



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Robson Santos Barradas

**ANÁLISE DA REAÇÃO AO FOGO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS DO
CENTRO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: UM ESTUDO DA
EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS COMBUSTÍVEIS**

Rio de Janeiro
2011



Robson Santos Barradas

**ANÁLISE DA REAÇÃO AO FOGO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS DO CENTRO DA
CIDADE DO RIO DE JANEIRO: UM ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS
COMBUSTÍVEIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadoras: Prof^a. Claudia Rosário do Vaz Morgado
e Prof^a. Ana Catarina Jorge Evangelista

Rio de Janeiro

2011

B268

Barradas, Robson Santos.

Análise da reação ao fogo em edifícios comerciais do centro da Cidade do Rio de Janeiro: um estudo da evolução dos materiais combustíveis / Robson Santos Barradas – 2011.

88 f.: il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2011.

Orientadores: Claudia Rosário do Vaz Morgado e Ana Catarina Jorge Evangelista.

1. Risco de Incêndio. 2. Reação ao Fogo. 3. Riscos dos Novos Materiais. I. Morgado, Claudia Rosário do Vaz. II. Evangelista, Ana Catarina Jorge. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Título.

**ANÁLISE DA REAÇÃO AO FOGO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS DO
CENTRO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: UM ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS
MATERIAIS COMBUSTÍVEIS**

Robson Santos Barradas

Orientadoras: Prof^a. Cláudia Rosário do Vaz Morgado
e Prof^a. Ana Catarina Jorge Evangelista

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

Presidente, Prof^a. Cláudia Rosário do Vaz Morgado, Doutora, UFRJ

Prof^a. Maria Cristina Moreira Alves, Doutora, UFRJ

Prof^o. Luiz Antonio Carneiro, Doutor, IME

Prof^a. Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares, Doutora, UERJ

Rio de Janeiro
2011

RESUMO

BARRADAS, Robson Santos. Análise da reação ao fogo em edifícios comerciais do centro da Cidade do Rio de Janeiro: um estudo da evolução dos materiais combustíveis, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Nas construções modernas, principalmente a partir de meados do Século XX, tem se observado que o tempo médio necessário para o escape e o início das ações de resgate e de combate tem sido cada vez mais reduzido, trazendo dificuldades para as pessoas envolvidas nos sinistros, sejam elas ocupantes, resgatistas ou combatentes. Assim, com base nessa percepção, esta dissertação busca identificar o possível motivo para esse agravo, focando a reação ao fogo dos materiais mais utilizados nos edifícios comerciais do Centro do Rio de Janeiro – RJ.

Foi utilizado o Método Científico Dedutivo como processo investigativo, buscando uma possível indicação do que pode ter sido acrescido às modernas edificações comerciais, e que tenha permitido o aumento do risco-incêndio, ocasionando uma conseqüente redução nos tempos médios de escape, resgate e combate, analisando-se a reação ao fogo dos materiais de acabamento e mobiliário, principalmente.

Os resultados das pesquisas conduzidas em um levantamento de campo, através de questionários dirigidos a profissionais do mercado da construção civil atual e também de uma análise tipo *Walking-Through*, com visitas técnicas a prédios comerciais, no Centro do Rio de Janeiro, indicam que o maior uso de materiais plásticos, provavelmente, tenha contribuído para uma redução do tempo médio de resposta em incêndios, principalmente devido as suas características de reação ao fogo.

Palavras-chave: Risco de Incêndio. Reação ao Fogo. Riscos dos Novos Materiais.

ABSTRACT

BARRADAS, Robson Santos. Analysis of the reaction to fire in commercial buildings of downtown in Rio de Janeiro: a study of the evolution of combustible materials, 2011. Thesis (MA) - Program of Environmental Engineering, Polytechnic and School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

In modern buildings, especially from the mid-twentieth century, has been observed that the average time for escape and rescue actions from the beginning and combat has been increasingly reduced, leading to difficulties for those involved in claims, are they occupants or rescuers combatants. So based on that perception, this paper aims to identify the possible reason for this condition, focusing on the reaction to fire of materials commonly used in commercial buildings of the Center of Rio de Janeiro - RJ.

Scientific Method was used as a deductive research process, seeking a possible indication of what may have been increased to modern commercial buildings, and has allowed the increase of fire risk, causing a consequent reduction in the average time of escape, rescue and combat analyzing the reaction to fire of finish materials and furniture, mainly.

The results of research conducted in a field survey through questionnaires sent to professionals in the construction market and also present an analysis of type *walking-through* with visits to commercial buildings, in downtown Rio de Janeiro, indicate that greater use of plastics, probably contributed to a reduction in the average response time in fire, mainly due to its characteristics of reaction to fire.

Keywords: Fire Risk. Reaction to Fire. Risks of New Materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Fogo Padrão Celulose x Hidrocarboneto	16
Figura 1.2.1 Premissas do Método Científico Dedutivo	18
Figura 2.1.1 Fases do Incêndio	19
Figura 2.1.2 Classificação dos Materiais Particulados ..	27
Figura 3.1.1 Evolução dos Materiais de Construção e Conteúdo	51
Figura 3.2.1 Comportamento de Reação ao Fogo dos Materiais de Construção	53
Figura 3.3.1 Ensaio Europeu SBI (Single Burning Item)	56
Figura 3.4.1 Escala de Combustibilidade	57
Figura 4.1 Alexandre Mackenzie	62
Figura 4.2 Almare	63
Figura 4.3 Assembléia	64
Figura 4.4 Edson Passos	64
Figura 4.5 Avenida Central	65
Figura 4.6 Candelária Corporate	66
Figura 4.7 Castro Pinto	66
Figura 4.8 Edson Passos	67
Figura 4.9 Imperial do Carmo	68
Figura 4.10 Jacob Goldberg	68
Figura 4.11 Maria Alexandrina	69
Figura 4.12 Municipal	70
Figura 4.13 Nossa Senhora do Rosário	70
Figura 4.14 Orly	71
Figura 4.15 Oscar Niemeyer	72
Figura 4.16 Avenida Passos	72
Figura 4.17 Rio Branco	73
Figura 4.18 Rio D'Ouro	74
Figura 4.19 Rodolpho De Paoli	74
Figura 4.20 Vital Brazil	75
Figura 4.21 Sistema Estrutural (MWT)	76
Figura 4.22 Fechamento Externo (MWT)	76
Figura 4.23 Fechamento Interno (MWT)	77

Figura 4.24 Acabamento de Teto (MWT)	77
Figura 4.25 Acabamento de Parede (MWT)	78
Figura 4.26 Acabamento de Piso (MWT)	78
Figura 4.28 Sistema Estrutural (QOP)	81
Figura 4.29 Laje (QOP)	81
Figura 4.30 Cobertura (QOP)	82
Figura 4.31 Fechamento Externo (QOP)	83
Figura 4.32 Fechamento Interno (QOP)	83
Figura 4.33 Acabamento de Teto (QOP)	84
Figura 4.34 Acabamento de Parede (QOP)	84
Figura 4.35 Acabamento de Piso (QOP)	85
Figura 4.36 Instalações (QOP)	86
Figura 4.37 Mobiliário (QOP)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.1	Intoxicação por Inalação de Monóxido de Carbono (CO)	20
Tabela 2.1.2	Resposta do Organismo Humano ao Teor de Oxigênio (O ₂)	21
Tabela 2.1.3	Expectativa de Vida na Falta de Oxigênio Molecular	25
Tabela 2.2.1	Principais Impactos por Poluentes	31
Tabela 2.3.1	Classificação das Queimaduras Humanas	37
Tabela 2.3.2	SCQ - Superfície Corporal Queimada (%)	38
Tabela 2.4.1	Valores de IDLH das Principais Substâncias Tóxicas	44
Tabela 2.4.2	Análise da Toxidez das Substâncias Liberadas	45
Tabela 3.3.1	Classes de Reação ao Fogo dos Materiais	54
Tabela 3.3.2	Correlações com as Euroclasses	55
Tabela 3.4.1	Ensaio de Reação ao Fogo	59
Tabela 4.27	Questionário da Opinião dos Profissionais (QOP)	80

LISTA DE ABREVIATURAS E PRINCIPAIS SIGLAS

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

BREEAM - British Research Establishment Environmental Assessment Method

HQE - Haute Qualité Environnementale

CASBEE - Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency

GBTOOL - Green Building Tool

Método IPT - Método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

ISO - International Organization for Standardization

MDF - medium density fiberboard

HDF - high density fiberboard

OSB - oriented strand board

pH - potencial hidrogeniônico

SCQ - Superfície Corporal Queimada

DPC - Diretório de Produtos para a Construção

CB-24 - Comitê Brasileiro número 24 - Segurança Contra Incêndio

FISPQ - Folha de Informação de Segurança de Produto Químico

MSDS - Material Safety Data Sheet

TRRF - Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

NBR - Norma Brasileira

IDLH - valor imediatamente perigoso à vida ou à saúde

NIOSH - Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional

CFC - produtos a base de Cloro, Flúor e Carbono

UV-C - ultravioleta tipo C

FM Global - Factory Mutual Global

NF - Norme Française

BS - British Standard

DIN - Deutsches Institut für Normung

CE - Comunidade Européia

SBI - Single Burning Item

ASTM - American Society for Testing and Materials

SOLAS - Safety of Life at Sea

IMO – International Maritime Organization

FTPC – Fire Tests Procedures Code

MWT – Método Walking-Trough

QOP - Questionário da Opinião dos Profissionais

ACM – Aluminum Composite Material

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Perigos da Fumaça Tóxica	17
2.2 Impactos Ambientais	28
2.3 Efeitos dos Gases e Vapores Quentes	36
2.4 Controle dos Materiais Especificados	40
3 A EVOLUÇÃO DO USO E A NATUREZA DOS MATERIAIS	51
3.1 A Evolução dos Materiais de Construções	51
3.2 A Natureza dos Materiais	54
3.3 A Reação ao Fogo	55
3.4 Combustível x Incombustível	58
4 METODOLOGIA	62
4.1 Estudos Paramétricos	62
4.2 Método Walking Though	72
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	96
6 CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

A identificação e o reconhecimento de danos à saúde humana e ao meio ambiente devido à utilização de materiais disponíveis na natureza, modificados ou não pelo homem para os seus interesses, têm aberto novas áreas de estudos. Pouco se fala dos elevados riscos de exposição aos gases e vapores gerados em uma situação de incêndio, sendo estas emissões o maior risco imediato. Dependendo do grau de intoxicação aguda, a pessoa pode falecer em poucas horas ou dias após a ocorrência do sinistro. Além dessa agressão ao ser humano, os efluentes gasosos de incêndios participam da formação de substâncias na atmosfera, podendo favorecer a precipitação de chuvas ácidas, entre outras ocorrências, afetando o solo e a água. Buscou-se desenvolver uma dissertação voltada para análise da contribuição das substâncias geradas em incêndios e os seus impactos sobre a saúde humana e no meio ambiente.

Segundo Hall (2001), a maioria das vítimas mortais, nos incêndios, ocorre por exposição à fumaça tóxica, provocando asfixia e intoxicação, e não por causa da exposição ao fogo, provocando queimaduras. As pessoas são vitimadas devido à asfixia provocada pelo deslocamento físico do oxigênio por substâncias geradas nas combustões (asfixia física) e/ou por intoxicação (asfixia química) outra possibilidade está relacionada à redução do fornecimento de oxigênio através do sangue às células, por uma afinidade química entre a hemoglobina e algumas substâncias geradas na queima dos materiais de revestimento (tetos, paredes e pisos) e de conteúdo (mobiliário, decoração, etc.). Além dessas duas formas, a falência parcial ou total do sistema respiratório por queimaduras devido ao ar aquecido inalado também deve ser considerada. Assim, constata-se que o controle das fumaças tóxicas e quentes deve ser a principal atitude nas ações de segurança, em cenários de incêndios nas edificações.

