objetos finos: Sua característica é tal que o crescimento da chama pode ser classificado como rápido. Exemplos: papel, caixa, cortina, etc;
- Combustíveis líquidos ou combustíveis muito voláteis: O crescimento da chama é ultra-rápido.

#### 2.1.2 Etapa de desenvolvimento do incêndio

O desenvolvimento completo do incêndio é importante quando se considera a proteção da propriedade, a estabilidade estrutural da edificação e a possibilidade do incêndio propagar-se para propriedades ou espaços adjacentes. Nessa etapa a temperatura do ambiente chega a atingir 1000°C.

O período do desenvolvimento do incêndio é controlado pela ventilação, ou seja, a velocidade de queima é controlada pelo número de aberturas presentes no ambiente. Em geral chamas projetadas pela janela indicam que o incêndio é controlado pela ventilação.

Por outro lado, se a quantidade de oxigênio é abundante então a velocidade de queima (i.e. propagação da chama) se tornará independente da ventilação, quando isto ocorre, a taxa de queima passa a ser controlada pelo combustível.

A transição de um incêndio controlado pela ventilação para um incêndio controlado pelo combustível depende fundamentalmente da área superficial do combustível. A duração do período de desenvolvimento do incêndio é função da quantidade de combustível e da ventilação do ambiente.

### 2.1.3 Etapa de decaimento do incêndio

Após o período de desenvolvimento a intensidade do incêndio diminui devido ao consumo do combustível disponível. Quando este consumo atinge um valor crítico, que seja incapaz de manter a propagação da chama, o incêndio passa para o período de decaimento.

A transição entre o período desenvolvimento e o período de decaimento é definida quando aproximadamente 80% do combustível foi consumido, passando o incêndio a ser novamente controlado pelo combustível. Durante este período o incêndio diminui de intensidade continuamente até que todo o combustível seja consumido. Esta etapa também pode ser chamada de Fase de Resfriamento.

## 2.2 O método AHP

Existem muitos modelos propostos que auxiliam gestores a tomar decisões em situações complexas; Entre eles o AHP – analytic hierarchy process - se destaca pela sua simplicidade e abrangência. Ele possibilita que se faça decisões complexas tanto individuais como em grupo pela simplificação do nosso processo decisório natural.

O método consiste em uma poderosa ferramenta que incorpora julgamentos e valores pessoais de uma maneira lógica, dando resultados quantitativos de onde são derivadas as soluções desejadas. O AHP também pode se utilizado para testar a sensibilidade ou tendenciosidade da solução, ajudando aos decisores a realizar ajustes em suas opiniões.

A primeira etapa da aplicação do AHP consiste em se definir a situação cuidadosamente, incluindo tantos quantos detalhes relevantes possíveis. O próximo desafio é estruturar este problema em um fluxograma, de modo que fique clara a interação entre os elementos e também a hierarquia existente entre eles.

Deste modo, ao analisarmos por exemplo, um problema sobre qual seria a melhor compra para um carro esporte, tentaríamos enumerar qualidades relevantes para o consumidor, tais como conforto, prestígio, valor de mercado, manutenção, etc. ao estruturarmos um fluxograma deste problema, teríamos algo parecido com isto:



Figura 2.8 - Organograma para escolha de um carro esporte. Fonte: a autora

O segundo passo é a definição de prioridades. É nesta etapa que julgamentos e valores pessoais são convertidos em argumentos quantitativos. Aqui a experiência, o conhecimento e a imaginação são as chaves para que a solução não contenha vícios. Cada elemento do fluxograma receberá um peso, o qual deve estar relacionado com a importância de determinado critério em relação aos outros, ou seja, com a hierarquização deste com relação aos outros elementos avaliados.

Para se fazer a hierarquização destes critérios, calculando os pesos, é montada uma matriz de comparação onde cada elemento será comparado ao outro e receberá, com relação a esta comparação, um valor entre 1 e 9 (onde 1 representa igual importância e 9, extrema importância). Para um consumidor que passa muito tempo dirigindo e presa pela economia, teríamos a seguinte matriz de comparação:

Tabela 2.1 – Matriz de comparação dos critérios de desempenho. Fonte: a autora

	conforto	prestígio	valor de mercado	manutenção
conforto	1	5	2	1
prestígio	1/5	1	1/3	1/5
valor de mercado	1/2	3	1	1/2
manutenção	1	1/5	2	1

Isso significa dizer que, para este perfil de consumidor o conforto, por exemplo, é fortemente mais importante que o prestígio e que a manutenção é moderadamente mais importante que o valor de mercado do automóvel. Para definirmos os pesos, fazemos a seguinte seqüência de cálculos:

O primeiro passo é realizar a sintetização de julgamentos, que é simplesmente a soma dos valores das colunas.

*Tabela 2.2 – Matriz de comparação dos critérios de desempenho. Fonte: a autora*

	conforto	prestígio	valor de mercado	manutenção
conforto	1	5	2	1
prestígio	1/5	1	1/3	1/5
valor de mercado	1/2	3	1	1/2
manutenção	1	1/5	2	1
<b>sintetização de julgamentos</b>	<b>2.7</b>	<b>9.2</b>	<b>5.33</b>	<b>2.7</b>

O segundo passo é o cálculo da matriz normalizada, que é obtida pela divisão dos elementos da matriz de comparação pelos respectivos valores obtidos na sintetização de julgamentos.

*Tabela 2.3 – Normalização da matriz de comparação. Fonte: a autora*

	conforto	prestígio	valor de mercado	manutenção
conforto	0.37	0.54	0.37	0.37
prestígio	0.07	0.11	0.06	0.07
valor de mercado	0.18	0.33	0.19	0.18
manutenção	0.37	0.02	0.37	0.37

O terceiro e último passo é o cálculo da média dos valores de cada linha. Esta média é o peso relativo que cada critério possui.

*Tabela 2.4 – Pesos dos critérios de desempenho. Fonte: a autora*

	conforto	prestígio	valor de mercado	manutenção	<b>soma</b>	<b>média</b>
conforto	0.37	0.54	0.37	0.37	<b>1.65</b>	<b>0.41</b>
prestígio	0.07	0.11	0.06	0.07	<b>0.31</b>	<b>0.08</b>
valor de mercado	0.18	0.33	0.19	0.18	<b>0.88</b>	<b>0.22</b>
manutenção	0.37	0.02	0.37	0.37	<b>1.13</b>	<b>0.28</b>

Diante deste resultado, podemos concluir que este cliente dará prioridade a um carro que proporcione maior conforto e que tenha um melhor custo de manutenção.

Para testar a sensibilidade dos resultados, ou seja, para verificar se os julgamentos contêm algum vício, é feito o cálculo de consistência da matriz de comparação.

### **3 INTERAÇÃO ENTRE O INCÊNDIO E A EDIFICAÇÃO**

Os incêndios sempre foram uma realidade. Desde a Roma antiga até o grande incêndio ocorrido em Londres no ano de 1666, os incêndios eram tidos como algo natural, assim como as doenças; Logo não podiam ser evitados, sendo considerados como azar ou punição divina. No incêndio ocorrido em Londres no ano de 1666 as chamas destruíram 80% da cidade, consumindo casas, igrejas e estabelecimentos comerciais. A partir deste marco, surgiram predominantemente as companhias de seguro, sedimentando a já contorcida visão do fenômeno.

Segundo Ramachandran (1998) nos EUA os custos com incêndios representam 0,813% do PIB. Na Dinamarca esse custo é de 0,864% e no reino Unido é de 0,729% do PIB. Segundo Schaenman (1995) o Canadá possui um custo anual com incêndios na ordem de US\$ 11 bilhões. Desta forma, os custos de incêndio podem proporcionar uma desestruturação econômica no desenvolvimento dos países pelo fechamento e desarticulação de grandes empresas.

Segundo Meade (1991) 40% dos negócios de pequeno porte que são segurados nunca mais reabrirão após a ocorrência de um incêndio, tendo em vista que os empregados de maior habilidade estarão sendo realocados em outras empresas, os clientes serão perdidos para a concorrência e a imagem da empresa ficará abalada.

Após um incêndio na Wabasso Ltd, uma das maiores empresas do segmento têxtil do Canadá, a organização nunca mais conseguiu reaver seu mercado totalmente, recuperando apenas 8% desta perda. Isso proporcionou uma queda em seu fluxo de caixa e conseqüentemente um pedido de falência.

A constante ocorrência de desastres como estes levou autoridades no mundo inteiro a pensar a respeito de medidas efetivas de se prevenir e combater incêndios. Assim, o entendimento sobre a dinâmica dos incêndios tornou-se fundamental e, desde então, esforços foram feitos no sentido de criar meios efetivos para a detecção e controle dos incêndios.

No Brasil, as medidas de proteção contra incêndios existentes no início do século XX eram muito tímidas e bastante ineficazes até que os incêndios ocorridos nos edifícios Joelma e Andraus em São Paulo nas décadas de 70. Estes acidentes levaram a morte de inúmeras pessoas e abalaram a população em todo o país, levando à tona a discussão sobre segurança contra incêndio das edificações.

Os planos e medidas tomados para a detecção e controle do crescimento do incêndio e sua conseqüente contenção ou extinção estão previstos no gerenciamento de riscos de

incêndio. O gerenciamento de riscos de incêndios pode ser realizado segundo códigos prescritivos (diretrizes genéricas) ou por meio de estudos direcionados às peculiaridades das ocupações (baseado no desempenho da edificação).

Os códigos prescritivos são predominantes. Eles são normas criadas a partir de experiências passadas. Suas recomendações para medidas de prevenção contra incêndios são baseadas em análises e cálculos sistemáticos, com larga utilização de tabelas e limites classificatórios.

Estas recomendações são bastante genéricas e não deixam claro quais as suas intenções. Somando-se a isto, há a percepção enraizada na cultura ocidental de que incêndios são eventos raros e difíceis de serem previstos. Desta forma, é comum que o gerenciamento de riscos de incêndios seja visto não como um investimento, mas sim como custo.

Muitos países (incluindo o Brasil) obrigam as organizações a seguir pelo menos as recomendações contidas nestes códigos, deixando-as livres para incrementar este projeto de gerenciamento de riscos; Mas isso muitas vezes não acontece.

Mesmo com a existência deste mínimo obrigatório, hoje ainda se verifica milhões de mortes e prejuízos da ordem de bilhões de dólares em perdas diretas devido a incêndios em edificações em todo o mundo, colocando em xeque a verdadeira eficácia deste tipo de estratégia.

É verificada a necessidade de uma nova maneira de agir e pensar e em alternativa a estas normas surgem os projetos baseados no desempenho, que procuram dar forma a um plano de segurança de riscos de incêndio individual, feitos sob medida para cada tipo de ocupação; Este segundo meio tem-se mostrado bastante efetivo.

Diz-se que é uma nova maneira de pensar porque para que uma organização se comprometa com este conceito, é fundamental que esteja convencida da importância do gerenciamento de riscos de incêndio e das vantagens e eficiência de um projeto baseado no desempenho.

Utilizando códigos prescritivos, as organizações muitas vezes investem em medidas sub ou super dimensionadas, o que, nos dois casos, significam custos desnecessários. Um projeto baseado no desempenho da edificação possui uma menor probabilidade de gerar recomendações sub ou super dimensionadas.

Além disso, com os códigos prescritivos, as organizações não sabem ao certo o porquê do investimento. Na maioria das vezes há simplesmente a instalação de sistemas como os de alarme, chuveiros automáticos, etc, não ficando claro o motivo de suas exigências.

Em contra-partida, no gerenciamento de riscos baseado no desempenho os riscos são mais claramente identificados, proporcionando uma maior abertura para a participação dos gestores do negócio e um melhor entendimento sobre as medidas de proteção dimensionadas.

A aplicação sistemática contida nos códigos muitas vezes não permite que sejam detectados diferentes graus de risco em um mesmo local. Sendo assim, as recomendações são focadas na atividade principal da área, dando margem para que pontos de grande risco sejam ignorados.

Nos projetos baseados no desempenho há uma análise detalhada dos elementos da edificação; Isso contribui para uma melhor identificação dos pontos críticos existentes, gerando, assim, um dimensionamento mais adequado.

Sendo assim, o gerenciamento de riscos proposto neste trabalho será voltado para esta nova maneira de pensar e agir. A figura 3.1 demonstra um modelo para o gerenciamento de riscos de incêndio baseado no desempenho, cujo uso é indicado para análises de edificações. Ele será utilizado no estudo de caso.

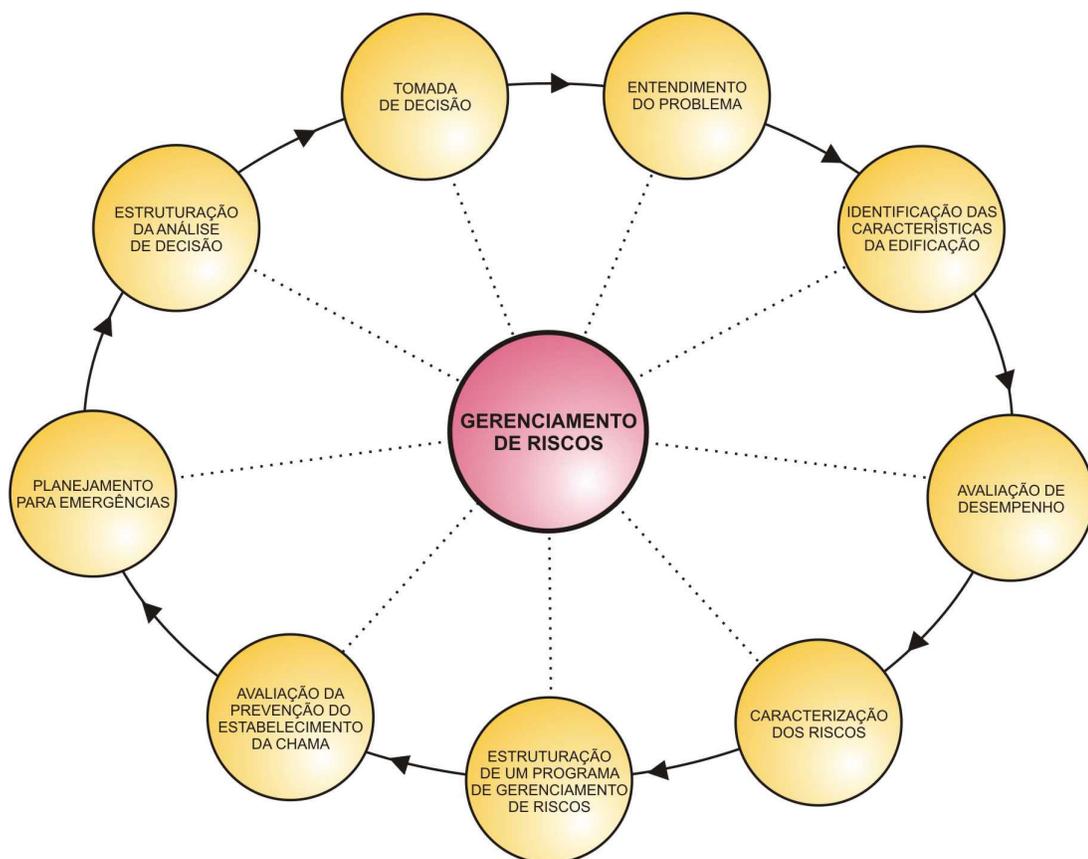


Figura 3.1 – Modelo para o gerenciamento de riscos de incêndios. Fonte: Fitzgerald

**Entendimento do problema:** Compreende no entendimento sobre a edificação bem como sobre as atividades, isto é, os processos que ela abriga.

**Identificação das características da edificação:** Esta atividade define os detalhes da edificação, tendo por intenção oferecer os subsídios necessários para a avaliação de desempenho e caracterização dos riscos.

**Avaliação de desempenho:** Tem por objetivo avaliar e quantificar o desenvolvimento do incêndio em relação ao impacto térmico e à fumaça.

**Caracterização dos riscos:** Objetiva responder ao seguinte questionamento: Qual o impacto do incêndio para as pessoas, propriedades e meio ambiente? Nesta etapa são listadas vulnerabilidades da edificação e os impactos imediatos e mediatos que um incêndio pode provocar.

**Estruturação de um programa de gerenciamento de riscos de incêndio:** Só é possível após a quantificação da energia liberada pelo incêndio e a análise do seu impacto, para que as medidas de prevenção não sejam sub ou super dimensionadas.

**Avaliação da prevenção do estabelecimento da chama:** Este primeiro passo de uma análise de riscos tradicional é intencionalmente suspenso até que os riscos sejam entendidos; É mais útil entender as conseqüências de uma ignição inoportuna isoladamente, pois desta maneira as funções das prevenções contra incêndios são reconhecidas mais facilmente.

A prevenção do estabelecimento da chama possui duas componentes: A primeira é a separação de fontes de calor de combustíveis. A segunda é a prevenção de crescimento de uma chama estabelecida pela supressão por sistemas automáticos ou pelos ocupantes.

**Planejamento para emergências:** Esta atividade se baseia no entendimento da função da edificação, das operações nela realizadas, no sistema de defesa de incêndios e as necessidades do negócio. Ela consiste na formulação de um plano de direcionamento de atividades antes, durante e após o incidente.

**Estruturação da análise de decisão:** Aqui são comparados cursos de ações alternativos de modo que os impactos das decisões possam ser visualizados. Características como custos e eficiência são também levadas em consideração.

**Tomada de decisão:** A decisão pode ser inclusive a de fazer nada, desde que ela seja tomada com base no desempenho da edificação e seus riscos.

A seguir, serão abordados conhecimentos a cerca do comportamento dos elementos da edificação (pessoas, móveis, estrutura, etc) diante de um incêndio.

### 3.1 Incêndio versus a Edificação

O design ou projeção do comportamento de um incêndio serve para o dimensionamento de sistemas de controle de calor e fumaça como os *sprinklers*. O design de um incêndio pode ser baseado em um comportamento estático, onde não existe uma influência relevante de variáveis externas, ou pode ser baseado em um comportamento dinâmico, onde elementos como ventilação ou diferentes tipos de combustíveis influenciam diretamente na curva do incêndio. É de se esperar que o design do segundo tipo de incêndio se aproxima mais da realidade, proporcionando um melhor dimensionamento de medidas de proteção, porém exige maior preparo por parte do projetista.

Provavelmente o aspecto mais importante de um incêndio em uma edificação é a taxa de calor liberado (HRR – *Heat release rate*), pois a temperatura e a quantidade de gases produzidos por um incêndio estão diretamente ligadas ao HRR.

Antigamente o HRR era estimado de acordo com a perda de massa sofrida e o calor liberado por um material em combustão. Porém este método não é muito confiável, pois se o material atingisse uma temperatura muito alta a perda de massa teria pouca influencia no mensuramento do HRR. Além disso, os cálculos do HRR se tornavam muito complexos quando o objeto era composto por diversos materiais.

Sendo assim, hoje o HRR é estimado de acordo com a quantidade de oxigênio utilizada durante o incêndio. Esta metodologia é chamada de calorimetria de consumo de oxigênio (*oxygen consumption calorimetry*). Vários experimentos foram feitos ao longo destas duas últimas décadas com o objetivo de padronizar tipos de incêndio de acordo com os materiais combustíveis e o HRR liberado por eles.

O período de crescimento de um incêndio através da equação conhecida como *t-squared fire*:

$$Q = \alpha t^2 \quad (\text{equação 3.1})$$

Onde

Q = taxa de calor liberado (HRR) em kW/ s;

$\alpha$  = o coeficiente de crescimento do fogo, em kW/ s<sup>2</sup>;

t = tempo desde a efetiva ignição, em s.

A tabela 3.1 e a figura 3.2 apresentam os valores de Q,  $\alpha$  e t:

Tabela 3.1 – Valores NFPA 92B para etapa de crescimento do incêndio. Fonte: Klote & Mikle

valores NFPA 92B		classificação velocidade crescimento incêndio	materiais
$t_g$ (s)	$\alpha$ (kW/ s <sup>2</sup> )		
600	0.002931	lenta	combustíveis sólidos de densidade elevada (mesa sólida de madeira)
300	0.01127	média	combustíveis sólidos de baixa densidade (colchão, cadeira)
150	0.04689	Rápida	Objetos finos (papel, caixas, cortinas)
75	0.1878	Ultra rápida	Combustíveis líquidos ou muito voláteis

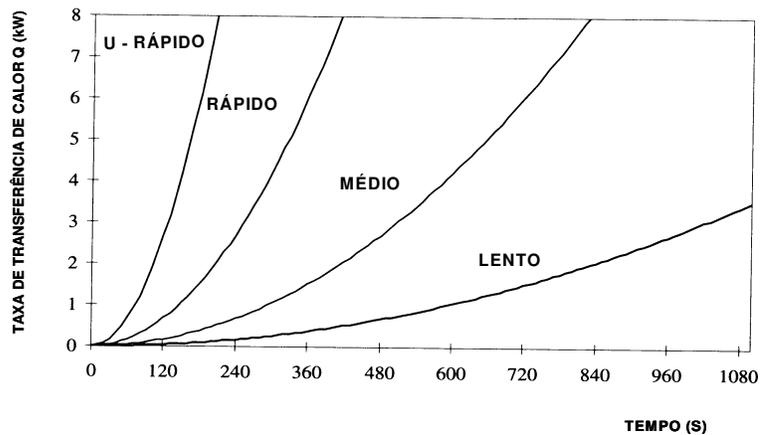


Figura 3.2 – Relação entre HRR e o tempo. Fonte: Klote & Mikle

A taxa de calor liberado – HRR ainda pode ser calculada pela equação:

$$Q = m'' A \Delta H_c \quad (\text{equação 3.2})$$

Onde:

$m''$  = fluxo de queima, em g/ m<sup>2</sup>. s;

A = área envolvida no incêndio, em m<sup>2</sup>;

$\Delta H_c$  = calor de combustão efetivo, em kJ/ g.

Outro aspecto relevante ao comportamento de um incêndio é o tipo de material combustível encontrado no ambiente. Um levantamento sobre o tipo de material fornecerá informações sobre o impacto ambiental dos incêndios (possíveis tóxicos e partículas liberadas). É importante também fazer levantamento de materiais transientes, ou seja, materiais que não fazem parte da configuração normal do local, mas que em determinada

época são encontrados. A exemplo destes materiais podem ser listados enfeites de natal, embalagens, tintas e solventes utilizados para manutenção, etc.

A queima destes materiais, dependendo do tipo e de como estão dispostos no ambiente, pode acarretar uma “contaminação” imediata de outros materiais vizinhos. Neste caso, a combustão será considerada em todos os materiais próximos que queimam em conjunto.

Ao conjunto de materiais que, pela quantidade de calor liberado por cada um e pela proximidade existente entre eles, ao sofrerem ignição imediatamente causam ignição nos outros se dá o nome de pacote combustível, conforme já mencionado. Um pacote combustível pode ser feito de inúmeros itens, tais como sofás, cadeiras, mesas, etc.

A chave para descobrir os itens que representam a base do pacote combustível é encontrar o raio de alcance do fluxo de calor radiante, dado pela equação:

$$R_{SD} = \sqrt{Q_r / 4\pi q_{r,i}} \quad (\text{equação 3.3})$$

$$Q_r = 0.3 Q \quad (\text{equação 3.4})$$

Onde:

$R_{SD}$  = Raio de alcance do calor radiante, em m;

$Q_r$  = HRR radiante, em kW;

$q_{r,i}$  = intensidade de radiação térmica necessária para ignições não pilotadas, em kW/ m<sup>2</sup>;

Possuirá variação de 10 kW/ m<sup>2</sup>, se o objeto for de fácil ignição, a 20 kW/ m<sup>2</sup>, se o objeto for grosso, de lenta combustão)

Objetos contidos no raio de alcance do calor liberado provavelmente irão ignar. Os objetos não contidos no raio provavelmente não entrarão em combustão.

### **3.2 Movimentação dos gases tóxicos e da fumaça pela edificação**

Fumaça é uma nuvem visível ou não de partículas sólidas e líquidas e gases envolvidos em um processo de pirólise (decomposição por efeito do calor) ou combustão. Os produtos de combustão geralmente incluem partículas, combustível não queimado, vapor d'água, dióxido de carbono, monóxido de carbono e outros gases tóxicos e corrosivos.

A análise de riscos levanta três pontos relevantes com relação à fumaça: toxicidade, temperatura e obscuridade. Embora a fumaça possa ser visível ou invisível, o primeiro caso é o mais comum e preocupante pela redução de visibilidade provocada. Frequentemente as pessoas ficam desorientadas e demoram mais a sair da edificação e, ficando muito tempo na edificação, podem se tornar vítimas da exposição aos gases tóxicos e ao calor irradiado.