Com base nos levantamentos estatísticos mundiais, caberia uma pergunta: De onde são geradas as substâncias tóxicas encontradas normalmente nas fumaças dos incêndios?

Segundo Mitidieri e Ioshimoto (1998), o desenvolvimento tecnológico trouxe profundas modificações nos sistemas construtivos, caracterizadas pela utilização de grandes áreas sem compartimentação (ex.: pavimentos panorâmicos, sem paredes), pelo emprego de fachadas envidraçadas e **pela incorporação acentuada de materiais combustíveis aos elementos construtivos**. Tais modificações, aliadas ao número crescente de instalações e equipamentos de serviço, introduziram riscos que anteriormente não existiam nas edificações.

Atualmente um assunto que está sendo abordado é o conceito de *Green Building* (Construção ou Edifício Verde) cada vez mais presente nos projetos das modernas edificações. Os critérios verdes englobam a localização, o projeto, a construção, a operação e a manutenção, a remoção de resíduos e a remoção ou a renovação da edificação ao final da sua vida útil (CAPELLO, 2007).

Na construção civil, existem várias iniciativas de certificação ambiental e cada país usa um selo próprio de certificação para edifícios sustentáveis ou adota e regionaliza um selo estrangeiro. Em comum, todos têm a meta de aliar ferramentas da arquitetura e tecnologia para projetar sem gerar danos para a natureza e para os moradores / usuários dos edifícios (OLIVEIRA, 2009). Os selos mais importantes, atualmente, são:

- LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*: refere-se ao impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos processos relacionados ao edifício (projeto, construção e operação), contemplando aspectos relativos ao local do empreendimento, o consumo de água e de energia, o aproveitamento de materiais locais, a gestão de resíduos e o conforto e qualidade do ambiente interno da edificação;
- BREEAM – *British Research Establishment Environmental Assessment Method*: aborda questões sobre os impactos do edifício no meio ambiente, saúde e conforto do usuário e gestão de recursos;
- HQE – *Haute Qualité Environnementale*: avalia os impactos do empreendimento no meio ambiente, gestão de recursos, conforto ambiental e saúde do usuário;

- CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency*: aborda a qualidade ambiental e desempenho da edificação, e diminuição das cargas ambientais, através de questões relativas à qualidade do ambiente interno (conforto e saúde do usuário), qualidade do serviço (funcionalidade, durabilidade) e meio ambiente local (preservação vegetal e animal, e características paisagísticas, culturas locais e etc.), além da eficiência energética (desempenho da envoltória, uso de energia renovável, eficiência dos sistemas e sua operação), gestão de recursos (economia e reuso de água, reuso e reciclagem de materiais e etc.) e impactos na vizinhança (poluição do ar, sonora, vibrações e etc.);
- GBTOOL – *Green Building Tool*: refere-se ao consumo de recursos, cargas ambientais, qualidade do ambiente interno, qualidade do serviço, aspectos econômicos e gestão antes da ocupação do edifício;
- Método IPT: enfatizam os aspectos ambientais tradicionais como características do terreno, de água, energia, materiais, resíduos e conforto ambiental. Considera também aspectos mais abrangentes como de acessibilidade e relação do edifício com o meio urbano;
- AQUA – Alta Qualidade Ambiental: similar ao HQE, e adequado a realidade brasileira.

Todos estes selos verdes abordam aspectos relativos à edificação sustentável e aos seus impactos ao homem (usuário) e ao meio ambiente. Um ponto importantíssimo que deve ser observado é que nenhuma destas certificações considera o critério de segurança humana e ambiental, principalmente com foco nos incêndios prediais. Assim, é recomendável que o item segurança humana e ambiental também passe a participar da lista de aspectos a serem avaliados em futuras emissões de selos ambientais (ambientalmente correto). Talvez, possa até ser criado um selo vermelho, que representaria a certificação de prédios classificados como seguramente corretos ou corretamente seguros, apesar da cor verde também ser utilizada pela área de segurança.

1.1 Objetivo

Este trabalho objetiva, pela análise de observações locais através do método *Walking-Troug* (SANTO, 2004) e por uma pesquisa de dados com profissionais da área de construção de prédios comerciais, feita com base em um questionário específico, ratificarem a premissa de que as construções modernas, principalmente a partir de meados do Século XX, apresentam um maior risco-incêndio devido à reação ao fogo dos materiais combustíveis empregados. Num passado, não muito distante, a madeira era utilizada como o principal material de construção (prédio e conteúdo) e hoje as especificações favorecem a utilização de produtos à base de plásticos (hidrocarbonetos), de todos os tipos (polietileno, poliestireno, polipropileno, poliuretano, PVC e etc.) e de todas as formas (revestimento, mobiliário, decoração e até estrutural – pultrudados de fibra de vidro).

O Método Científico Dedutivo será utilizado como processo investigativo (pesquisa), tendo como objetivo a explicação do conteúdo das premissas apresentadas na Figura 1.2.1.

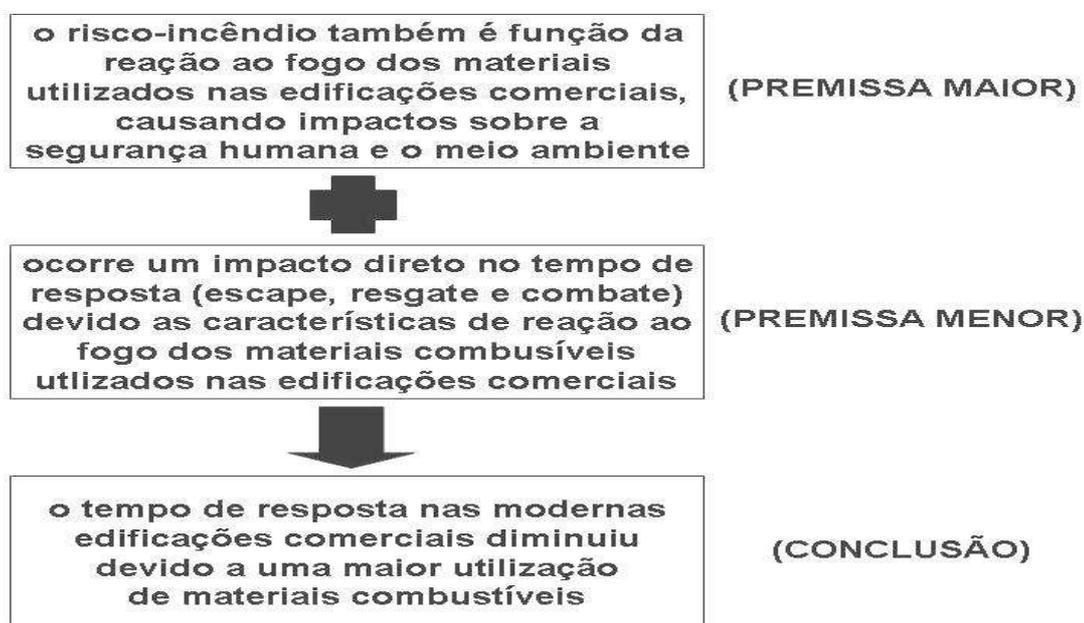


Figura 1.2.1 – Premissas do Método Científico Dedutivo

Ao término do desenvolvimento desta dissertação, objetiva-se a confirmação da premissa que originou este trabalho, ou ao menos uma indicação de que esta

premissa possa estar correta, alertando os projetistas das modernas edificações, com grande apelo aos arquitetos e aos engenheiros civis, para que considerem estas informações no momento de estabelecerem as especificações do que será utilizado nas edificações. Não podemos deixar de salientar a responsabilidade dos projetistas, construtores, empreendedores e legisladores, quanto ao atual aumento do risco-incêndio frente à fragilidade das nossas legislações atuais, normas e concepções construtivas e ocupacionais (de utilização). As necessidades fundamentais de estética, de funcionalidade e de conforto humano devem ser atendidas, sem que a segurança humana e do meio ambiente seja prejudicada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os Perigos da Fumaça Tóxica

O Risco-Incêndio é definido como a probabilidade da ocorrência de um incêndio, de forma contrária, a Resistência ao Fogo representa a capacidade que um elemento de construção civil, estrutura ou componente, apresenta para atender a estabilidade requerida, a integridade ao fogo, o isolamento térmico e/ou a outra exigência, em um teste padrão de resistência ao fogo, por um determinado período de tempo (ISO 8421-1, 1987).

A característica de Reação ao Fogo de um material reflete o seu comportamento quando esse se encontra submetido às condições de um incêndio, principalmente quanto às cinco seguintes características: contribuição combustível, propagação superficial de chamas, liberação de partículas incandescentes, desenvolvimento de fumaça e geração de substâncias tóxicas, podendo levar a um risco-incêndio elevado. Em incêndios nas edificações, os maiores riscos surgem através da propagação de fumaças tóxicas e de partículas incandescentes (ISOVER, 2011).

Como nas construções, analisando-se a combustibilidade dos materiais utilizados frente às temperaturas atingidas nos incêndios, identificam-se os produtos de base

orgânica, tais como a madeira (celulose) e o plástico (hidrocarboneto), como os únicos que entram em combustão. Toda a ênfase será voltada à reação ao fogo dos materiais orgânicos combustíveis, agregados às construções como itens de revestimento e de conteúdo, quando expostos a uma situação de incêndio.

O tempo médio para o escape e para o início das operações de resgate e de combate pode estar sendo reduzido devido a uma maior energia liberada em um menor período de tempo por parte dos materiais plásticos (hidrocarbonetos), quando comparados aos produtos de madeira (celulose), que eram muito mais utilizados que os plásticos até meados do século passado. A Figura 1.1.1 apresenta as curvas de fogo padrão da celulose e do hidrocarboneto.

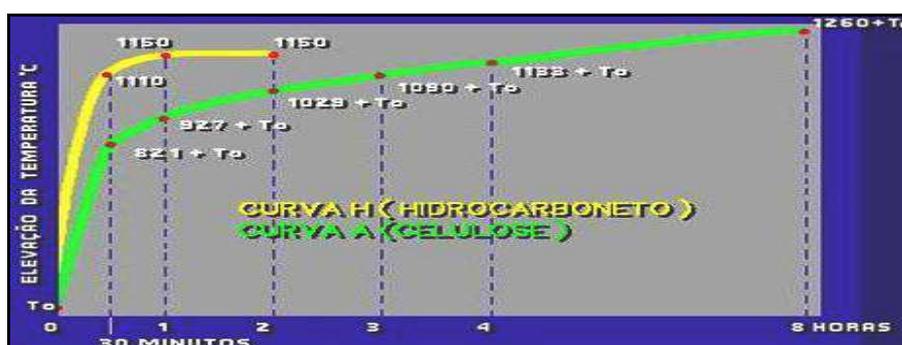


Figura 1.1.1 – Fogo Padrão Celulose x Hidrocarboneto

Fonte: ASTM, 2002.