Além da diminuição da visibilidade, são efeitos da fumaça sobre o ser humano: o lacrimejamento e irritação nos olhos, modificação da atividade orgânica pela aceleração da respiração e batidas cardíacas, vômitos, tosse, medo desorientação, intoxicação e asfixia.

Com a liberação de fumaça e sua conseqüente movimentação pelo ambiente, há a sua mistura com o ar, tornando-a menos concentrada. Como é menos densa que o ar, a fumaça tende a subir, se concentrando no teto; O alcance das escadas e dos corredores pela fumaça dependerá das aberturas existentes e da velocidade do ar nestes locais.

Além das aberturas e comunicadores existentes entre salas, a utilização de tetos falsos também contribui para o espalhamento da chama e fumaça, visto que o teto falso entra rapidamente em colapso, abrindo caminho para a contaminação de uma sala vizinha.

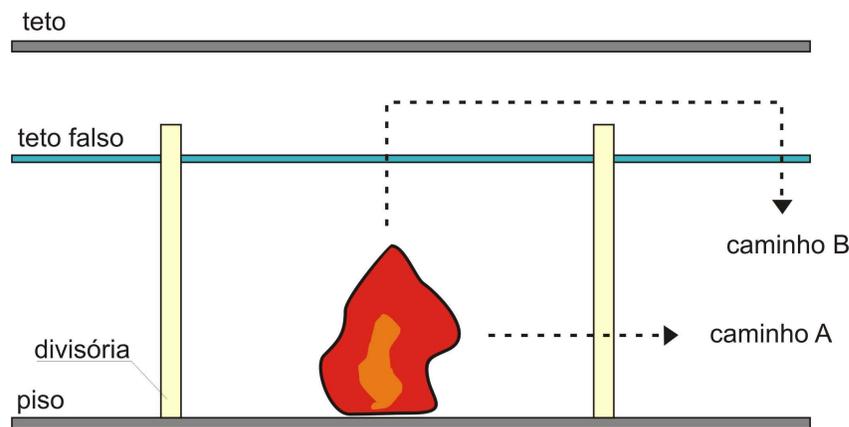


Figura 3.3 – Contribuição do teto falso para espalhamento da fumaça (e conseqüente espalhamento da chama) na edificação. Fonte: Procoro

Sistemas de gerenciamento de fumaça são projetados para atenuar a sua concentração no ambiente ou para prover o egresso dos ocupantes por locais protegidos do alcance da fumaça. Estes métodos podem ser utilizados singularmente ou em conjunto, alcançando maior eficiência.

O uso de barreiras, respiradouros e poços de fumaça são métodos tradicionais; Eles são limitados, pois as barreiras só atuarão até sua extensão, vazando a fumaça por seus limites. Por sua vez, a eficiência dos respiradouros de fumaça e dos poços de fumaça dependerão da fumaça ser suficientemente alta para não sucumbir a outras forças possivelmente presentes.

Em contrapartida a estes métodos, surgem outros mecanismos baseados na compartimentação, na diluição, na pressurização e no fluxo de ar.

A compartimentação consiste na construção de salas e áreas na edificação que ofereçam mecanismos de proteção contra o espalhamento do fogo. Muitos códigos internacionais

regulam a construção destes ambientes, incluindo especificação de critérios para portas e umificadores de fumaça.

A diluição usualmente está ligada à expulsão, remoção ou exaustão da fumaça. Este método pode ser efetivo em locais cuja quantidade de fumaça é muito pequena em relação ao volume total do ambiente ou na remoção de fumaça depois da extinção do incêndio. É preciso tomar cuidado com o uso deste mecanismo perto do fogo, pois como já explanado, a ventilação induz no seu desenvolvimento.

A pressurização, também conhecida como Controle de Fumaça, é um meio de separação do ambiente não atingido pelo incêndio do ambiente atingido, ficando este do lado com menor pressão. O ambiente com maior pressão pode ser utilizado como refugio ou como rota de egresso.

O fluxo de ar é um método extensivamente utilizado para gerenciamento de fumaça em locais subterrâneos (metrô subterrâneos, por exemplo), estradas de ferro e túneis. Não é recomendável o seu uso em edificações justamente porque este grande fluxo de ar irá contribuir consideravelmente no desenvolvimento do incêndio.

### **3.3 Movimentação das pessoas**

O comportamento e a movimentação das pessoas durante uma evacuação de área é outro ponto importante no gerenciamento de riscos; É preciso estimar o tempo que os ocupantes levam desde a notificação do evento até a sua saída efetiva para uma área segura. O tempo de evacuação consiste em três momentos distintos:

- **Conscientização da ocorrência do incêndio**

Geralmente o que é divulgado na mídia é que o comportamento de pânico é comum em situações de incêndios. Contudo, pesquisas mostram que o pânico é um comportamento muito raro, mesmo em grandes incêndios envolvendo muitas mortes.

O pânico, aqui, é definido como um comportamento irracional, podendo ser caracterizado pelos seguintes comportamentos: medo extremo, percepção de crise, medo de separação, confusão, frustração extrema, comportamento anti-social, fuga. A caracterização do pânico não é dada com o preenchimento de todos estes requisitos, podendo indivíduos em pânico apresentar somente alguns dos listados.

Estes estudos mostram que, mesmo sentindo medo, as pessoas normalmente agem de forma racional, flexível de acordo com a situação e de forma altruísta. Além disso, é apontado que apenas 5% das pessoas agem de modo a aumentar o nível de risco.

- **Preparação para movimentação**

A interpretação de um alarme como indicação da ocorrência de um incêndio depende do tipo de sinal provido. Pesquisas mostram que sinos e buzinas são ignorados, sendo considerados para indicar testes ou alarmes falsos. O anúncio do evento por pessoas (administradores do prédio ou assistentes) é mais eficiente. As tabelas 3.2 e 3.3 resumem a pesquisa realizada.

*Tabela 3.2 – Tipos de alarmes de incêndio utilizados na pesquisa. Fonte: Klote & Mikle*

Tipo de notificação	descrição
Sino	Acionamento do alarme
Administrador	Acionamento do alarme; dois assistentes anunciaram para “evacuaram a área” e direcionaram a saída
Aviso público	A cada 30 segundos era dito duas vezes o seguinte aviso público: “Por favor, evacuem a área imediatamente”.
Administrador + aviso público	Aviso público instruindo pessoas a sair via saídas e administradores direcionando pessoas a seguirem as direções anunciadas
Direcionamento + aviso público	O mesmo que foi realizado na notificação “administrador + aviso público”, com a informação adicional do evento (que estava ocorrendo um incêndio) e o local de ocorrência

*Tabela 3.3 – Comparação de resposta a vários tipos de notificação de um incêndio. Fonte: Klote & Mikle*

Alarme de evacuação	Tempo (min, s) para movimentação até o saguão do pavimento	Tempo (min, s) para movimentação até o fim da escada rolante	comentários
Sino	8:15	9:00	Evacuação atrasada ou não evacuação
Administrador	2:15	3:00	Ocupantes direcionados ao saguão
Aviso público	1:15	7:40	Ocupantes ficaram no final da escada rolante
Administrador + aviso público	1:15	1:30	Ocupantes evacuaram a edificação
Direcionamento + aviso público	1:30	1:00	Ocupantes evacuaram a edificação

- **Movimentação para uma saída**

O conhecimento do prédio, de suas saídas e locais de isolamento é tido normalmente por pessoas que freqüentam o local rotineiramente e que exercem atividades em diferentes salas e áreas da edificação.

Apesar da ignorância dos ocupantes itinerantes com relação ao layout da edificação ser esperada, é comum ocupantes rotineiros admitirem não conhecer todas as saídas e peculiaridades do layout da edificação, principalmente se ela tiver várias áreas separadas por corredores ou outros mecanismos de isolamento.

### **3.4 Desempenho das Barreiras**

Barreiras verticais e horizontais possuem várias funções em uma edificação. Elas separam espaços para definição de salas e provêm privacidade, segurança, controle de barulhos. As barreiras também definem rotas para comunicação física e visual com ajuda de dispositivos como portas, janelas, condutores elétricos, etc. Outras funções das barreiras são a proteção contra intempéries e o suporte estrutural do edifício. As barreiras também impedem a contaminação dos ambientes por fumaça ou calor.

As barreiras podem resistir ao incêndio uma hora, duas horas ou podem não oferecer nenhuma resistência, a exemplo de divisórias de material combustível.

As funções das barreiras durante um incêndio são:

- Proteção das pessoas contra produtos de combustão enquanto permanecem ou evacuam a edificação;
- Proteção da propriedade contra perdas causadas pelos produtos de combustão e impacto térmico;
- Minimizar os danos causados pelo fogo e a tenabilidade da fumaça pela supressão de movimentação destes produtos por toda edificação, conduzindo-os num caminho que poderá acabar em um poço ou respirador de fumaça, por exemplo;
- Contribuir para o transporte dos produtos de combustão em direção aos detectores;
- Afetar o controle por sprinklers e sua eficiência de extinção;
- Contribuir para a extinção manual dos incêndios;
- Contribuir nas operações de procura e resgate de ocupantes;
- Reduzir o tempo de propagação do incêndio.

A influência das barreiras, entretanto, pode ser positiva ou negativa. Em ambientes muito divididos as barreiras podem confundir os ocupantes e até mesmo a equipe de resgate. Portanto, a caracterização da edificação (ver figura 3.1) através da análise do layout das barreiras é imprescindível para a caracterização dos riscos.

Barreira é qualquer superfície que impedirá ou prevenirá a movimentação dos produtos de combustão e a transferência de calor de um espaço para outro. Elas podem ser classificadas como fortes ou fracas, completas ou incompletas, penetráveis ou impenetráveis, combustíveis ou não combustíveis, que sustentam carga ou que não sustentam carga.

Qualquer tipo de artifício para penetração ou abertura das barreiras (portas ou janelas, estando fechadas ou não), faz parte das barreiras. A avaliação das barreiras consiste em fazer o levantamento de elementos de construção, resistência ao fogo ou combustividade.

Em adição às barreiras físicas (reais), as “barreiras de resistência zero” (barreiras imaginárias) ajudam na organização da análise em espaços muito amplos e abertos. A barreira de força zero é uma barreira fictícia que não possui qualquer resistência ao calor e à movimentação da fumaça e é utilizada para zonestar grandes espaços, facilitando entendimentos de tempo e supressão.

A avaliação da performance das barreiras é iniciada no momento que elas falham e todo o ambiente se vê envolvido no incêndio. Geralmente este momento suprime o tempo de estabelecimento da chama e crescimento do incêndio, sendo o tempo contado a partir da etapa de desenvolvimento do incêndio.

A falha da barreira é associada à força da ignição e o tempo de desenvolvimento do incêndio na sala de origem. Quando o flashover ocorrer, a barreira poderá entrar em colapso, provocando ignição dos materiais presentes nos ambientes adjacentes; Logo o incêndio terá se propagado além do ambiente de origem.

### 3.4.1 Comportamento dos Materiais em Incêndios

Todos os materiais de uma edificação respondem de forma distinta a um incêndio. Alguns materiais são mais sensíveis, sendo afetados a baixas temperaturas ou em pouco tempo de exposição, outros não. Na análise dos materiais construtivos das barreiras o que é importante é o comportamento das propriedades físicas destes materiais durante e após um incêndio. A seguir são listados materiais usualmente utilizados na construção de barreiras e as características relevantes à análise de performance.

#### a) Aço estrutural

Este é um material amplamente utilizado nas construções mais modernas. Suas características são a força e rigidez, ductibilidade, flexibilidade no sentido de adquirir diferentes formas e dimensões. Ele pode ser utilizado como esqueleto da estrutura ou como reforço da estrutura de concreto.

O aço estrutural não é combustível, não contribuindo para suprimento do incêndio, porém ele perde força e rigidez quando submetido a altas temperaturas. A massa do aço interfere nessa perda: Seções mais pesadas possuem maior resistência a altas temperaturas que seções mais leves.

Ele possui uma alta condutividade térmica, o que pode contribuir para o espalhamento do fogo. O aço estrutural também expande quando exposto ao calor, o que pode estressar materiais combinados como o concreto, causando colapsos prematuros.

#### b) Concreto

O concreto é uma mistura de cimento, areia, agregados e água. Quando exposto ao calor, ele perde água e, ao mesmo tempo, força. O tipo de agregado (silício ou calcário) tem uma grande influência na performance do concreto. Os agregados de silício possuem uma base ígnea e por isso resistem menos ao fogo.

O calor também faz com que o concreto expanda e, em alguns casos, isto acarreta quebras e deformações excessivas.

#### c) Madeira

A madeira é largamente utilizada na construção de edificações. Ela pode ser encontrada no teto, pisos, paredes – divisórias, etc. Ela, porém, é um material combustível, ou seja, contribui para a alimentação do fogo e seu conseqüente espalhamento.

#### d) Gesso

O gesso é largamente utilizado em tetos, paredes-divisórias, etc. Ele responde positivamente quando exposto a altas temperaturas, pois a água contida no material evapora lentamente (se comparado à evaporação da água no concreto), calcinando o material, que se desintegra, formando um pó. Esta lenta evaporação da água permite um maior tempo para a saída dos ocupantes e combate ao fogo.

#### e) Vidro

Existem dois tipos principais de vidro utilizados na construção de barreiras. O mais comum, o vidro de janela, que pode ter uma pequena espessura ou uma maior. O de pequena espessura é utilizado na vitrificação de janelas e portas; Este tipo de vidro possui uma pequena resistência para quebrar durante um incêndio. O de maior espessura também é chamado de vidro temperado e possui uma resistência ao fogo relativamente maior.

O segundo meio de utilização do vidro é em forma de fibra. A fibra de vidro reforça a estrutura de materiais da edificação, como vasos sanitários, banheiras, etc. A fibra de vidro não queima.

### **3.5 Sala de origem**

Uma edificação poderá ser representada por uma ou várias salas, as quais sintetizam a edificação. Logo, é essencial identificar numa edificação a sala ou as salas de origem.

No presente trabalho, a sala de origem é definida através de seis critérios; Para que seja possível o cruzamento de dados necessário para a escolha da sala de origem ou das salas de origem, será utilizado o método AHP – Analitic Hierarchy Process.

A seguir, são definidos os critérios para escolha da sala de origem:

#### **3.5.1 Critérios para escolha da sala de origem**

##### **a) Segurança dos ocupantes**

O mais importante, pois garante a segurança dos ocupantes. Por isso se faz necessário realizar um levantamento sobre o perfil dos ocupantes (e passantes), quantidade e horários de maior circulação.

Estudos mostraram que existem três situações básicas de emergência em que as pessoas tendem a agir de diferentes maneiras: A primeira situação é a mais comum, onde o incêndio ocorre em edificações urbanas, que possuem saídas acessíveis. Neste tipo de situação as pessoas são instintivamente levadas a abandonar o edifício.

Na segunda hipótese, o evento ocorreria em lugares de circulação inapropriada ou dificultada. É o caso, por exemplo, das prisões ou hospitais. Nestes estabelecimentos os indivíduos tendem a desenvolver estratégias de defesa. O terceiro caso é tipificado quando um incêndio ocorre em áreas isoladas, onde as vítimas tendem a mover-se para uma área de refúgio pré-determinada. Normalmente neste caso tem-se a figura das equipes de resgate e de assistência.

O princípio básico de segurança dos ocupantes é que pessoas e muitos produtos de combustão nocivos não devem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo, pois, como já explanado anteriormente, estes produtos tóxicos expulsam o oxigênio do ambiente, não permitindo que as pessoas respirem e posteriormente levando-as à morte.

Assim, é interessante que os ocupantes abandonem o local no mais curto espaço de tempo possível, porém este objetivo não é facilmente atingido, a depender do layout das barreiras, sinalização para emergência entre outros. Os ocupantes podem possuir diversas alternativas para evacuar a edificação durante um incêndio e isto pode confundi-los. As rotas sem saída podem conduzi-los a corredores sem saída, encurralando os ocupantes.

Para se avaliar o desempenho de uma edificação com relação à segurança dos ocupantes, deve-se atentar para os seguintes elementos:

- As rotas potenciais de acesso da edificação;
- As rotas de maior utilização;
- A mobilidade dos ocupantes: velocidade de movimentação, agilidade em atravessar possíveis obstáculos tais como escadas, portas, corredores, etc;
- O tempo de movimentação dos ocupantes nas rotas;
- A sala de origem de um incêndio e seu posicionamento em relação às rotas de acesso.

#### b) Propriedade e continuidade operacional

Além da segurança dos ocupantes, o prédio também deve ser preparado para proteção da propriedade e da continuidade operacional. Este critério de desempenho avalia a probabilidade que a propriedade e as funções operacionais têm de sobreviverem a um incêndio.

Tanto a estrutura da propriedade quanto os materiais contidos nela estão expostos a um incêndio. Muitos edifícios possuem salas ou áreas de grande valor monetário ou histórico.

Deve também ser considerado o valor das informações armazenadas no ambiente. Outro ponto bastante discutido é o local de armazenamento de dados. Comumente engenheiros de sistemas recomendam a redundância eletrônica dos dados, esquecendo-se de que a localização do backup é tão importante quanto o próprio armazenamento quando se lida com um incêndio.

A descontinuidade operacional sempre foi historicamente um objeto de preocupação e está se tornando cada vez mais importante nesta era da informação. É possível que um incêndio não cause danos aos ocupantes, mas que cause um impacto relevante nas atividades empresariais: o tempo de restabelecimento das atividades depois de um incêndio pode influenciar na saúde financeira da organização. Perdas pela impossibilidade de prover serviços e bens podem ir além das perdas diretas, vindo a comprometer a organização, com reflexo na sustentabilidade social.

A análise da continuidade operacional é similar a da propriedade, tendo que se identificar os espaços mais sensíveis e determinar a vulnerabilidade dos equipamentos e demais objetos aos produtos de combustão.

c) Propagação da chama

Neste critério são avaliados os materiais de que são feitos os equipamentos e objetos contidos nos locais, bem como a distância encontrada entre eles.

d) Obstáculos à extinção

Abrange o acesso ao local do incêndio.

e) Fragilidade das barreiras

São consideradas as resistências das barreiras existentes entre as salas da edificação. Fatores como a existência de orifícios de comunicação e o material das portas são importantes nessa análise.

f) Representação da edificação

Aqui será escolhida uma sala ou várias salas cujas atividades nela realizadas representam melhor a edificação.

## **4 ESTUDO DE CASO: INCÊNDIO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

O caso a ser analisado no presente trabalho diz respeito a um incêndio ocorrido na instituição de ensino superior AESA/ CESA – Autarquia de Ensino Superior de Arcoverde/ Centro de Ensino Superior de Arcoverde, localizada na região agreste do Estado de Pernambuco. Esta faculdade existe há 33 anos e é um dos principais centros de ensino superior das proximidades, oferecendo cursos de letras, matemática, enfermagem e educação física entre outros a alunos que residem na cidade e vizinhanças.



*Figura 4.1 – AESA/ CESA. Fonte: a autora*

Os danos sofridos no bloco atingido pelo incêndio abrangeram não somente a perda patrimonial, mas também danos à estrutura física do imóvel.



*Figura 4.2 – Visualização externa da edificação atingida pelo incêndio. Fonte: a autora*

O objetivo desta fase do trabalho é realizar a análise de um incêndio ocorrido nesta instituição de ensino, com o intuito de levantar dados como rota do fogo e danos causados. Estes dados servirão como base para verificação da eficiência (ou não) do estudo da interação entre o incêndio e a edificação. As etapas de desenvolvimento do estudo de caso podem ser assim definidas:

1. Descrição do evento;
2. Reconstituição do cenário;
3. Avaliação do desempenho da edificação durante um incêndio;
4. Comparação de resultados.

#### 4.1 Descrição do evento

A instituição é de fácil localização e acesso, sendo sua estrutura física centralizada em um único terreno, onde são encontrados um edifício principal, dois anexos e uma área destinada a atividades recreativas e desportivas. O edifício principal possui dois pavimentos, onde eram encontradas salas de aulas, biblioteca, além de toda a função administrativa do local. Nos anexos eram encontrados dormitórios, lanchonete entre outros.

O incêndio ocorreu na área destinada aos setores da administração no pavimento superior da edificação principal. Ela era composta por três secretarias, uma sala de compens, uma diretoria, uma sala de arquivos, dois depósitos e quatro banheiros; Neste local se encontravam todos os documentos referentes à vida acadêmica dos alunos e ex-alunos, além de microcomputadores e materiais afins.

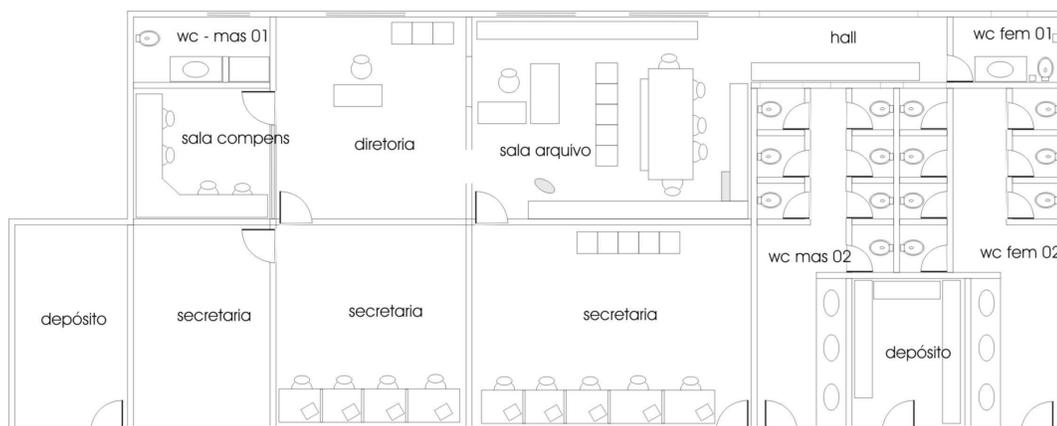


Figura 4.3 – Setor administrativo do pavimento superior localizado no bloco principal da instituição. Fonte: a autora

Eram 5:45h da manhã quando os seguranças trocavam de turno. O responsável pelo período da manhã se dirigia à copa do local quando ouviu um barulho de vidros estilhaçando; Logo percebeu que havia fumaça esbranquiçada deixando a saída de ar do hall. O segurança então telefonou para a presidente da faculdade, que por sua vez entrou em contato com os dois corpos de bombeiros mais próximos à cidade; Ela foi orientada a adquirir carros-pipa para o suprimento dos seus equipamentos e a entrar em contato com a companhia de energia para cortar o suprimento de eletricidade ao local.

Funcionários da faculdade que residiam na vizinhança tentaram controlar o fogo utilizando extintores de pó químico e retirando os móveis e equipamentos da secretaria 01 - a única sala em que podiam entrar - até que os bombeiros chegassem ao local.

Houve mais fragmentações dos vidros das janelas da sala de arquivos, aumentando a circulação do ar e intensificando o incêndio de forma considerável. As unidades dos corpos de bombeiros partiram de Belo Jardim e de Serra Talhada. Estas duas cidades situam-se respectivamente a 70 km e 150 km de Arcoverde; Desta forma as unidades iniciaram o combate ao fogo às 7:30h, conseguindo extingui-lo três horas depois e consumindo três carros-pipa.

Dos 13 ambientes, 11 foram atingidos pelo evento, sendo os dois depósitos os únicos que não sofreram perdas. A perícia constatou que um provável curto-circuito na caixa de energia escondida entre os documentos da sala de arquivos tenha ignado o material combustível presente nas mais de 14500 pastas plásticas contidas no local.

O incêndio atingiu o hall, consumindo todos os materiais presentes e expandiu até alcançar primeiramente o banheiro feminino 01 e posteriormente os banheiros masculino 02 e feminino 02. Da mesma forma, o fogo alcançou a porta da diretoria que, sendo consumida, possibilitou que o calor se alastrasse, atingindo os outros ambientes.