Os hidrocarbonetos, normalmente, apresentam uma maior contribuição combustível (liberação de energia térmica por unidade de massa ou de volume) e uma maior taxa de queima (velocidade de combustão) do que os produtos à base de celulose, levando a uma redução no período de tempo para o início das ações necessárias, em um incêndio. Dessa forma, estão sendo dificultadas as operações de escape (desocupação ou abandono do prédio), de resgate e de combate, comprometendo o seu sucesso, e acarretando maiores prejuízos patrimoniais e uma maior perda humana (número de vítimas em incêndios). Além desses riscos, ocorre uma liberação de substâncias tóxicas para o ambiente, por resíduos sólidos, efluentes líquidos e/ou emissões gasosas (gás e vapor), podendo ocorrer efeitos físico-químicos na atmosfera, nocivos ao homem e à natureza, tal como a chuva ácida

($\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_x$ e $\text{H}_2\text{O} + \text{NO}_x$) e o efeito estufa (CO_2 e outros gases), além outros impactos ambientais como a própria poluição do ar nos grandes centros urbanos. Perdas sociais e econômicas também devem ser consideradas. Este trabalho abordará somente os impactos dos incêndios sobre a segurança humana e ambiental.

Com a adoção de novos materiais nas edificações, os riscos de incêndios aumentaram devido à natureza química das substâncias liberadas por pirólise e pela combustão desses materiais, conforme ilustra a Figura 2.1.1, além da associação dos elementos químicos presentes nos incêndios, formando outras substâncias.



Figura 2.1.1 – Fases do Incêndio
Fonte: REVISTA INCÊNDIO, 2011

Um conhecimento pouco difundido na arquitetura e na engenharia e que deveria ser utilizado nos projetos de edificações é a toxicologia (estudo da toxicidade) das substâncias geradas pelos materiais presentes em uma situação de incêndio. Dessa forma, seria possível uma redução no número de vítimas fatais por asfixia simples, devido ao deslocamento do oxigênio livre no ar inalado, e por intoxicação (asfixia química), devido à hipoxia sanguínea e celular (baixa concentração de oxigênio no sangue e nas células). No organismo, o monóxido de carbono (CO) apresenta uma afinidade pela hemoglobina presente nas hemácias (glóbulos vermelhos) de 200 a 300 vezes maior do que o oxigênio (O_2) (MARIANO, 2005).

Essa afinidade, pela ocorrência de grandes teores de monóxido de carbono (CO) em incêndios, é que provoca a asfixia química dos tecidos orgânicos. O monóxido de carbono ainda aumenta a estabilidade da combinação do oxigênio com a hemoglobina, impedindo as trocas gasosas, em baixas pressões, entre o sangue e os tecidos orgânicos, necrosando-os. A Tabela 2.1.1 apresenta a resposta do organismo humano à inalação do monóxido de carbono.

CONCENTRAÇÃO DE CO (PPM)	EXPOSIÇÃO E SINTOMA
100	Nenhum efeito para uma exposição entre 6 e 8 horas
200	Leve dor de cabeça para uma exposição entre 2 e 3 horas
400	Dor de cabeça e náuseas para uma exposição entre 1 e 2 horas
800	Dor de cabeça, náuseas e tonteira após 45 minutos de exposição, com possível inconsciência após 2 horas de exposição
1.000	Perda de consciência após 1 hora de exposição
1.600	Dor de cabeça, náuseas e tonteira após 20 minutos de exposição
3.200	Dor de cabeça e tonteira após 5 a 10 minutos de exposição; inconsciência após 30 minutos de exposição
6.400	Dor de cabeça e tonteira depois de 1 a 2 minutos de exposição; inconsciência e risco de morte após 10 a 15 minutos de exposição
12.800	Inconsciência e risco de morte após 1 a 3 minutos de exposição

Tabela 2.1.1 – Intoxicação por Inalação de Monóxido de Carbono (CO)

Fonte: MEIDL, 1970

O ar atmosférico, ao nível do mar, apresenta uma composição média de 78% de nitrogênio (N₂) inerte, 21% de oxigênio (O₂) ativo e 1% de outros constituintes, tal como o hélio (He), o argônio (Ar), o criptônio (Kr), o xenônio (Xe), o radônio (Rn), o ozônio (O₃), a amônia (NH₃), o hidrogênio (H₂), o gás carbônico (CO₂) e o vapor

d'água (H₂O). Na ocorrência de uma redução do teor de oxigênio molecular (O₂) no ambiente, abaixo de 18 % em volume, as pessoas se encontram em risco de asfixia (LING, 2005).

Os hidrocarbonetos quando liberados pela pirólise e pela queima de materiais orgânicos (ex.: plásticos oriundos do petróleo) são substâncias que podem trazer muitos problemas à saúde humana, quando inalados. Juntamente com os óxidos de nitrogênio, na presença de luz, formam compostos orgânicos danosos à saúde que constituem o *smog* (*smoke* + *fog* = fumaça + neblina) fotoquímico (MATOS, 2010).

Dependendo da concentração das substâncias geradas nos incêndios, a morte poderá ocorrer por asfixia simples e/ou por asfixia química (intoxicação). Até as pessoas que escapam com vida de uma edificação sinistrada, não podem ter a certeza de que permanecerão vivas após o incêndio, caso não sejam examinadas e tratadas quanto a uma possível intoxicação, por inalação de fumaça tóxica. A Tabela 2.1.2 resume a resposta respiratória média do ser humano.

CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO MOLECULAR (O₂) (% VOLUMÉTRICO)	
C ≥ 18	Respiração normal
16 ≤ C < 18	Dificuldade respiratória
12 ≤ C < 16	Respiração acelerada e aumento do batimento cardíaco
10 ≤ C < 12	Instabilidade emocional e exaustão física
6 ≤ C < 10	Enjôo, vômito, falta de ação e inconsciência
C < 6	Contração muscular involuntária e parada cardio-respiratória

Tabela 2.1.2 – Resposta do Organismo Humano ao Teor de Oxigênio (O₂)

Fonte: LING, 2005

Durante um incêndio, além dos vapores tóxicos presentes na fumaça, encontram-se materiais particulados que têm como núcleo o carbono, e nas suas superfícies outros materiais, tais como as substâncias tóxicas.

Um projeto consciente, relativo à construção de edifícios, deve levar em conta o tipo de construção, analisando-se as estruturas de sustentação e os fechamentos (vedações), o tipo de ocupação (ex.: comercial), atentando para a possibilidade de uma grande concentração humana (ex.: cinemas e teatros) e/ou de uma baixa mobilidade (ex.: hospitais e presídios), além de identificar e quantificar os perigos existentes (ex.: materiais combustíveis, como madeira e plástico) frente às salvaguardas que serão adotadas (ex.: sistemas de segurança contra incêndio e pânico)(LING,2005).

A estética, a funcionalidade e o conforto humano são características extremamente necessárias nas edificações modernas, entretanto os materiais que serão utilizados como acabamento e conteúdo (mobiliário, decoração e etc.) deverão ter as suas especificações confirmadas somente após uma análise detalhada da sua reação (comportamento) frente ao fogo. A responsabilidade sobre a especificação dos materiais deve ser dividida entre a arquitetura, a engenharia civil e a engenharia de segurança do trabalho, sempre que for possível.

Atualmente, 100.000 substâncias químicas são usadas e mais de 500 novas substâncias são introduzidas anualmente no mercado (JACKSON, 1996).

Algumas dessas substâncias químicas são conhecidas por causar efeitos adversos ao homem e à vida animal. Só alguns produtos químicos foram testados para se avaliar as conseqüências sobre a saúde humana, e quase nenhum foi testado quanto aos seus efeitos sinérgicos. Assim, desconhece-se o real impacto sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente, ocasionado por uma exposição diária, quando os seres humanos são submetidos a todos estes produtos químicos (LEONARD, 2007). Também é prudente lembrar que qualquer substância química em

grande concentração pode ser tóxica, produzindo um efeito nocivo ao organismo humano.

Os sintomas de uma intoxicação dependem da natureza da substância, da sua concentração e do tempo de exposição, do estado físico e psíquico da pessoa exposta. As características genéticas individuais podem afetar o resultado no caso de uma inalação tóxica, bem como o sexo, a idade e o peso do indivíduo. O grau de conhecimento sobre as ações que devem ser tomadas em casos de incêndio e a experiência em situações similares como nos treinamentos (simulados) de escape, costumam levar a resultados menos críticos do que aqueles que se observam em intoxicações acidentais por exposição às fumaças de incêndios nos casos de pessoas não treinadas.

Se o indivíduo já sofre de uma doença do aparelho respiratório ou do sistema cardiovascular, a situação se agrava. Nos fumantes, os resultados podem ser bem mais graves por apresentarem o aparelho respiratório já comprometido. Algumas boas técnicas podem ser lembradas em casos de incêndio:

1. Em um incêndio, principalmente a fumaça, se alastra mais rapidamente para cima do que para baixo. Caso seja possível usar as escadas, desça rapidamente e de uma forma organizada. Não suba; a fumaça produzida em incêndios geralmente é bastante tóxica e, caso seja inalada, poderá provocar desorientação e desmaios, colocando as pessoas em sério risco de morte. Assim, como a fumaça é mais quente do que o ar nos ambientes próximos ao local do incêndio, normalmente, apresenta uma tendência a se concentrar junto aos tetos dos pavimentos, fora dos caminhos verticais (ex.: caixas de escadas e poços de elevadores). Quanto mais próximo do chão se mantiver o rosto, menos quente estará o ar e menores serão os riscos de intoxicação. Disso, surge a informação de que as pessoas devem manter-se abaixadas durante o escape; o que nem sempre é o correto a ser feito (ex.: presença de gases tóxicos mais pesados do que o ar, tal como o HCl e o HBr, entre outros) (CETESB, 2011);
2. Qualquer pessoa que seja exposta às fumaças tóxicas, deverá ser removido da

área incendiada o mais rápido possível e levado para um local ao ar livre, onde possa respirar naturalmente.

Após uma substância tóxica ter sido inalada, dissemina-se pela corrente sanguínea, sendo filtrada pelo fígado e excretada através da bexiga. Uma hemodiálise pode ser necessária para a remoção das substâncias tóxicas que não são imediatamente neutralizadas ou eliminadas da corrente sanguínea.

Em incêndios prediais, não é possível selecionar o ar que se inala. Dessa forma, as vias aéreas devem ser protegidas ao menos por um pano úmido, para que se reduza a entrada de substâncias tóxicas no sistema respiratório, através da retenção e da dissolução dessas na água armazenada pelo pano úmido. Sempre que possível, durante o escape, deverá ser feita a troca da água do pano úmido, para que ela não se sature de substâncias tóxicas.

Os perigos dos gases / vapores tóxicos não se restringem somente à sua toxidez ou à sua ação asfixiante. Outros perigos como a inflamabilidade, a explosividade, a corrosividade e a sua ação anestésica também devem ser considerados, bem como as alterações orgânicas que podem provocar mutagênese (formação de tumores benignos ou malignos – câncer) e a teratogênese (defeitos físicos e orgânicos) provocada nos fetos, por inalação pela mãe.

A toxicocinética analisa o caminho seguido pelas substâncias tóxicas dentro do organismo humano, iniciado pela absorção (inalação), passando pelo transporte e distribuição (através da corrente sanguínea), se dando o armazenamento (chegada aos órgãos que tem afinidade), ocorrendo a biotransformação (no fígado) e, havendo a eliminação (normalmente através dos rins e do intestino grosso). A principal forma de eliminação das substâncias tóxicas é pela urina, mas o ar exalado pelos pulmões e por todas as outras secreções do organismo (lágrima, suor, saliva, etc.) também deve ser considerado.