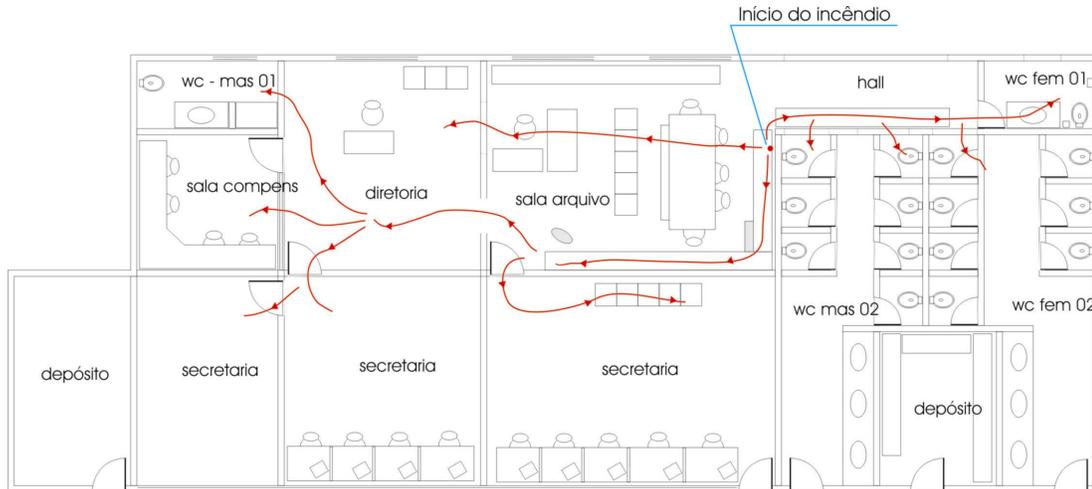


Figura 4.4 – Rota do incêndio. Fonte: a autora

A sala de arquivos, o hall e o sanitário feminino 01 foram completamente destruídos, causando danos tais que obrigaram a organização a isolar a área e iniciar obras de reestruturação. As outras salas foram parcialmente atingidas, sendo o teto o local mais danificado.

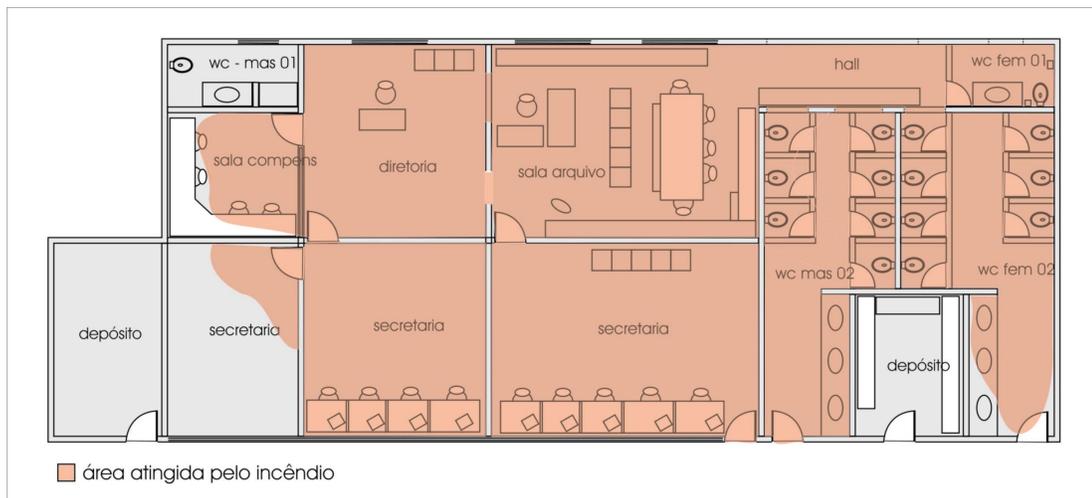


Figura 4.5 - Área atingida pelo incêndio. Fonte: a autora



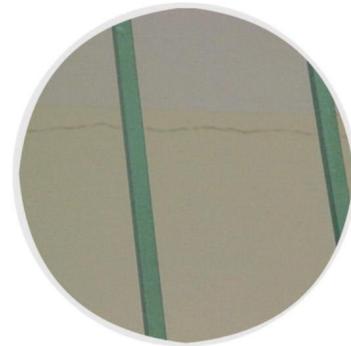
*Figura 4.6 – Sala de arquivos após o incêndio*

*Fonte: AESA*



*Figura 4.7 – Hall de passagem para*

*wc feminino. Fonte: AESA*



*Figura 4.8 – Impacto estrutural no pavimento térreo, logo abaixo da sala de arquivos. Fonte: a autora*

Estima-se que o incêndio tenha sido iniciado às 5 horas da manhã e que atingiu tamanha proporção pelo tipo de material combustível presente nas salas e pela distância percorrida pelas unidades dos corpos de bombeiros para que chegassem ao local.

Os prejuízos calculados são inúmeros. Pode-se citar, por exemplo, o prejuízo financeiro causado pela perda de documentos e pela reestruturação do edifício, a reorganização das áreas administrativas com perda da eficiência dos funcionários, perda de documentos históricos e a perda incalculável da imagem da instituição.

## 4.2 Reconstituição do cenário

A área administrativa era localizada no segundo pavimento da edificação principal e tinha aproximadamente 117 m<sup>2</sup>. A sala de arquivos era composta basicamente por prateleiras com base de ferro e tampo de madeira que estavam organizadas por toda extensão das paredes e quase que totalmente preenchidas com pastas plásticas com papel dentro. Além destas pranchas, havia três mesas de madeira, um banco estreito e longo de ferro e espuma, seis cadeiras de ferro e espuma, cinco arquivos de metal preenchidos com fichas e documentos, um ventilador, que era desplugado da caixa de energia durante a noite e um frigobar, que permanecia ligado continuamente por meio de uma extensão.

A sala de arquivos possuía apenas duas caixas de energia, que eram localizadas na mesma parede e uma caixa de difusores. Como a sala era quase que totalmente preenchida por pranchas, somente uma das caixas (uma de energia) permanecia descoberta pelos arquivos. As outras duas caixas eram totalmente cobertas pelas inúmeras pastas.

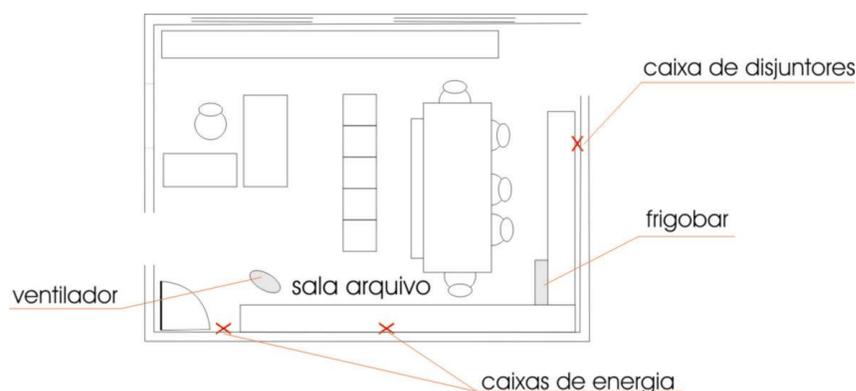


Figura 4.9 – Sala de arquivos. Fonte: a autora

O hall era uma extensão da sala de arquivos, contendo também prateleiras de madeira com base de ferro, preenchidas por documentos acondicionados em pastas em apenas uma das paredes. Nas secretarias eram encontrados microcomputadores, mesas de madeira e ferro, cadeiras de ferro e espuma, arquivos de metal, quadros diversos e documentos entre outros.

Na sala de compens só existiam microcomputadores, mesas de madeira e cadeiras de ferro e espuma; esta sala era separada da diretoria por uma grande divisória de vidro temperado que se estendia desde o piso até o teto de gesso. A diretoria, por sua vez possuía móveis em madeira, ferro e espuma. Nos banheiros existiam poucos materiais combustíveis.

### 4.3 Estudo da interação entre o incêndio e a edificação

Os treze ambientes que compõem o cenário estudado possuem características semelhantes. As atividades produzidas nas três secretarias e na de compens eram bastante semelhantes, enquanto que as atividades na sala de arquivos se assemelhavam às exercidas na sala da diretoria. Desta forma, uma simplificação do cenário de estudo não implicará na perda qualitativa da análise, mas sim, ajudará na compactação do processo de estudo. O cenário de estudo, então, será composto pela sala de compens, sala da diretoria e sala de arquivos.

#### 4.3.1 Escolha da Sala de Origem

Para a escolha da sala de origem foi montado o seguinte organograma:

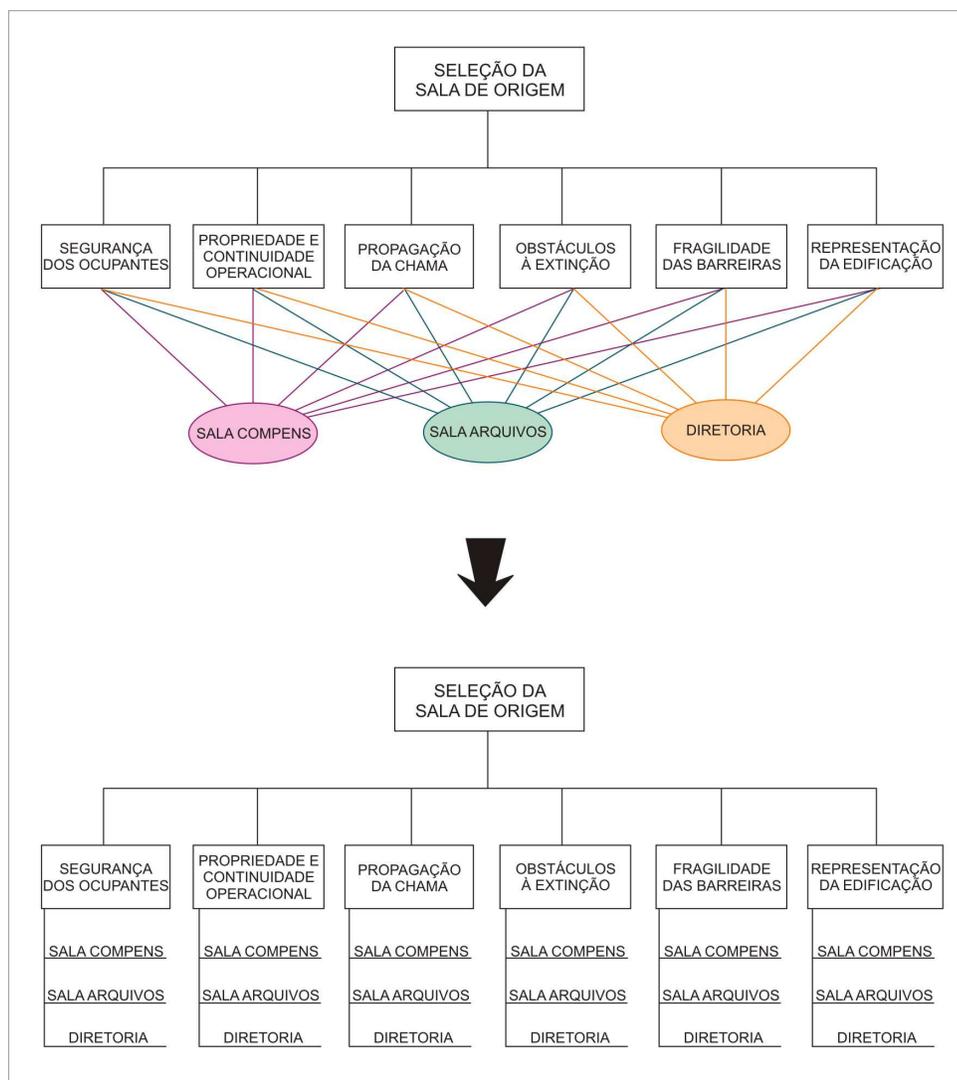


Figura 4.10 – Organograma de seleção da sala de origem

#### 4.3.1.1 Critérios para escolha da sala de origem

##### a) Segurança dos ocupantes

O perfil do local condiz com o tipo mais comum de edificação, com acessos obstruídos, porém simples e conhecidos. Desta forma, em um evento catastrófico os ocupantes tenderiam a evacuar a edificação. As pessoas que faziam uso do edifício podem ser consideradas como ativas: movimentavam-se com certa rapidez e não possuíam impedimentos físicos para evacuar a área.