Com base em pesquisas estatísticas, a resistência humana em locais com baixa concentração de oxigênio é ilustrada pela Tabela 2.1.3.

TEMPO DE EXPOSIÇÃO (MINUTOS)	CHANCES DE SOBREVIVÊNCIA (%)
3	75
4	50
5	25
> 10	≅ 0

Tabela 2.1.3 – Expectativa de Vida na Falta de Oxigênio Molecular

Fonte: ARAÚJO, 2009

Em uma ação de escape (desocupação ou abandono do prédio), na presença de fumaça, o tempo gasto para a tomada de decisão (se continua ou se volta, se sobe ou se desce, se socorre alguém ou não, e etc.) pode impactar seriamente o sistema respiratório, provocando um aumento da concentração de compostos tóxicos na corrente sanguínea.

Os danos provocados, por incêndios, a saúde humana não devem ser analisados somente quanto à população envolvida no sinistro, mas também quanto à saúde dos resgatistas e dos combatentes (bombeiros e brigadistas) que se expõem frequentemente, podendo culminar numa intoxicação crônica ao longo das suas vidas profissionais. (DIAZ, 2002).

A asfixia física (simples) e a asfixia química (intoxicação) provocam a perda momentânea da capacidade física e do raciocínio lógico, resultando na impossibilidade de abandono do local sinistrado, e podendo levar à morte.

As substâncias químicas tóxicas presentes nos ambientes incendiados podem ter origem em produtos secundários formados logo após os produtos de pirólise ou de combustão terem sido gerados. Essas substâncias continuam quimicamente

ativas, mesmo depois das chamas terem sido apagadas e por um longo tempo que só depende das condições locais de ventilação, seja ela natural ou artificial.

Os materiais particulados, normalmente presentes nas fumaças de incêndios, têm origem na combustão de madeiras e de outros materiais orgânicos, como plásticos. Devido à presença de substâncias químicas em suas superfícies, se constituem em um real perigo por poderem conduzir substâncias tóxicas para dentro do organismo humano, por inalação.

As substâncias químicas mais freqüentes nas fumaças de incêndios, em concentrações potencialmente letais, são: o monóxido de carbono (CO), o ácido cianídrico (HCN) e o ácido clorídrico (HCl). O ácido cianídrico HCN é gerado normalmente pela combustão de materiais ricos em nitrogênio, em temperaturas não tão altas, pela queima de materiais sintéticos (fibras plásticas) ou naturais (lã e seda) (PURSER, 2002).

A concentração de monóxido de carbono (CO) presente no ar não tem nenhuma correlação visível com a intensidade da fumaça, devendo ser analisado o perigo existente, mas invisível por ser inodoro e incolor. O perigo pode persistir mesmo após a extinção do incêndio. A volatilização de substâncias químicas perigosas, principalmente pelos materiais sintéticos devido ao seu aquecimento (pirólise), mesmo sem chamas, traz um grande risco às pessoas próximas ao local. Daí a importância da análise da pressão de vapor e do ponto de fusão dessas substâncias.

Novos materiais utilizados no mercado da construção civil, a partir do Século XX, têm sido estudados para a identificação dos seus riscos, tais como o HCl gerado pela queima de produtos à base de PVC (policloreto de vinila), presentes nos tratamentos termo-acústicos com espumas de borracha aditivadas com enxofre e com cloro, os isocianatos liberados pela combustão de espumas de poliuretano e o formaldeído originado pelas resinas fenólicas das lãs de vidro e de rocha, utilizadas como isolantes térmicos, além de compósitos plástico-madeira, como o MDF

(medium density fiberboard) e sua família (aglomerado, HDF – *high density fiberboard* e o OSB – *oriented strand board*).

O sistema respiratório pode sofrer uma lesão pelo contato com essas substâncias químicas por três mecanismos distintos, na ocorrência de incêndios:

- por asfixia – pelo deslocamento do oxigênio (asfixia física) por outras substâncias ou pela ação sobre o metabolismo celular através do monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e pelo cianeto de hidrogênio, entre outros, provocando uma intoxicação (asfixia química);
- por irritação – pela lesão dos tecidos por alterações do pH, por efeitos tóxicos específicos ou por reações químicas inespecíficas pelo metanol, dióxido de nitrogênio, monóxido de nitrogênio, nitreto de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, cianeto de hidrogênio, cloreto de hidrogênio e dióxido de enxofre. A irritação provoca uma inflamação nas membranas das mucosas das vias aéreas e dos olhos;
- por queimadura – pelo efeito térmico devido as altas temperaturas dos gases / vapores, fumos, gotículas e partículas em suspensão no ar (material particulado).

Para que se tenha uma melhor compreensão sobre a classificação dos particulados, a Figura 2.1.2 ilustra uma comparação baseada nas dimensões dos materiais particulados, já que os incêndios lançam partículas, que ficam em suspensão no ar, normalmente à base de carbono (grafita) e que podem ser inalados pelos seres vivos.

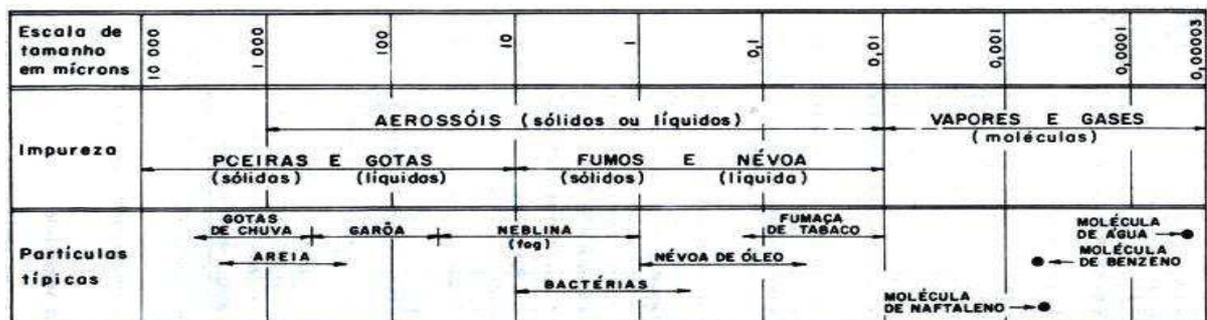


Figura 2.1.2 – Classificação dos Materiais Particulados

Fonte: MACINTYRE, 1990

2.2 Os Impactos Ambientais

Incêndios poluidores ocorrem todos os dias. As emissões (não só de gases tóxicos, mas também de partículas liberadas nos) dos incêndios provocam sérios impactos sobre o meio ambiente. Esses impactos ocorrem não apenas pelos gases tóxicos da combustão no local do incêndio, mas devido a grandes quantidades de partículas também liberadas pelo incêndio no meio ambiente. As emissões de partículas em um incêndio são normalmente de duas a quarenta vezes maiores do que quando materiais combustíveis são queimados em condições controladas (ROCKWOOL, 2011). Isso ocorre porque as partículas são compostas, entre outros, de fuligem, de alcatrão, dos materiais não queimados e dos detritos inorgânicos. Especialistas do *SP Technical Research Institute of Sweden* estimam que as emissões de hidrocarbonetos não queimados, de incêndios, devem ser da mesma magnitude que a poluição anual do tráfego de veículos pesados.

De acordo com Matos (2010) a poluição pode ser definida como todo e qualquer tipo de alteração no meio, decorrente da introdução pelo homem de matéria (substâncias) e/ou de energia (ex.: térmica), de modo a danificar ou prejudicar suas características originais, principalmente por:

- afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- ocasionar danos relevantes ao ecossistema e a qualquer recurso natural, aos acervos históricos, culturais e paisagísticos;
- criar condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- alterar as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lançar matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Os poluentes apresentam características intrínsecas (específicas) determinantes para os impactos ambientais que provocarão, tal como a sua toxicidade a curto (intoxicação aguda) e a longo (intoxicação crônica) prazos, a sua persistência no meio (atmosfera, litosfera e hidrosfera), a sua facilidade de dispersão no meio, os produtos de sua decomposição química ou bioquímica, o seu potencial de

acumulação na cadeia alimentar e a complexidade no seu controle e na sua biorremediação.

Os poluentes provocam danos ambientais com a sua estrutura original quando atingem o meio e também quando são modificados por processos físico-químicos naturais, frequentemente, provocando maiores danos ambientais do que quando em suas formas originais (ex.: chuvas ácidas, formando ácido nítrico - HNO_3 e ácido sulfúrico - H_2SO_4).

Devido ao fato dos incêndios, analisados como fontes poluidoras, será impossível à localização prévia, medição e controle, a única forma de se evitar ou ao menos de se mitigar os seus efeitos sobre o meio ambiente é fazendo o controle dos materiais especificados (utilizados) durante a fase de projeto, de construção e, principalmente, de ocupação (uso) das edificações. Atualmente, esta ação preventiva pode ser exercida através da análise da “reação dos materiais, atualmente utilizados nas edificações, em situação de incêndio”.

Nos incêndios, devido à queima dos materiais orgânicos, à base de celulose ou de hidrocarbonetos, é comum a ocorrência de substâncias à base de CO_x (CO e CO_2), NO_x (NO e NO_2), SO_x (SO e SO_2) e COVs (compostos orgânicos voláteis - hidrocarbonetos), além de outras substâncias como os materiais particulados (MATOS, 2010). Aos poluentes citados, o dióxido de carbono (CO_2), causa maior impacto global por ser o principal gás de efeito estufa na nossa atmosfera (MATOS, 2010).

As fumaças são constituídas por materiais particulados com diâmetros inferiores a $10\ \mu\text{m}$. Esses podem permanecer na atmosfera de 10 a 30 dias, podendo ser transportados por milhares de quilômetros, dependendo das condições de vento (MATOS, 2010).

A presença de material particulado no ar, gerando a fumaça, pode trazer transtornos diversos ao ambiente, principalmente à visibilidade, além de alterações na qualidade do ar, podendo causar enfermidades e desconforto ao homem e à

fauna local. A ocorrência de intensa fumaça pode levar a um maior risco de acidentes, principalmente quando associada ao transporte de cargas e de passageiros, além de prejudicar a observação visual das regiões próximas aos incêndios (MATOS, 2010).

Os impactos ambientais provocados pela ação de poluentes gerados em incêndios podem ser locais (ex.: poluição do ar), regionais (ex.: chuva ácida e danos a flora e a fauna) ou globais (ex.: efeito estufa), além dos problemas de saúde para a população exposta a esses poluentes.

A ocorrência de incêndios provoca a formação de poluentes, que são transferidos ao meio ambiente através das emissões gasosas (gases e vapores), dos efluentes líquidos e dos resíduos sólidos.

Um grupo muito importante de poluentes orgânicos são os Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (HAPs), que são subprodutos de uma combustão, de uma pirólise ou de uma pirossíntese de materiais orgânicos. Os HAPs são substâncias lipofílicas (solúveis em gordura), podendo causar efeitos mutagênicos e carcinogênicos nos seres vivos. Plantas também podem ser contaminadas por esses compostos quando ocorre a sua deposição atmosférica (MATOS, 2010).

Para minimizar a poluição pela queima de materiais em incêndios, deve-se agir de forma preventiva, substituindo-se os materiais combustíveis, como madeiras e plásticos, por incombustíveis, como alumínio, aço e cerâmica, ou por materiais combustíveis de baixa combustibilidade, identificando-se os seus prováveis produtos de combustão. Um bom exemplo de uma atitude preventiva é a substituição de pisos plásticos por pisos cerâmicos.

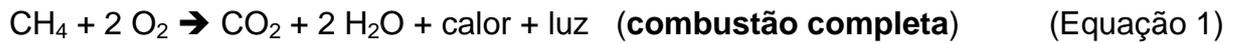
Conforme citado acima podemos observar melhor as substâncias indesejáveis, que são mais comuns provenientes da queima de materiais orgânicos em um incêndio, na Tabela 2.2.1.

SUBSTÂNCIA	PRINCIPAIS IMPACTOS	
	sobre a Saúde Humana	sobre o Meio Ambiente
vapor d' água (H ₂ O)	asfixia	efeito estufa
dióxido de carbono (CO ₂)	asfixia	efeito estufa
monóxido de carbono (CO)	intoxicação (hipóxia sanguínea)	efeito estufa (oxidado em CO ₂ na atmosfera)
gás cianídrico (HCN)	intoxicação (hipóxia sanguínea)	tóxico aos micro-organismos do solo e aos organismos aquáticos
gás clorídrico (HCl)	corrosão do sistema respiratório	corrosão vegetal
óxidos de nitrogênio (NO _x)	corrosão do sistema respiratório	chuva ácida e smog fotoquímico
óxidos de enxofre (SO _x)	corrosão do sistema respiratório	chuva ácida e smog fotoquímico
amônia (NH ₃)	corrosão do sistema respiratório	corrosão vegetal
hidrocarbonetos (COVs)	asfixia	smog fotoquímico
material particulado	obstrução do sistema respiratório	redução da visibilidade e contaminação do solo

Tabela 2.2.1 – Principais Impactos por Poluentes

Fonte: MARIANO, 2005

Quando ocorre a queima de substâncias orgânicas, considerando-se uma combustão completa, os produtos dessa reação química de oxidação são: dióxido de carbono (CO₂) e vapor d' água (H₂O), conforme exemplifica a seguinte oxidação do metano (CH₄):



Nas queimas não controladas, como nos casos dos incêndios, ocorre a formação de um terceiro produto, sendo tóxico e combustível, o monóxido de carbono (CO), conforme a reação a seguir.



Toda substância, seja ela tóxica ou não, pode ser considerada como asfixiante simples em função da sua capacidade de deslocar o oxigênio existente no ar local, reduzindo a sua concentração para níveis abaixo de 18%, em volume (GODISH, 1991).

A presença de oxigênio molecular (O_2) é o fator determinante para definir se uma combustão é completa ou incompleta. Quanto maior for a concentração de oxigênio, maior será a formação de chamas (combustão flamejante) e, quanto menor for o teor de oxigênio, maior será a formação de brasas (combustão incandescente). A concentração de oxigênio molecular no ar atmosférico, mais precisamente na troposfera, é de 21% em volume. Desse valor, até um mínimo de aproximadamente 14% ocorre a combustão flamejante (bem ventilada) e, abaixo dessa concentração até um mínimo de aproximadamente 5%, ocorre a combustão incandescente (mal ventilada). Concentrações abaixo desse valor, não permitem a ocorrência de combustões, promovendo a extinção do incêndio. O favorecimento de uma combustão incompleta gera uma maior produção de fumaça e de monóxido de carbono (CO), que é altamente tóxico para o ser humano, ocorrendo em temperaturas mais baixas do que a combustão completa.

Quando os materiais orgânicos utilizados nas edificações apresentam impurezas (ex.: enxofre), aditivos químicos (ex.: cloro) ou outros elementos químicos em suas composições (ex.: nitrogênio) que possam formar substâncias indesejáveis quando queimados, medidas de segurança devem ser tomadas para que sejam reduzidas as perdas de vidas humanas, através de uma ventilação adequada do

ambiente, evitando-se asfixias e intoxicações dos ocupantes, dos resgatistas e dos combatentes. Uma maior ventilação permite que uma maior quantidade de combustões incompletas passe a ser completa, produzindo somente dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água (H_2O), reduzindo a formação de monóxido de carbono (CO) e de material particulado. O monóxido de carbono (CO) é oxidado quando entra na atmosfera e transforma-se em dióxido de carbono (CO_2). Entretanto, o acúmulo deste último na atmosfera provoca uma modificação no clima da Terra, decorrente do efeito estufa (MARIANO, 2005).

Na queima de materiais orgânicos, a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x) ocorre pela combinação do nitrogênio e do oxigênio que compõem o ar atmosférico utilizado nas reações de combustão, quando este é submetido a elevadas temperaturas; e pela oxidação do nitrogênio que está naturalmente presente no material combustível, sob a forma de compostos orgânicos nitrogenados (PARKER, 1997).

Os óxidos de enxofre (SO_x) são produzidos, geralmente, pela queima de materiais orgânicos que contém o enxofre como impureza. A formação de SO_2 nas combustões pode provocar danos sobre as plantas como clorose (amarelamento das folhas), manchas esbranquiçadas, áreas descoloridas entre as veias, e queda prematura das folhagens. Ocorrem também os danos ocultos, onde acontecem perdas de colheita na ausência de sintomas visíveis de danos (MARIANO, 2005), além dos ataques ácidos pelas chuvas ácidas.

Os óxidos de enxofre têm um efeito sinérgico com os materiais particulados. Assim, na sua presença simultânea, os efeitos das doenças respiratórias crônicas e agudas são agravados, podendo também causar danos irreversíveis aos pulmões (MARIANO, 2005).

A exposição de plantas vegetais ao gás sulfídrico (H_2S) provoca o chamuscamento das folhas, e ao combinar-se com as águas de chuvas dá origem

ao ácido sulfúrico (H_2SO_4), provocando necrose nas partes superiores das folhas (MARIANO, 2005).

Os materiais particulados, oriundos de fumaças, por exemplo, podem causar danos tanto diretos quanto indiretos à vegetação. Uma variedade de efeitos já foi observada, e entre eles: redução das colheitas, aumento na incidência de doenças, danos severos às células das folhas, supressão da fotossíntese e morte de árvores. Os danos podem resultar da formação de uma crosta espessa sobre as folhas, que suprime a fotossíntese e/ou permite uma intoxicação alcalina / ácida quando se produzem tais soluções com as águas das chuvas.

Esse último fator provoca alterações no pH do solo, muitas vezes danosos para as plantas. Várias espécies de vegetação e variedades dentro das espécies diferem na sua suscetibilidade aos produtos particulados. De um modo geral, como os outros poluentes do ar, a poluição por material particulado prejudica a agricultura, através da diminuição do valor do produto (a quantidade e/ou a qualidade podem ser afetadas e a época de venda pode ser adiantada ou atrasada) ou do aumento do custo de produção (necessidade do uso de fertilizantes, irrigação etc.) (MARIANO, 2005).

Os poluentes atmosféricos gasosos e particulados são conhecidos por seus impactos sobre os materiais. De particular importância, são os efeitos sobre os metais (corrosão), pedras-mármore, pinturas, tecidos, borracha, couro e papel. Efeitos significativos sobre esses materiais também têm sido observados em vários países (MARIANO, 2005).

Os materiais podem ser afetados através de mecanismos físicos e químicos. Os danos físicos podem resultar do efeito abrasivo dos materiais particulados, levados pelo ar sobre as superfícies. Reações químicas podem ocorrer quando os poluentes e os materiais entram em contato direto. Gases absorvidos podem agir diretamente sobre o material, ou podem primeiro ser convertidos em novas substâncias que serão as responsáveis pelos efeitos observados. A ação de substâncias químicas usualmente resulta em mudanças irreversíveis. Consequentemente, o dano químico

nos materiais é um problema mais sério do que as mudanças físicas ocasionadas pelos materiais particulados (MARIANO, 2005).

As perdas econômicas devidas ao efeito da poluição do ar sobre os materiais ainda são difíceis de quantificar, pois não é fácil distinguir o que é devido à mesma e o que é devido à deterioração natural do material (GODISH, 1991).

Segundo Mota (1997) o lançamento de gases na atmosfera pela queima de materiais orgânicos em grandes incêndios, principalmente de óxidos de enxofre e de nitrogênio, contribui para o aumento da acidez das águas, formando as chuvas ácidas. Esses compostos, na atmosfera, transformam-se em sulfatos e nitratos e, ao se combinarem com o vapor d' água, formam ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (HNO_3) e provocam as chuvas ácidas, cujo pH é inferior a 5,6. A chuva ácida é um dos impactos ambientais mais relevantes, associada à poluição atmosférica, causando corrosão ácida e deterioração.

As modificações das características dos solos devidas à lavagem dos mesmos pelas chuvas ácidas podem ter consequências ecológicas irreversíveis (MARIANO, 2005).

Os principais efeitos das chuvas ácidas são: a diminuição do pH das águas superficiais e subterrâneas, com conseqüentes prejuízos para o abastecimento humano e outros usos; declínio da população de peixes e de outros organismos aquáticos, com reflexos nas atividades recreativas (pesca), econômicas e turísticas.

A redução do pH também aumenta a solubilidade do alumínio e dos metais pesados, como o cádmio, zinco e mercúrio, sendo muitos deles extremamente tóxicos. Deste modo, podem ocorrer danos na saúde das pessoas que se alimentam de peixes contendo elevadas concentrações de metais em sua carne. Também promoverão danos às tubulações de chumbo e de cobre; redução de certos grupos de zooplânctons, algas e plantas aquáticas, provocando sérios desequilíbrios ecológicos.

As chuvas ácidas causam danos à vegetação, tais como: amarelamento das folhas, desfolhamento prematuro, diminuição do crescimento e da produtividade e até a morte do vegetal. Promove alterações na química do solo; a elevação da acidez do solo libera alguns metais pesados e alumínio, tornando-os mais solúveis; também pode torná-lo estéril, com conseqüências para a vegetação; pode impedir a atividade dos micro-organismos, influenciando nos processos de decomposição e nitrificação. Ocasiona também a corrosão de monumentos históricos, estátuas, edificações, obras-de-arte e outros materiais (KUPCHELLA e HYLAND, 1993).

Outro impacto ambiental relevante, esse de caráter global, é o das mudanças climáticas com foco no efeito estufa do planeta, modificando o regime de chuvas, produzindo alterações nas terras cultiváveis e sobre a extensão dos desertos. Além desse impacto, os hidrocarbonetos halogenados e os óxidos de nitrogênio podem também provocar uma diminuição do ozônio na estratosfera, ocasionando um buraco na camada de ozônio que protege o planeta, com o conseqüente aumento da quantidade de radiação ultravioleta que chega a Terra (GODISH, 1991).

2.3 Os Efeitos dos Gases e Vapores Quentes

As pessoas expostas a um incêndio estão sujeitas um estresse psicológico, à intoxicação por inalação de fumaças e a ferimentos por ação térmica (queimaduras), além de quedas, cortes e etc.

Os danos causados ao ser humano pelos gases / vapores quentes dependem da umidade contida nesses. A água tem como característica um grande calor latente de vaporização, apresentando assim uma grande capacidade de absorver e de ceder energia térmica.

Na ocorrência de esforços físicos violentos e em temperaturas ambiente acima de 30°C, como no caso de incêndios, a vazão média da circulação sanguínea aumenta, podendo provocar uma série de lesões no organismo devido a um aumento da pressão no sistema circulatório.