Para cada sala existente no cenário estudado existia apenas uma única rota, porém de fácil visualização e de pequena extensão. As rotas definidas são as seguintes:

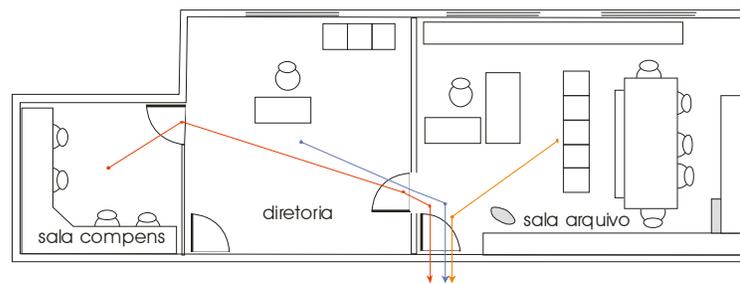


Figura 4.11 – Rotas de fuga da edificação. Fonte: a autora

Os ocupantes da sala de compens teriam a segunda maior rota a percorrer, tendo como obstáculos a princípio somente as portas. Os ocupantes da sala da diretoria teriam a menor rota e com menos obstáculos, visto que esta sala possuía poucos móveis e utensílios e que estes se encontravam encostados nas paredes, deixando a área de circulação praticamente livre. Os ocupantes da sala de arquivos, porém, encontrariam a rota com maior extensão e com maior número de obstáculos devido ao número de móveis e utensílios encontrados no local que acabavam comprometendo a área de circulação.

A sala que possuía maior número de ocupantes era a de compens, onde se encontravam mais de seis postos de trabalho. Nas salas da diretoria e de arquivos comumente não permaneciam grande número de pessoas, sendo cada uma delas freqüentada por um ou dois funcionários.

Desta forma, pode-se concluir que em uma escala de importância deste critério, ter-se-ia primeiramente a sala de compens, pela quantidade de pessoas que trabalhavam no local e pela segunda maior rota a se percorrer, depois a sala de arquivos, pois tem o maior número de obstáculos a ser superado em uma situação de emergência e, por fim, a diretoria.

b) Propriedade e continuidade operacional

O local analisado possuía muitos móveis de madeira e metal de médio valor econômico e equipamentos eletro-eletrônicos tais como computadores, frigobar, ventiladores, ar condicionado. Todavia o valor total destes objetos não superava o valor das informações contidas nos inúmeros documentos encontrados, ora via eletrônica, ora via impressa da vida acadêmica de todos os alunos que freqüentaram e freqüentavam cursos oferecidos pela instituição.

Este setor era responsável pela interação dos alunos com a faculdade. Informações sobre notas, situação acadêmica e execução de tarefas como matrícula e trancamento em disciplinas, etc eram concentradas nas oito salas. Assim, este setor era um ponto chave da administração da organização. Sem as informações contidas neste local, outros departamentos seriam atingidos, mesmo que indiretamente. Pois não somente atividades como liberação de diplomas e certificados seriam prejudicadas, mas também a expedição de boletos de pagamento ou o empréstimo dos livros na biblioteca, por exemplo.

Neste critério, a sala de maior importância para a continuidade operacional seria a de arquivos, pois todas as outras atividades desenvolvidas nas outras salas dependiam do vasto acervo de dados contidos nas suas prateleiras. A sala de compens seria a segunda mais importante devido à quantidade de operações que nela eram realizadas. Por sua vez, a diretoria teria uma importância relativamente menor neste critério, dado que nela não eram exercidas muitas tarefas nem armazenados muitos dados.

Vale dizer que a assim chamada sala da diretoria não estava sendo utilizada para este fim. Esta seria a antiga sala utilizada pela presidente da instituição, que agora exercia suas atividades em outro recinto, localizado no térreo do edifício. Por este motivo a sala em questão não estava sendo utilizada em sua plenitude.

c) Propagação da chama

Em todas as três salas são encontrados materiais de fácil combustão, porém a sala de arquivos é a que mais possui móveis e objetos. Além disso, o posicionamento destes móveis e objetos era feita de tal forma que a distância entre eles eram mínimas.

Na sala de compens, por sua vez, existia uma única mesa em forma de L onde os computadores eram posicionados. Assim, dado um incêndio nesta sala, todos os materiais iriam entrar em combustão rapidamente. Na diretoria existiam poucos móveis e eles eram posicionados com uma distância considerável.

Com base nisso, a hierarquização das salas segundo este critério será a seguinte: Sala de arquivos, sala de compens e diretoria.

d) Obstáculos à extinção

A sala que possui maior dificuldade de acesso é a de compens, pois para que a equipe de combate ao fogo chegue até lá é necessário que atravesse as duas outras salas. Sendo assim, a hierarquização é a seguinte: Sala de compens, diretoria e sala de arquivos.

e) Fragilidade das barreiras

A sala de arquivos possuía falhas nas suas quatro paredes (barreiras). Em uma delas existia uma porta de madeira, na outra um comunicador e uma porta, em outra a havia janelas e na última existia uma barreira de resistência zero. A sala da diretoria tinha uma situação parecida, com três das barreiras comprometidas.

Em compensação, a parede divisória entre a sala de compens e a diretoria era feita de vidro temperado que se estendia até o teto falso de gesso. Como vimos, anteriormente, tanto o vidro temperado quanto o gesso possuem uma boa resistência ao calor. Sendo assim, a hierarquização segundo este critério é: Sala de arquivos, diretoria e sala de compens.

f) Representação da edificação

A sala que melhor representa a edificação é, neste caso, também a mais importante para a continuidade operacional: a sala de arquivos. Em segundo lugar está a sala de compens, e, em último, a diretoria.

#### 4.3.1.2 Resultados obtidos com a aplicação do método AHP

Os cálculos realizados conforme explicitado no capítulo 2 estão em anexo (anexo A). A partir deles chegou-se ao seguinte resultado:

- 45% de probabilidade de o incêndio iniciar-se na sala de arquivos;
- 41% de probabilidade de o incêndio iniciar-se na sala de compens;
- 14% de probabilidade de o incêndio ocorrer na diretoria.

Então se conclui que a sala de origem é a SALA DE ARQUIVOS.

### 4.3.2 Desenvolvimento do Incêndio na sala de Origem

O objetivo desta etapa é verificar as prováveis fontes de ignição e as possíveis rotas do fogo. As fontes de ignição são fontes de calor e energia, que podem ser fruto da própria estrutura do local (caixas de energia, aparelhos de aquecimento, etc) ou fruto do comportamento dos ocupantes (hábito de fumar, por exemplo). Na sala de arquivos as prováveis fontes de ignição são as duas caixas de energia, a caixa de disjuntores, o ventilador e o frigobar.

Estas fontes de calor, como mostra a figura 4.9, estão muito próximas dos materiais combustíveis da sala (melhor dizer coladas aos materiais). No caso de uma das caixas de energia e da caixa de disjuntores, elas estão em contato direto com o material de mais fácil combustão encontrado no local: o papel.

A hierarquização da probabilidade de uma de estas fontes vir a efetivamente ignar materiais é a seguinte: caixa de energia coberta pelas pastas e caixa de disjuntores, frigobar (por permanecer ligado continuamente e estar em um local pouco ventilado e de difícil acesso, prejudicando inspeções para manutenção), caixa de energia próxima às pastas de arquivos e, finalmente, ventilador.

As possíveis rotas do fogo e suas respectivas velocidades irão depender dos pacotes combustíveis encontrados no local. Além de esta sala possuir muitas pranchas de madeira preenchidas com mais de 10000 pastas com papel, nela são encontrados muitos móveis fabricados com materiais de rápida combustão (compensado de madeira, espuma, tecido, etc). Para saber se a proximidade existente entre os móveis é suficiente para torná-los parte de um único pacote combustível devem ser realizados cálculos da taxa de calor liberado (HRR) e do raio de alcance deste calor liberado.

Tabela 4.1 – Máximo fluxo de queima ( $m''$ ). Fonte: Quintiere

COMBUSTÍVEL	$m''$ ( $g/m^2 - s$ )
Papel	14
Madeira	11

Tabela 4.2 – Calor de combustão efetivo ( $\Delta H_c$ ). Fonte: Quintiere

COMBUSTÍVEL	$\Delta H_c$ ( $kJ/g$ )
Celulose	16.1
Madeira	13-15

Tabela 4.3 – Cálculo da taxa de calor liberado. Fonte: a autora

MATERIAL		CÁLCULO HRR: $Q = m'' \Delta H A$						
		$m''$ (g/ $m^2 \cdot s$ )	$\Delta H_c$ (kJ/g)	A ( $m^2$ )		Q (kW)		
pacote*	composição					Q individual	Q total	
A	Pranchas da parede com janelas	Três pranchas de madeira maciça (5,0 x 0,3 x 0,02 m)	11	13	3 x 5,0 x 0,02	0,3	42,9	1314,47
		Seis pranchas de madeira maciça (1,2 x 0,3 x 0,02 m)	11	13	6 x 1,2 x 0,02	0,144	20,6	
		Pastas com documentos (3 x 5,0m x 0,25m x 0,25m + 6 x 1,2m x 0,25m x 0,25m)	14	16,1	(3 x 5,0 x 0,25) + (6 x 1,2 x 0,25)	5,55	1250,97	
B	Pranchas da parede com porta de entrada da sala	Seis pranchas de madeira maciça (4,0 x 0,3 x 0,02 m)	11	13	6 x 4,0 x 0,02	0,48	68,64	1421,04
		Pastas com documentos (6 x 4,0m x 0,25m x 0,25m)	14	16,1	6 x 4,0 x 0,25	6	1352,4	
C	Pranchas da parede com acesso ao hall	Seis pranchas de madeira maciça (2,0 x 0,3 x 0,02 m)	11	13	6 x 2,0 x 0,02	0,24	34,32	710,52
		Pastas com documentos (6 x 2,0m x 0,25m x 0,25m)	14	16,1	6 x 2,0 x 0,25	3	676,2	
D	mesa de madeira maciça (só o tampo)	Tampo de madeira (1,80 x 0,9 x 0,02 m)	11	13	1,80 x 0,9	1,62	231,66	231,66
E	mesa de compensado (só o tampo)	Tampo de madeira (1,20 x 0,6 x 0,015 m)	11	15	1,2 x 0,6	0,72	118,8	118,8

Tabela 4.4 – Raio de alcance do calor liberado pela combustão dos materiais. Fonte: a autora

MATERIAL	CÁLCULO RAIOS DE ALCANCE		
	$Q_r = 0,3 \times Q$ (kW)	$q_{r,i}$ (kW/ $m^2$ )	$R = \sqrt{Q_r / 4\pi q_{r,i}}$ (m)
A	394,341	10	1,77
B	426,312	10	1,84
C	213,156	10	1,30
D	69,498	10	0,74
E	35,64	10	0,53

Com os valores encontrados pode-se montar uma visualização da formação dos pacotes combustíveis. A figura 4.12 demonstra que todo o mobiliário da sala de arquivos compõe um único pacote combustível. Isto significa dizer que, obtida ignição em qualquer móvel, o incêndio se propagará rapidamente, consumindo em um curto espaço de tempo todo o combustível.

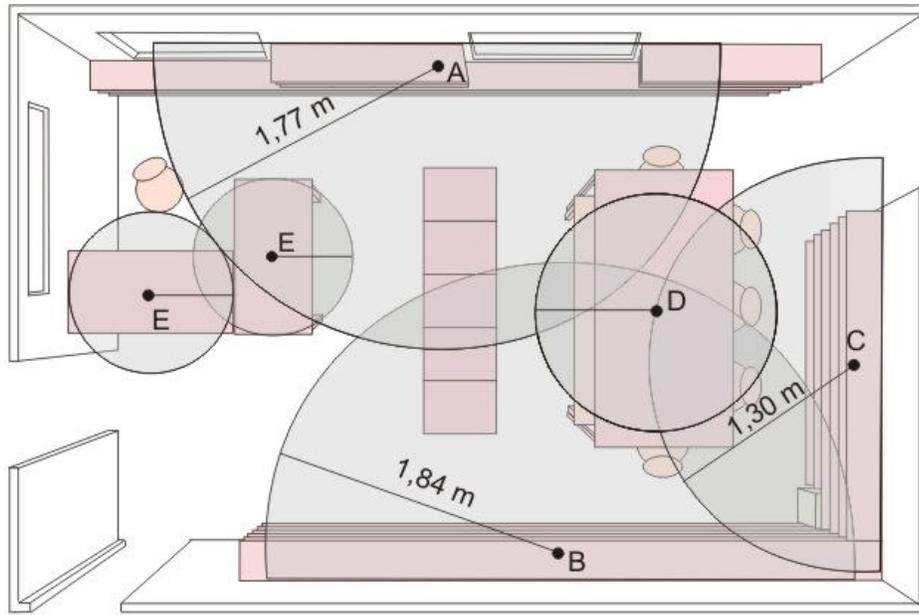


Figura 4.12 – Raios de alcance do calor liberado pela combustão dos materiais. Fonte: a autora

Com as fontes de ignição, pode-se estimar possíveis rotas do incêndio. A figura 4.13 demonstra algumas possibilidades:

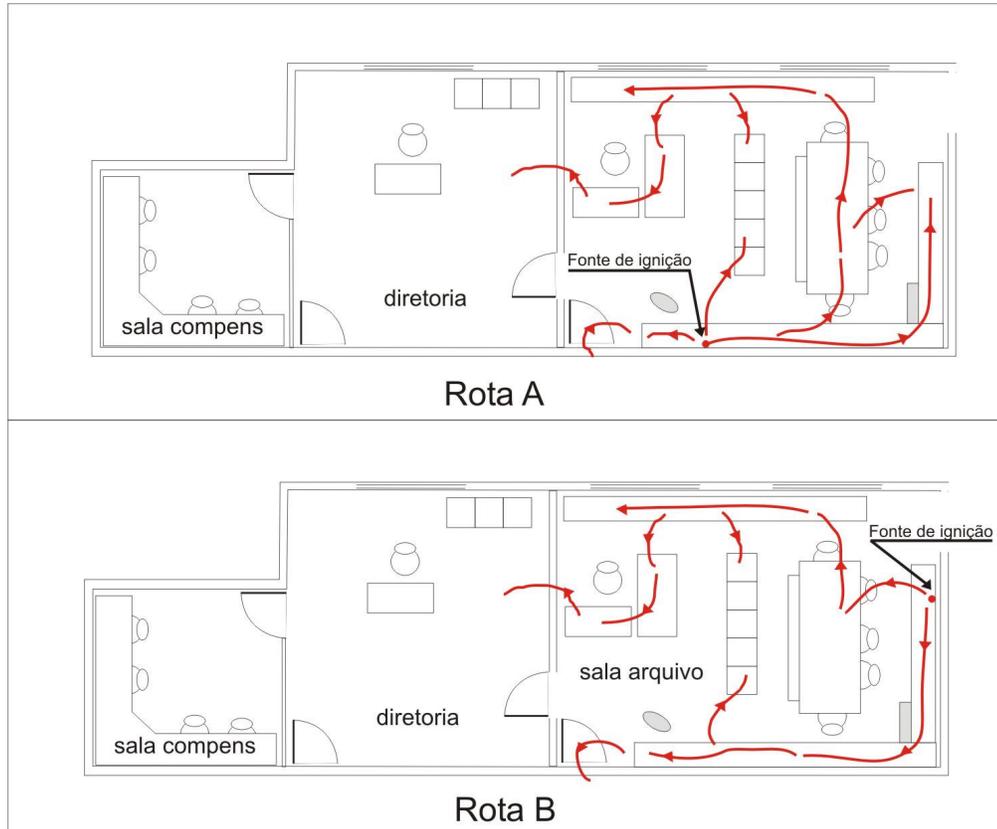


Figura 4.13 – Possíveis rotas do fogo dadas fontes de ignição. Fonte: a autora

### 4.3.3 Análise da propagação do Incêndio além da Sala de Origem

A sala de arquivos possui três passagens. A primeira delas, a entrada, é utilizada para acesso de quase todo o pessoal que exerce alguma atividade em uma das 13 salas da área administrativa. A segunda passagem dá acesso a outras salas (diretoria, compens, secretarias), enquanto a terceira dá acesso ao hall e ao banheiro feminino.

A divisão entre a sala de arquivos e o hall constitui uma barreira de resistência zero, enquanto as portas constituem uma barreira fraca, visto que são ocas e feitas de madeira (material de fácil combustão). Acrescida a estes fatos, há a existência de um comunicador na parede divisória da sala de origem e a vizinha.

Todos estes fatores contribuem fortemente para a propagação da chama a salas vizinhas. Uma vez ignado um material na sala de origem, o fogo não encontrará meios de contingência e se espalhará facilmente.

Os gases quentes e a fumaça chegarão na sala da diretoria através do comunicador e a chama, através do consumo da porta de madeira. A concentração de gases quentes e fumaça no teto falso logo provocará o seu colapso, abrindo assim, acesso à sala de compens.

As outras salas (secretarias) serão atingidas pelo evento com o consumo de suas respectivas portas de madeira.

### 4.3.4 Recomendações

Esta área administrativa da instituição possui muitas falhas no que se diz respeito à segurança contra incêndios. Algumas características que tornam a edificação vulnerável são listadas:

- Existência de comunicador entre as salas de arquivo e diretoria;
- Existência de uma única rota de acesso (e conseqüentemente de fuga) para as salas;
- O material das portas era altamente combustível, contribuindo para o espalhamento da chama;
- O ocultamento das fontes de energia por meio de material combustível e o uso contínuo de extensões não corretamente dimensionadas;
- A combinação de alta concentração de móveis e materiais de rápida combustão (papel) com a falta de uma medida de proteção contra incêndios.

Algumas mudanças na estrutura da edificação de relativo baixo custo poderiam ser efetuadas de modo a mitigar esta vulnerabilidade:

- Eliminação do comunicador existente entre a sala de arquivos e diretoria;

- Instalação de portas constituídas com material mais resistente;
- Eliminação do uso de extensões para alimentação de energia;
- Deslocamento das caixas de energia e de disjuntores para uma área livre nas paredes;
- Interrupção da alimentação de energia elétrica de todas as salas quando não houver expediente de trabalho;
- Instalação de um sistema de chuveiros automáticos na sala de arquivos;
- Abertura de novas passagens, dando maiores possibilidades de acesso e saída.

#### **4.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS**

Comparando o evento descrito com os resultados obtidos na análise de desempenho da edificação durante um incêndio, tem-se que:

- A sala de origem escolhida com o uso do método foi efetivamente a sala de origem no ocorrido;
- A fonte de ignição apontada pelo corpo de bombeiros em seu relatório foi, no estudo, hierarquizada como uma das mais prováveis fontes de ignição;
- A análise dos pacotes combustíveis indicou que, na ocorrência de um incêndio na sala de arquivos, os materiais iriam entrar em combustão rapidamente. Segundo relatos do funcionários, estimou-se que em 30 minutos desde a ignição toda a sala de arquivos teria sido totalmente envolvida pelas chamas, espaço de tempo relativamente curto;
- A rota de fogo definida para o ocorrido coincide com uma das rotas propostas pelo estudo.

Os resultados obtidos com o estudo foram fiéis às conclusões obtidas na análise do evento ocorrido na instituição; As recomendações previstas no item 5.3.4 provavelmente impediriam a ignição ou ajudariam a postergar o espalhamento da chama, dando chance à diminuição de prejuízos sofridos.

## **5 CONCLUSÃO**

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia baseada no desempenho para gerenciamento de riscos de incêndio; Este estudo possui um caráter complementar às medidas de segurança contra incêndios obrigatórias, previstas nas normas de segurança vigentes em Pernambuco.

Durante a análise da edificação, percebeu-se que as exigências mínimas relativas à segurança contra incêndios não foram suficientes para evitar ou conter a ocorrência do evento; Na reconstituição do cenário, foram detectados pontos de irregularidade e de alta vulnerabilidade facilmente detectáveis, levando a crer que a principal causa do incêndio foi a falta de relevância dada ao tema.

O gerenciamento de riscos de incêndio baseado no desempenho foi proposto a partir da necessidade de se direcionar ações efetivas na reconstrução da edificação e na retomada das atividades, de modo que se diminua consideravelmente a probabilidade de um acontecimento semelhante.

Espera-se que este trabalho venha a contribuir, de alguma forma, para o desenvolvimento de uma nova maneira de pensar sobre a segurança contra incêndios em edificações, levando gestores a tratar o tema com maior prudência.

## BIBLIOGRAFIA

BUCHANAN, A. H. *Implementation of performance-based fire codes*. Fire Safety Journal, New Zealand, 32, 377- 388, nov,1999.

CUSTER RICHARD L. P. & MEACHAM BRIAN J. *Introduction to Performance-Based Fire Safety*, Society of Fire Protection Engineers. USA, 1997

DRYSDALE, D. *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester. John Wiley & Sons, 1986

DUARTE, D. *Engenharia de Incêndios – Notas de aulas*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001

FITZGERALD, R. W. *Building Fire Performance Analysis*. Massachusetts, 2004

KARLSSON, B. & QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. Nova York – EUA: CRC Press LLC, 2000

KLOTE, J. H. & MILKLE, J. A. *Principles of Smoke Management*, Society of Fire Protection Engineers. USA, 2002

LEGISLAÇÃO ESTADUAL – PERNAMBUCO: *Código de Segurança contra Incêndio e Pânico para o Estado de Pernambuco*. Recife, 1997

MEACHAM, B.J. *Introduction to performance-based fire safety*. NFPA, 1997

MACHADO, R. *Incêndios em ambientes fechados: uma análise da influência do fator ventilação no comportamento da pluma de fogo sob a visão da teoria do caos*. Dissertação de Mestrado, PPGE/ UFPE, 2003

RAMACHANDRAN, G. *Informative Fire Warning Systems*. Fire Technology, 47, 1, 68 – 81, Feb. 1991.

PROCORO, A. *Gerenciamento de riscos de incêndio em espaços urbanos históricos: uma avaliação com enfoque na percepção do usuário*. Dissertação de Mestrado, PPGEPI/ UFPE, 2003

QUINTIERE, J. G. *Principles of Fire Behavior*. EUA, International Thomson Publishing Company IT, 1998

SAATY, T. L. *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. RWS, 2001

ZALOSH, R. G. *Industrial Fire Protection Engineering, Worcester – EUA*. John Wiley & Sons, 2004

ZUKOSKI, E. *Entrainment in fire plumes*. Fire Safety Journal, 3, 107-121, 1981.

## APÊNDICE

## APÊNDICE: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

### ETAPA 1: COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Matriz de comparação dos critérios de desempenho:

	segurança dos ocupantes	propriedade e continuidade operacional	propagação da chama	obstáculos à extinção	fragilidade das barreiras	representação da edificação
segurança dos ocupantes	1	3	4	5	5	2
propriedade e continuidade operacional	1/3	1	3	4	4	2
propagação da chama	1/4	1/3	1	3	3	1/3
obstáculos à extinção	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
fragilidade das barreiras	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
representação da edificação	1/2	1/2	3	4	4	1
<b>TOTAL</b>	<b>2,48</b>	<b>5,33</b>	<b>11,67</b>	<b>18,00</b>	<b>18,00</b>	<b>5,83</b>

Cálculo dos pesos:

	segurança dos ocupantes	propriedade e continuidade operacional	propagação da chama	obstáculos à extinção	fragilidade das barreiras	representação da edificação
segurança dos ocupantes	1	3	4	5	5	2
propriedade e continuidade operacional	1/3	1	3	4	4	2
propagação da chama	1/4	1/3	1	3	3	1/3
obstáculos à extinção	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
fragilidade das barreiras	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
representação da edificação	1/2	1/2	3	4	4	1
	:					
	2,48	5,33	11,67	18,00	18,00	5,83

↓

	segurança dos ocupantes	propriedade e continuidade operacional	propagação da chama	obstáculos à extinção	fragilidade das barreiras	representação da edificação	somatório	média somatório
segurança dos ocupantes	0,40	0,56	0,34	0,28	0,28	0,34	<b>2,21</b>	<b>0,37</b>
propriedade e continuidade operacional	0,13	0,19	0,26	0,22	0,22	0,34	<b>1,37</b>	<b>0,23</b>
propagação da chama	0,10	0,06	0,09	0,17	0,17	0,06	<b>0,64</b>	<b>0,11</b>
obstáculos à extinção	0,08	0,05	0,03	0,06	0,06	0,04	<b>0,31</b>	<b>0,05</b>
fragilidade das barreiras	0,08	0,05	0,03	0,06	0,06	0,04	<b>0,31</b>	<b>0,05</b>
representação da edificação	0,20	0,09	0,26	0,22	0,22	0,17	<b>1,17</b>	<b>0,19</b>
							<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{\max}$

0,37	0,23	0,11	0,05	0,05	0,19
------	------	------	------	------	------

x

	segurança dos ocupantes	propriedade e continuidade operacional	propagação da chama	obstáculos à extinção	fragilidade das barreiras	representação da edificação
segurança dos ocupantes	1	3	4	5	5	2
propriedade e continuidade operacional	1/3	1	3	4	4	2
propagação da chama	1/4	1/3	1	3	3	1/3
obstáculos à extinção	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
fragilidade das barreiras	1/5	1/4	1/3	1	1	1/4
representação da edificação	1/2	1/2	3	4	4	1