A fumaça e os gases quentes gerados por pirólise e pela combustão dos materiais de construção, revestimento, mobiliário e decoração, estratificam-se junto aos tetos por estarem quentes, e normalmente acima de 200°C. A temperatura corpórea humana se localiza próxima de 37 °C, permitindo a ocorrência de queimaduras nas extremidades dos membros, nos olhos e nas narinas, podendo ocorrer também queimaduras internas por inalação de ar úmido aquecido, levando à uma perda da capacidade respiratória. Nesse momento, a resistência humana é controlada pela inércia do organismo, apresentando uma resposta individual.

O excesso de sudorese, através de uma perda rápida de água pelos poros da pele, leva a sua desidratação, ressecando-a e permitindo a ocorrência de uma vaporização subcutânea, com um conseqüente rompimento da epiderme, devido a alta pressão de vapor na derme. Então, os gases / vapores quentes podem provocar desde uma simples sensação de aquecimento até uma razoável vaporização de água subcutânea, podendo gerar graves queimaduras.

A suspeita de queimaduras no sistema respiratório deve ser confirmada quando uma pessoa participou de um incêndio em um ambiente fechado ou de uma explosão, principalmente se for observada a presença de fuligem nas narinas ou no céu da boca, ou quando os pêlos das narinas ou os cílios das pálpebras estiverem queimados.

Recomenda-se a retirada das vestimentas (roupas) que possam ser queimadas rapidamente, como camisas de fibras sintéticas (fios plásticos: nylon, poliéster e etc.), devido à possibilidade de fusão dessas ou até mesmo da sua combustão, durante uma exposição às radiações térmicas das chamas de um incêndio.

Em queimaduras extensas, ocorre uma grande perda do volume de líquidos dos vasos sanguíneos, podendo levar a um choque devido à queda da pressão arterial, provocando uma redução do fluxo sanguíneo para o cérebro e para outros órgãos vitais.

As queimaduras são classificadas pela profundidade da lesão, sendo qualificadas conforme a Tabela 2.3.1.

CLASSIFICAÇÃO	PROFUNDIDADE
1º grau	epiderme
2º grau (superficial)	epiderme + parte superior da derme
2º grau (profunda)	epiderme + toda a derme
3º grau	epiderme + derme, podendo atingir tecidos subcutâneos, músculos e ossos

Tabela 2.3.1 – Classificação das Queimaduras Humanas

Fonte: MENEZES E SILVA, 1988.

Outro parâmetro representativo na análise das queimaduras é a extensão da área atingida (SCQ – Superfície Corporal Queimada), quantificada pelo Método de *Lund e Browder*, que é utilizado pelos serviços especializados de queimados, com valores apresentados na Tabela 2.3.2.

LOCAL ATINGIDO	IDADE (anos)					
	0	1	5	10	15	adulto
cabeça	19	17	13	11	9	7
tronco	33					
braços	14					
mãos	6					
pernas	21	23	27	29	31	33
pés	7					

Tabela 2.3.2 – SCQ - Superfície Corporal Queimada (%)
Fonte: MENEZES E SILVA, 1988.

Em incêndios, uma queimadura de 3º Grau atinge um SCQ elevado, pode provocar um estado de choque, inviabilizando o abandono da região sinistrada, podendo elevar rapidamente o risco de morte.

A ação do calor sobre a pele humana produz dor, perda de líquidos, destruição dos tecidos e infecções conseqüentes, com repercussão no organismo de uma forma generalizada. Quanto à extensão, as queimaduras podem ser classificadas como leves (pequeno queimado) quando atingem menos do que 10% de SCQ, médias (médio queimado) quando atingem de 10% a 20% de SCQ e graves (grande queimado) quando atingem mais do que 20% de SCQ. Adultos com mais de 20% de SCQ devem ser internados, assim como os portadores de queimaduras em áreas críticas tais como na face, no pescoço e no órgão genital (inclusive nas mamas), nas mãos e nos pés (MENEZES E SILVA, 1988).

A inalação de substâncias muito aquecidas, como o ar úmido aquecido, é capaz de provocar sérios danos nos revestimentos do sistema respiratório, podendo até atingir os alvéolos. Normalmente, somente as vias aéreas superiores são atingidas, com a ocorrência de edemas, que podem obstruir essas vias. As vias aéreas podem

ser obstruídas também por aglomeração de material particulado, também chamado de rolha de fuligem (MENEZES E SILVA, 1988).

Quanto aos olhos, em uma exposição ao calor intenso, a reação natural é de fechamento das pálpebras, provocando queimaduras nestas. O calor intenso pode atravessar as pálpebras, provocando queimaduras nos olhos. Daí, a recomendação da proteção da face com um pano úmido, conforme indicado também para o sistema respiratório.

Bem antes de acontecer às queimaduras, o corpo humano já poderá estar sofrendo de distúrbios pela exaustão pelo calor. Esses distúrbios podem ser provocados pelo calor radiado (por gases / vapores e principalmente por materiais aquecidos) para a superfície corpórea e pelo aumento de calor produzido pelos músculos, devido aos esforços físicos prolongados, em uma ação de escape (desocupação ou abandono), por exemplo.

A gravidade do indivíduo queimado é determinada pela avaliação do agente causador, da localização, da profundidade e da extensão da queimadura.

A exaustão pelo calor pode levar a uma lesão cerebral, a uma hipotensão arterial (baixa pressão) e até ao colapso cardíaco. Assim, percebe-se a necessidade de uma análise das características dos materiais especificados em uma construção quanto a sua característica de contribuição combustível e a sua taxa (velocidade) de propagação superficial de chamas.

2.4 O Controle dos Materiais Especificados

O desempenho de um produto ou de um sistema utilizado em uma edificação deve estar, no mínimo, de acordo com as legislações, com os regulamentos, com os decretos e com as normas técnicas. Esse desempenho, num futuro em médio prazo, poderá ser expresso na forma de uma classificação contida, por exemplo, em um Diretório de Produtos para a Construção – DPC. Esse poderá ser desenvolvido nos

mesmos moldes do que está sendo utilizado pelo Mercado Comum Europeu, e deverá ser baseado em testes com normas padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através do CB-24 (Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio).

As características desejáveis de um material classificado, com uma boa referência nesse DPC, deverão atender às exigências de higiene, saúde e meio ambiente, não emitindo gases e vapores tóxicos, material particulado perigoso e nem radiações para o ambiente, não contaminando dessa forma a edificação sinistrada e o meio ambiente (solo, água e ar).

O desempenho desses materiais deverá levar em conta a sua durabilidade, utilidade e identificação (reconhecimento das principais características), com foco na sua natureza física, química e biológica, de forma qualitativa e quantitativa, envolvendo uma análise da sua permeabilidade ao ar e a água.

Como ainda não existe um DPC brasileiro para apoio a projetos de construção nas obras realizadas, alguns dados relativos aos materiais podem ser obtidos nas Folhas de Informações de Segurança dos Produtos ou Sistemas, conhecidas no Brasil como FISPQs (Folhas de Informações de Segurança dos Produtos Químicos), e internacionalmente, nas Folhas de Dados de Segurança do Material (MSDS – *Material Safety Data Sheet*). Outra fonte de informação pode ser através dos Relatórios de Testes (Ensaio) conduzidos pelos fabricantes / fornecedores, em laboratórios independentes credenciados (homologados), nacionais ou estrangeiros, reconhecidos pelas entidades legisladoras e fiscalizadoras locais, como os Corpos de Bombeiros.

Com o objetivo de se exemplificar os riscos contidos nas especificações de materiais para as edificações, serão identificadas a seguir algumas características de alguns materiais empregados atualmente nas construções, sem o pleno conhecimento do seu impacto sobre os ocupantes da edificação, pelos profissionais (arquitetos e engenheiros) da construção civil brasileira.

Atualmente, os plásticos têm sido cada vez mais utilizados devido as suas características físico-químicas, ampliando a sua participação no ambiente construído. Na realidade, esses produtos são polímeros sintéticos que apresentam um risco maior à segurança humana no seu aquecimento (pirólise) do que quando expostos às altas temperaturas, após o seu aquecimento. Como por exemplo, o PVC (policloreto de vinila) decompõe termicamente no entorno de 400°C (Purser, 2002), formando HCl (gás clorídrico) em ambientes incendiados. Esse produto altamente corrosivo agride as pessoas de uma forma tóxica (corrosiva).

Os equipamentos eletrodomésticos (televisores, computadores, etc.) e os elementos estruturais da construção são atingidos diretamente por sua ação corrosiva. A incineração do PVC, muito utilizado como conduíte para fios elétricos e como tubulação hidráulica, gera gás clorídrico, gás carbônico, vapor d'água e material particulado rico em carbono.

O HCl, por ser corrosivo, provoca a destruição completa da pele e das mucosas onde tem contato, causando sérios danos à saúde humana. Outro exemplo de substância perigosa é o gás cianídrico (HCN), que é utilizado na síntese de vários compostos orgânicos, como na produção da acrilonitrila para a fabricação de tecidos sintéticos e de espumas de poliuretano (rígidas ou flexíveis), muito utilizadas como estofamentos (colchões, sofás, poltronas, cadeiras e etc.), como isolante térmico em tubulações de sistemas para frio (refrigeração e ar condicionado) e em coberturas, como miolo das telhas tipo sanduíche, além de painéis acústicos fono-absorventes, tipo caixa de ovos. Na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o gás cianídrico (HCN) foi amplamente utilizado nas câmaras de extermínio dos nazistas, tal como é feito ainda hoje na execução de prisioneiros condenados à morte em alguns estados dos Estados Unidos da América (AKTION, 2011).

No caso das espumas de poliuretano, embora os produtos de combustão possam variar, a sua queima gera uma variedade de gases tóxicos potencialmente letais e uma fumaça bastante densa, com a presença de monóxido de carbono, de

óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e indiscutivelmente do gás cianídrico (HCN), entre outros. A poeira da espuma rígida de poliuretano, quando em suspensão no ar, pode provocar uma explosão devido a sua alta inflamabilidade, além de irritar os olhos e as mucosas do nariz e da garganta.

Diversos materiais classificados como modernos são empregados atualmente nas construções, sem qualquer fiscalização ou análise prévia quanto aos riscos que eles possam levar à construção, quando essa for liberada ao público para o seu uso. Como a grande maioria das combustões naturais (não controladas, tais como os incêndios) de materiais combustíveis orgânicos é incompleta, a principal substância tóxica encontrada nos incêndios é o monóxido de carbono (CO). O dióxido de carbono (CO₂) é considerado normalmente como um asfixiante físico por provocar o deslocamento do oxigênio na região onde ele é gerado. Essas duas substâncias (CO e CO₂), que sempre estão presentes nos incêndios, fazem muitas vítimas, independentemente dos polímeros plásticos que estejam envolvidos na situação de incêndio, e que só potencializam o risco-incêndio (GODISH, 1991).

Os polímeros plásticos, à base de hidrocarbonetos, apresentam como uma vantagem a sua baixa volatilidade durante o seu aquecimento, devido a um elevado peso molecular e a uma elevada força (estabilidade) nas ligações químicas, mas continuam sendo de natureza combustível e contribuindo efetivamente para um incêndio altamente tóxico, enfumaçado e letal.

No caso das construções em madeira, um agravante que deve ser considerado é que devido a sua pirólise e a uma contínua combustão superficial, o incêndio pode ser propagado pela superfície da peça de madeira, atingindo outros pontos da construção, propagando o incêndio tal qual a queima de um pavio. Por isso, é que devem ser feitos tratamentos ignífugantes sobre as superfícies das estruturas de madeira evitando-se assim uma propagação das chamas, através da aplicação de produtos químicos fogo-retardantes.