↓

	segurança dos ocupantes	propriedade e continuidade operacional	propagação da chama	obstáculos à extinção	fragilidade das barreiras	representação da edificação	$\Sigma$	$\Sigma / a_{ij} \quad i=j$
segurança dos ocupantes	0,37	0,68	0,43	0,26	0,26	0,39	2,38	6,48
propriedade e continuidade operacional	0,12	0,23	0,32	0,21	0,21	0,39	1,47	6,47
propagação da chama	0,09	0,08	0,11	0,15	0,15	0,06	0,65	6,09
obstáculos à extinção	0,07	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,32	6,16
fragilidade das barreiras	0,07	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,32	6,16
representação da edificação	0,18	0,11	0,32	0,21	0,21	0,19	1,23	6,29
<b>TOTAL:</b>							<b>37,65</b>	

$$\lambda_{\max} = 37.65 / 6 \quad \therefore \quad \lambda_{\max} = \mathbf{6,27}$$

b) Índice de consistência CI

CI =  $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ , onde n é o número de ordem da matriz quadrada

$$CI = (6.27 - 6) / 5 \quad \therefore \quad CI = \mathbf{0,05}$$

c) Razão de consistência RI

RI = CI / RC, onde RC é a consistência randomizada. Para uma Matriz de ordem 6, o RC assume o valor 0,1

$$RI = 0.05 / 1.25 \quad \therefore \quad RI = \mathbf{0,04}$$

**RI < 0.1  $\therefore$  A MATRIZ É CONSISTENTE!**

## ETAPA 2: HIERARQUIZAÇÃO DAS SALAS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

### SEGURANÇA DOS OCUPANTES

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	2	1/4
diretoria	1/2	1	1/5
sala de compens	4	5	1
<b>TOTAL</b>	<b>5,50</b>	<b>8,00</b>	<b>1,45</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	2	1/4
diretoria	1/2	1	1/5
sala de compens	4	5	1
:			
	5,50	8,00	1,45

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,18	0,25	0,17	<b>0,60</b>	<b>0,20</b>
diretoria	0,09	0,13	0,14	<b>0,35</b>	<b>0,12</b>
sala de compens	0,73	0,63	0,69	<b>2,04</b>	<b>0,68</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,2	0,12	0,68
-----	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	2	1/4
diretoria	1/2	1	1/5
sala de compens	4	5	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,20	0,24	0,17	0,61	3,05
diretoria	0,10	0,12	0,14	0,36	2,97
sala de compens	0,80	0,60	0,68	2,08	3,06
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,08</b>

$$\lambda_{max} = 9,08 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,03$$

b) Índice de consistência CI

CI =  $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ , onde n é o número de ordem da matriz quadrada  
 CI =  $(3,03 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,01$

c) Razão de consistência RI

RI = CI / RC, onde RC é a consistência randomizada. Para uma matriz de ordem 3, o RC assume o valor 0,05  
 RI =  $0,01 / 0,52 \quad \therefore \quad RI = 0,02$   
**RI < 0,05 . A MATRIZ É CONSISTENTE!**

### PROPRIEDADE E CONTINUIDADE OPERACIONAL

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>1,53</b>	<b>8,00</b>	<b>4,50</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1
:			
	1,53	8,00	4,50

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,65	0,63	0,67	<b>1,94</b>	<b>0,65</b>
diretoria	0,13	0,13	0,11	<b>0,37</b>	<b>0,12</b>
sala de compens	0,22	0,25	0,22	<b>0,69</b>	<b>0,23</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,65	0,12	0,23
------	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,65	0,61	0,69	1,95	3,01
diretoria	0,13	0,12	0,11	0,37	3,00
sala de compens	0,22	0,24	0,23	0,69	3,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,01</b>

$$\lambda_{max} = 9,01 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,00$$

b) Índice de consistência CI

CI =  $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ , onde n é o número de ordem da matriz quadrada  
 CI =  $(3,00 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,002$

c) Razão de consistência RI

RI = CI / RC, onde RC é a consistência randomizada. Para uma matriz de ordem 3, o RC assume o valor 0,05  
 RI =  $0,002 / 0,52 \quad \therefore \quad RI = 0,004$   
**RI < 0,05 . A MATRIZ É CONSISTENTE!**

## PROPAGAÇÃO DA CHAMA

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	4	3
diretoria	1/3	1	1/2
sala de compens	1/4	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>1,58</b>	<b>7,00</b>	<b>4,50</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	3	4
diretoria	1/3	1	2
sala de compens	1/4	1/2	1
	:		
	1,58	7,00	4,50

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,63	0,43	0,89	<b>1,95</b>	<b>0,65</b>
diretoria	0,21	0,14	0,44	<b>0,80</b>	<b>0,27</b>
sala de compens	0,16	0,07	0,22	<b>0,45</b>	<b>0,15</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,07</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,65	0,27	0,15
------	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	3	4
diretoria	1/3	1	2
sala de compens	1/4	1/2	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,65	0,80	0,60	<b>2,05</b>	3,15
diretoria	0,22	0,27	0,30	<b>0,78</b>	2,95
sala de compens	0,16	0,13	0,15	<b>0,45</b>	2,96
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,06</b>

$$\lambda_{max} = 9,06 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,02$$

b) Índice de consistência CI

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \text{ onde } n \text{ é o número de ordem da matriz quadrada}$$

$$CI = (3,02 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,01$$

c) Razão de consistência RI

$$RI = CI / RC, \text{ onde } RC \text{ é a consistencia randomizada. Para uma matriz de ordem } 3, \text{ o } RC \text{ assume o valor } 0,05$$

$$RI = 0,01 / 0,05 \quad \therefore \quad RI = 0,20$$

**RI < 0,05 .: A MATRIZ É CONSISTENTE!**

## OBSTÁCULOS À EXTINÇÃO

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/2	1/3
diretoria	2	1	1/2
sala de compens	3	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>6,00</b>	<b>3,50</b>	<b>1,83</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/2	1/3
diretoria	2	1	1/2
sala de compens	3	2	1
	:		
	6,00	3,50	1,83

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,17	0,14	0,18	<b>0,49</b>	<b>0,16</b>
diretoria	0,33	0,29	0,27	<b>0,89</b>	<b>0,30</b>
sala de compens	0,50	0,57	0,55	<b>1,62</b>	<b>0,54</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,16	0,30	0,54
------	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/2	1/3
diretoria	2	1	1/2
sala de compens	3	2	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,16	0,15	0,18	<b>0,49</b>	3,00
diretoria	0,33	0,30	0,27	<b>0,89</b>	3,01
sala de compens	0,49	0,59	0,54	<b>1,62</b>	3,01
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,03</b>

$$\lambda_{max} = 9,03 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,01$$

b) Índice de consistência CI

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \text{ onde } n \text{ é o número de ordem da matriz quadrada}$$

$$CI = (3,01 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,005$$

c) Razão de consistência RI

$$RI = CI / RC, \text{ onde } RC \text{ é a consistencia randomizada. Para uma matriz de ordem } 3, \text{ o } RC \text{ assume o valor } 0,05$$

$$RI = 0,005 / 0,05 \quad \therefore \quad RI = 0,10$$

**RI < 0,05 .: A MATRIZ É CONSISTENTE!**

## FRAGILIDADE DAS BARREIRAS

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/3	1/5
diretoria	3	1	1/3
sala de compens	5	3	1
<b>TOTAL</b>	<b>9,00</b>	<b>4,33</b>	<b>1,53</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/3	1/5
diretoria	3	1	1/3
sala de compens	5	3	1
	:		
	9,00	4,33	1,53

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,11	0,08	0,13	<b>0,32</b>	<b>0,11</b>
diretoria	0,33	0,23	0,22	<b>0,78</b>	<b>0,26</b>
sala de compens	0,56	0,69	0,65	<b>1,90</b>	<b>0,63</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,11	0,26	0,63
------	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	1/3	1/5
diretoria	3	1	1/3
sala de compens	5	3	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,11	0,09	0,13	0,32	3,01
diretoria	0,32	0,26	0,21	0,79	3,03
sala de compens	0,53	0,78	0,63	1,95	3,07
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,12</b>

$$\lambda_{max} = 9,12 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,04$$

b) Índice de consistência CI

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \text{ onde } n \text{ é o número de ordem da matriz quadrada}$$

$$CI = (3,04 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,02$$

c) Razão de consistência RI

RI = CI / RC, onde RC é a consistência randomizada. Para uma matriz de ordem 3, o RC assume o valor 0,05

$$RI = 0,02 / 0,05 \quad \therefore \quad RI = 0,4$$

RI < 0,05  $\therefore$  A MATRIZ É CONSISTENTE!

## REPRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Matriz de comparação:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>1,53</b>	<b>8,00</b>	<b>4,50</b>

Cálculo dos pesos:

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1
	:		
	1,53	8,00	4,50

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	média somatório
sala de arquivos	0,65	0,63	0,67	<b>1,94</b>	<b>0,65</b>
diretoria	0,13	0,13	0,11	<b>0,37</b>	<b>0,12</b>
sala de compens	0,22	0,25	0,22	<b>0,69</b>	<b>0,23</b>
				<b>soma pesos:</b>	<b>1,00</b>

Verificação da consistência da matriz:

a)  $\lambda_{max}$

0,65	0,12	0,23
------	------	------

x

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens
sala de arquivos	1	5	3
diretoria	1/5	1	1/2
sala de compens	1/3	2	1

↓

	sala de arquivos	diretoria	sala de compens	somatório	somatório $\sum_{i=j} a_{ij}$
sala de arquivos	0,65	0,61	0,69	1,95	3,01
diretoria	0,13	0,12	0,11	0,37	3,00
sala de compens	0,22	0,24	0,23	0,69	3,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>9,01</b>

$$\lambda_{max} = 9,12 / 3 \quad \therefore \quad \lambda_{max} = 3,00$$

b) Índice de consistência CI

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \text{ onde } n \text{ é o número de ordem da matriz quadrada}$$

$$CI = (3,00 - 3) / 2 \quad \therefore \quad CI = 0,002$$

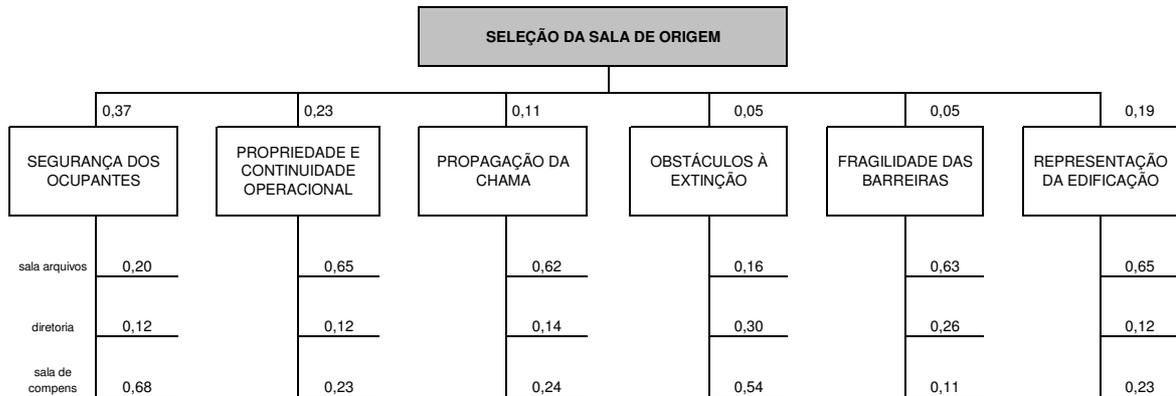
c) Razão de consistência RI

RI = CI / RC, onde RC é a consistência randomizada. Para uma matriz de ordem 3, o RC assume o valor 0,05

$$RI = 0,002 / 0,05 \quad \therefore \quad RI = 0,004$$

RI < 0,05  $\therefore$  A MATRIZ É CONSISTENTE!

### ETAPA 3: SELEÇÃO DA SALA DE ORIGEM



0,2	0,65	0,62	0,16	0,63	0,65	x	0,37	=	0,45	→ sala de arquivos
0,12	0,12	0,14	0,3	0,26	0,12		0,23		0,14	→ diretoria
0,68	0,23	0,24	0,54	0,11	0,23		0,11		0,41	→ sala de compens
							0,05			
							0,05			
							0,19			