O tratamento de ignifugação, pela deposição de produtos químicos específicos, é indicado para evitar ou mitigar a propagação superficial do fogo (que é uma das cinco características de controle da reação ao fogo). Se for necessário, uma maior resistência ao fogo da peça estrutural de madeira faz-se o seu revestimento superficial com substâncias intumescentes (que expandem na presença da energia térmica liberada nas combustões), sendo indicado para a característica de estabilidade estrutural em incêndios, não permitindo que a área resistente do perfil (a que suporta o carregamento estrutural) seja reduzida, dentro do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) da construção, estabelecido pela NBR 14432 (2000).

Quando ocorre um incêndio em um pavimento de uma edificação, a fumaça tóxica e quente vai se acumulando junto ao teto até atingir, de cima para baixo, as vergas dos topos das portas que existem no ambiente sinistrado. Assim, a fumaça se propaga para outros ambientes da edificação. Conforme ela se afasta da região onde está ocorrendo à queima dos materiais de acabamento e de conteúdo, vai se esfriando e baixando a sua altura de movimentação, atingindo dessa forma as vias aéreas superiores das pessoas que se encontram distantes do foco de incêndio.

Como a grande maioria das substâncias tóxicas, produzidas em incêndios, é incolor e inodora, as pessoas não percebem que estão respirando substâncias letais, podendo levar à morte em função do tempo de exposição. Isso só ocorre quando as pessoas são expostas a fumaça, sem alternativa, ou quando praticamente não existem partículas de carbono associadas aos gases tóxicos que são propagados pela edificação, a partir dos incêndios. Mais uma vez, se confirma o risco elevado da geração, desenvolvimento e propagação das fumaças em incêndios, registrando um maior número de vítimas do que o fogo (chamas + brasas) causa (LING et al, 2005).

A combustão, em um incêndio, pode ocorrer de duas formas: bem ventilada (com oxigênio suficiente) ou viciada (com baixo teor de oxigênio). As concentrações tóxicas variam significativamente entre essas duas formas de combustão, analisando-se separadamente as substâncias geradas.

Segundo Hertzberg et al (2005), na Europa, após um incêndio premeditado em uma clínica psiquiátrica para mulheres em Växjö, na Suécia, em 01/08/2003, foram feitos inúmeros experimentos em um Forno *Purser* (Coletador), para a quantificação das concentrações dos elementos tóxicos liberados pela queima de produtos similares aos que eram utilizados no interior da clínica (como revestimento e mobiliário), antes do incêndio, tais como madeira, espuma flexível de poliuretano (tratamentos termo-acústicos e colchões), PVC (carpetes, tubulações e conduítes), PTFE (isolações dielétricas dos cabos de eletricidade) e de polietileno (peças plásticas em geral, como talheres e copos).

A forma de análise constituída foi da divisão das concentrações estabelecidas nos ensaios laboratoriais, pelos valores de concentração do IDLH (valor imediatamente perigoso à vida e à saúde), definido pelo NIOSH (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional), americano. A Tabela 2.4.1 apresenta o valor do IDLH de cada substância que foi analisada por ensaios no Forno *Purser*.

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO (PPM)
Isocianatos (TDI, MDI, HDI e etc.)	3
CO	1200
NO	100
HCN	50
HCl	50
NH ₃	300
HF	30

Tabela 2.4.1 – Valores de IDLH das Principais Substâncias Tóxicas
Fonte: NIOSH, 1997.

A Tabela seguinte é possível observar a diferença entre as concentrações tóxicas obtidas nos ensaios, quando se alterna a condição de combustão bem

ventilada para viciada (mal ventilada). A experiência com o poliuretano confirma uma maior concentração de isocianatos numa combustão bem ventilada, enquanto em condições viciadas o gás cianídrico se torna mais perigoso. Por último, observa-se uma grande concentração de gás clorídrico na combustão do carpete de PVC e da isolamento dielétrica dos cabos de energia elétrica com PTFE (politetrafluoretileno), além do elevado teor de fluoreto de hidrogênio (HF) (NIOSH, 1997).

Numa análise geral dos resultados apresentados, identifica-se o gás clorídrico (HCl) como a substância mais perigosa devido aos seus níveis de concentração, seguida do fluoreto de hidrogênio (HF), do gás cianídrico (HCN), apresentando uma “magnitude tóxica” similar a do monóxido de carbono (CO), e dos isocianatos (TDI - diisocianato de tolueno e MDI - diisocianato de difenilmetano e HDI - diisocianato de hexametileno e etc.).

A Tabela 2.4.2 apresenta o resultado final do confronto entre as concentrações das substâncias, quantificadas nos ensaios laboratoriais e os seus respectivos valores de IDLH. Complementando a tabela esta a Escala de Risco – concentração IDLH.

MATERIAL ANALISADO	SUBSTÂNCIA TÓXICA						
	isocianatos	CO	NO	HCN	HCl	NH ₃	HF
madeira (ve) ¹	0,01	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
madeira (vi) ²	0,04	2,29	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00
poliuretano (ve)	2,87	1,06	0,50	1,68	1,16	0,04	0,00
poliuretano (vi)	1,53	1,32	0,31	2,23	0,92	0,07	0,00
PVC (ve)	0,00	1,79	0,00	0,00	69,57	0,00	0,00
PVC (vi)	0,02	1,90	0,00	0,00	55,58	0,00	0,00
PTFE (ve)	0,02	3,44	0,00	0,00	46,90	0,00	25,80
polietileno (ve)	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
polietileno (vi)	0,00	2,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escala de Risco (concentração medida / IDLH)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0		
	normal	baixo	↓ médio	alto	elevado		

(concentração = IDLH)

Tabela 2.4.2 – Análise da Toxidez das Substâncias Liberadas

Fonte: HERTZBERG, et al, 2005.

Como apresentado na Tabela 2.4.2, os materiais queimam produzindo uma grande variedade de produtos tóxicos, potencialmente letais, além de uma fumaça densa contendo isocianatos, gás cianídrico, monóxido de carbono, gás clorídrico e óxidos de nitrogênio, por serem orgânicos e tratados quimicamente com produtos fogo-retardantes contendo cloro ou boro, por exemplo.

¹ ve – combustão ventilada (teores normais de O₂)

² vi – combustão viciada (baixos teores de O₂)

Outros materiais, como a lã de vidro e a lã de rocha que são isolantes térmicos tradicionais e que têm as suas fibras interligadas por resina fenólica, não sustentam uma combustão devido às pequenas quantidades de resina plástica utilizadas nesses materiais. Mas, sob pirólise, produzem uma quantidade potencialmente perigosa de isocianatos e de formaldeído, os quais contribuem efetivamente para a toxidez total das fumaças desenvolvidas em incêndios modernos. Esses produtos devem ser avaliados (estudados) detalhadamente e perfeitamente compreendidos, por serem muito utilizados como materiais termo-acústicos na construção civil, estando presentes em muitos ambientes que ocupamos em nosso dia-a-dia dentro das edificações.

Os carpetes e tapetes de base orgânica (ex.: polipropileno ou PVC) são tratados quimicamente com cloretos para serem fogo-retardantes. Em incêndios que desenvolvem grandes quantidades de calor, ignizam tardiamente e queimam de forma incompleta, desenvolvendo uma fumaça densa devido ao bloqueio da sua combustão completa, gerando uma grande quantidade de fuligem (material particulado), de monóxido de carbono (CO) e de gás clorídrico (HCl). O polipropileno, por ser um polímero da família dos hidrocarbonetos, também é um combustível.

As espumas sintéticas (poliuretano, poliestireno e etc.) são obtidas através de misturas, onde um gás fica retido em sua matriz. Esse é o caso das espumas de poliuretano e das peças de poliestireno expandido. Ambas são utilizadas como produtos para isolamento térmica em médias e baixas temperaturas. O poliuretano é obtido através de uma reação entre polióis e isocianatos, e o poliestireno expandido de um processo entre o poliestireno fundido e o gás pentano (combustível). Esta mistura é injetada num molde, onde endurece ao se resfriar, retendo as bolhas de gás em seu interior. Os produtos de poliestireno podem liberar substâncias anestésicas (ex.: estireno) que levam a uma excitação inicial e por fim à inconsciência, podendo provocar uma paralisia dos músculos respiratórios, levando o indivíduo à morte.

Os organoclorados, incluindo os CFCs (produtos a base de cloro, flúor e carbono), têm sido substituídos devido à presença de cloro em suas composições. O cloro é altamente volátil e ataca a camada de ozônio (O_3), reduzindo a proteção do nosso planeta principalmente quanto à entrada da radiação UV-C (ultravioleta tipo C), que chega com a luz solar. Os CFCs ainda são muito utilizados como substâncias refrigerantes, principalmente, nos equipamentos de ar condicionado e de refrigeração mais antigos. Esses produtos não apresentam um perigo quanto a sua inflamabilidade, mas sim pela sua decomposição térmica na presença de chamas, formando HF e HCl, além de serem anestésicos em baixas concentrações. Assim, podem provocar a morte, após uma grande excitação inicial, por asfixia ou por arritmias cardíacas, conforme já comentado (NIOSH, 1997).

Algumas substâncias químicas estão presentes nos incêndios, com concentrações potencialmente letais, mas podem ocorrer também em pontos localizados, pela decomposição dos materiais envolvidos nos cenários de incêndio. Como exemplos, podemos citar o acetaldeído, o formaldeído, a acroleína, o crotonaldeído e o fosgênio. Essas substâncias são irritantes para os olhos, o nariz e a garganta (mucosas) e são venenosas, quando inaladas. O formaldeído pode ser gerado na queima de resinas fenólicas (lã de vidro e de rocha), do polietileno, do nylon e das espumas de poliuretano, entre outros, além da madeira. Uma maior taxa de geração dessa substância ocorre na queima dos polímeros sintéticos (resinas, plásticos e fibras) do que na queima dos polímeros naturais (celulose da madeira), levando a uma rápida incapacitação humana (LING et al, 2005).

A acroleína é inflamável, sendo utilizada na síntese da espuma de borracha e do poliuretano, da melamina e da resina de poliéster, tendo origem na decomposição química do polipropileno, do acrílico, da celulose e do polietileno. Essas substâncias são tóxicas na seguinte ordem crescente: crotonaldeído, acetaldeído, acroleína e formaldeído. O fosgênio é utilizado na síntese de isocianatos e do poliuretano e, tem origem na decomposição química dos hidrocarbonetos clorados (solventes, removedores e líquidos de limpeza a seco, não inflamáveis), podendo formar HCl nos pulmões, podendo levar à um edema pulmonar agudo (LING et al, 2005).

Estudos de exposição ocupacional / acidental à dioxina em seres humanos, juntamente com os estudos em animais, evidenciam que a dioxina causa câncer em seres humanos. Uma das formas de geração de dioxinas ocorre quando organoclorados (ex.: hidrocarbonetos + cloro) são submetidos a temperaturas na faixa de 200 °C a 400 °C e na faixa de 800 °C a 1.200 °C, como ocorre nos incêndios prediais. Uma vez lançadas no ambiente natural ou humano, substâncias químicas organocloradas estão sujeitas a processos de transformação adicionais que podem produzir dioxinas, incluindo a fotólise, os incêndios em florestas e os incêndios em edifícios. As dioxinas contaminam o nosso ambiente extensivamente. O súbito aumento na emissão de dioxina, após a Segunda Guerra Mundial, coincide com o aumento da produção industrial de substâncias com base em cloro ou cloreto.

Poucas evidências sugerem que as dioxinas sejam produzidas naturalmente. A produção de PVC é a principal consumidora de cloro no mundo. O cloro é o vínculo comum em toda a produção de dioxina, sendo o PVC a fonte primária, na maioria dos casos (LUSCOMBE, 1999).

Após a análise do comportamento dos materiais frente às condições de um incêndio, e na impossibilidade de se evitar a especificação de produtos combustíveis, define-se o tratamento ignífugo que deverá ser aplicada em cada material combustível presente na edificação.

Na prática, nenhum produto ou sistema deve ser proibido de ser utilizado, a princípio. Mas, os profissionais envolvidos no segmento da construção civil (projeto, construção, gerenciamento, fiscalização, operação / administração, manutenção e demolição) devem ter a consciência e a preocupação quanto aos riscos que os ocupantes serão submetidos por suas decisões (ações) no momento das especificações dos materiais que serão utilizados (ex.: polímeros plásticos) e na forma como eles serão instalados (ex.: expostos a ambientes – ventilados, ou mal ventilados).

Afinal, necessita-se evoluir para uma construção moderna e perfeitamente integrada aos novos conceitos de construção, estritamente alinhados com os

preceitos de um empreendimento seguro e ambientalmente correto, permitindo um número de vítimas e de impactos ambientais, além de valores de prêmios de seguros, cada vez menores.

3 A EVOLUÇÃO DO USO E A NATUREZA DOS MATERIAIS

3.1 A Evolução dos Materiais de Construções

Até o início do Século XX, a maioria dos materiais empregados nas construções era de origem vegetal (madeira), metálica (ferro e aço) e cerâmica (tijolo), com características não renováveis. Na época, pouco se falava em reciclagem de materiais.

A partir daquela época até os dias de hoje, com base em novas tecnologias de produção, surgiram inúmeros materiais novos motivados pela preocupação em se desenvolver alternativas aos materiais estratégicos, caros ou escassos. Entre essas alternativas, que tiveram o seu uso fortalecido nas construções, se encontram os polímeros sintéticos plásticos (termofixos, termoplásticos e resinas) e os produtos obtidos por processos químicos como os híbridos, os compósitos, as borrachas, os condutores poliméricos e os elastômeros, entre outros. Dessa forma, foram introduzidos novos materiais, de natureza combustível, nas edificações, com um comportamento distinto ao da madeira frente ao fogo.

A madeira foi utilizada nas construções da civilização humana desde o seu primórdio e, ainda apresenta um grande consumo nos dias de hoje, seja em países desenvolvidos ou não.

O primeiro plástico utilizado nas construções e produzido em escala comercial foi o poliestireno em 1936, na Alemanha (SÃO FRANCISCO, 2011). O plástico entrou de forma firme na construção civil a partir de 1945 (REVISTA NOSSO FUTURO, 2011).

Uma nova carga de incêndio, a dos hidrocarbonetos, foi introduzida com uma maior participação nas edificações, através dos revestimentos, dos mobiliários e das decorações das construções, ocupando cada vez mais as aplicações (usos) dos produtos a base de celulose (madeira), que até então era a maior preocupação dos profissionais responsáveis pelas condições de segurança predial, nas modernas construções.

A FM (*Factory Mutual*) Global divulgou no final do Século XX uma estatística baseada na análise de quase uma década (1988 – 1997). Em 70 grandes perdas por incêndio em vários países, identificaram que o plástico utilizado nas indústrias participou de 60 das perdas ocorridas, ou seja, em aproximadamente 86% das ocorrências, devido à exposição de isolantes térmicos à base de espumas plásticas porosas e de painéis com miolo plástico isolante. A espuma de poliuretano estava envolvida em 57% das perdas e a de poliestireno expandido ou extrudado em 33% dessas. As ocorrências prováveis dessas perdas (37%) foram devidas a superfícies quentes, provocadas por operações de soldagem ou corte por chamas abertas e por falhas elétricas (25%). O custo total estimado foi de US\$ 455.000,00 nesses 70 incêndios.

Hoje, a responsabilidade pela especificação dos materiais em uma construção, e durante o seu uso, fica dividida entre os arquitetos e os engenheiros que necessitam adquirir novos conhecimentos que os habilitem a criar, além dos ambientes funcionais, confortáveis e estéticos, espaços seguros para a presença humana. O risco-incêndio em uma construção é função direta do seu projeto estrutural, dos seus fechamentos (separações) e das especificações dos materiais utilizados em seu interior, como acabamento, mobiliário, decoração e etc.

Um especialista da 3M, em visita ao Brasil no ano de 1999, manifestou que a cultura da construção brasileira, utilizando paredes de tijolos cerâmicos e coberturas com telhas cerâmicas, apresenta um menor risco-incêndio do que as construções americanas, por empregarem peças de madeira como estrutura, revestidas com

placas de PVC como *siding* nas paredes externas e telhas tipo *shingle*, de base asfáltica, sobre compensado de madeira em suas coberturas.

Como exemplo da importância de uma especificação adequada e consciente, cita-se um incêndio que ocorreu no subúrbio de San Diego (Califórnia), nos Estados Unidos, que provocou a queima total das casas na vizinhança, apenas a casa coberta com telhas cerâmicas (de barro) não foi destruída.

Isso ocorreu porque o incêndio florestal aqueceu os telhados por radiação térmica, provocando a pirólise das telhas tipo *shingle* e as fagulhas suspensas no ar iniciaram a combustão dos gases combustíveis volatilizados que se misturaram com o ar, queimando as casas de cima para baixo (READER`S DIGEST, 1998). Assim, observa-se um constante aumento do uso de materiais plásticos, oriundos do petróleo, ampliando o risco-incêndio das modernas construções, a partir do Século XX.

A Figura 3.1.1 ilustra a evolução dos materiais de construção em geral e conteúdo de um risco-incêndio menor, pelo uso da madeira (celulose) maciça para um risco-incêndio maior, pela utilização de plásticos (hidrocarbonetos). A madeira maciça foi substituída pelo compensado, que foi substituído pelo aglomerado, que evoluiu para o MDF (*Medium Density Fiberboard*), que evoluiu para o HDF (*High Density Fiberboard*), que atualmente está sendo substituído pelo plástico maciço, que está imitando a estética superficial do aço e do alumínio escovado, das pedras, dos mármore e dos granitos, das madeiras, dos vidros e etc.

MADEIRA MACIÇA → COMPENSADO → AGLOMERADO → MDF → HDF → PLÁSTICO MACIÇO

Figura 3.1.1 – Evolução dos Materiais de Construção e Conteúdo

3.2 A Natureza dos Materiais

Com a revolução industrial na Inglaterra e por herança cultural dos Estados Unidos, os materiais foram pesquisados e estudados, também por outros países, quanto a sua natureza e as suas características físico-químicas.

Na área voltada ao estudo dos incêndios, com o conhecimento atual, os materiais podem ser analisados pelo resultado do seu comportamento frente ao incêndio (reação ao fogo), em testes normalizados que permitem uma comparação direta entre eles. O conhecimento desses resultados tabulados é a base técnica para a especificação dos materiais tendo como objetivo a segurança humana nas construções.

O conhecimento da natureza intrínseca dos materiais norteia, pelo bom senso, o resultado esperado (estimado). Um exemplo que esclarece esse conceito é a queima de um pilar de madeira no centro de uma sala incendiada. No início do incêndio, o calor gerado aquece o pilar, liberando o vapor d'água contido na madeira por evaporação. Com a continuidade do fornecimento de energia térmica por parte do incêndio, a madeira libera líquidos para a sua superfície e vapores combustíveis para o ambiente, por pirólise.

Com o aumento da concentração dos vapores em uma atmosfera rica em oxigênio, ocorre a sua combustão, liberando mais calor e conseqüentemente mais vapores combustíveis pelo pilar, se constituindo uma verdadeira reação em cadeia.

A superfície exposta do pilar, devido às altas temperaturas, começa a ser carbonizada até certa profundidade, conforme os níveis de energia envolvidos e o tempo de exposição. Com a carbonização da madeira, ocorre a formação de uma camada de material constituído de fibras de carbono. Essa camada, de natureza física fibrosa (atuando como um isolante térmico) e a base de carbono (suportando temperaturas elevadas), protegem o núcleo (madeira sã) do pilar, aumentando a sua resistência ao fogo e permitindo assim, um maior tempo de estabilidade, evitando o

colapso prematuro. Além de que o incêndio não fica parado, ele caminha em busca de materiais que possam queimar.

Com base no conhecimento da natureza dos materiais, pela sua composição química e pela sua estrutura física, pode-se prever o comportamento desses materiais em ensaios laboratoriais, de reação e de resistência ao fogo.

A natureza dos materiais é avaliada em ensaios laboratoriais de Reação ao Fogo que quantificam os seus resultados dos seus comportamentos em cenários de incêndio, e podem ser resumidos conforme ilustrado na Figura 3.2.1.



Figura 3.2.1 – Comportamento de Reação ao Fogo dos Materiais de Construção

3.3 A Reação ao Fogo

A Reação ao Fogo é definida como sendo a resposta de um material, sob condições de testes específicos, quanto a sua contribuição ao incêndio no qual ele se encontra exposto (ISO 8421-1, 1987).

A compreensão do comportamento de um material frente ao fogo tem base na origem do material e no desenvolvimento do incêndio. Em nível internacional, se

busca uma qualificação dos materiais quanto as suas características de reação ao fogo, testados em laboratórios credenciados para ensaios de fogo, baseados em normas e exigências locais (legislação, decretos, regras, normas etc.).

Um material pode ser qualificado quanto a sua reação ao fogo conforme a Tabela 3.3.1, na qual são apresentadas as classificações que são de uso tradicional em alguns países europeus.

CLASSE	RESULTADO DO TESTE
MO (incombustível)	incombustível
M1 (combustível)	não inflamável
M2 (combustível)	difícilmente inflamável
M3 (combustível)	pouco inflamável
M4 (combustível)	muito inflamável

Tabela 3.3.1 – Classes de Reação ao Fogo dos Materiais

Fonte: NF P92-501, 1995

Com a unificação do mercado comum europeu, surgiram os Eurocodes, que definiram as Euroclasses em 2002.

<i>Euroclasse</i>	<i>Inglaterra (BS476/Partes 6 e 7)</i>	<i>Alemanha (DIN 4102)</i>	<i>França (NF P92- 501)</i>
A (incombustível)	-	A1	M0
	Classe 0	A2	M1
B (combustível)		B1	M2
C (combustível)			
D (combustível)	B2	M3	
E (combustível)	Classe 2	B3	M4
F (combustível)	Classe 3		

Tabela 3.3.2 – Correlações com as Euroclasses

Com as Euroclasses, as classificações dos materiais se aproximaram das classificações americanas e brasileiras, sendo observadas as performances nos testes de:

- contribuição combustível (liberação de energia térmica - calor);
- propagação de chamas superficial (auto-extinguível, retardante ou propagante);
- desenvolvimento de fumaça (visibilidade);
- toxicidade dos gases de combustão (principalmente em construções subterrâneas metroviárias e ferroviárias);
- gotículas / fragmentos flamejantes (liberação de partículas incandescentes).
-

As seis Euroclasses (A, B, C, D, E e F) devem ser entendidas como (Euroclasses, 2011):

- A – nenhuma contribuição para o incêndio (produtos com pouca ou muito pouca participação orgânica nas composições químicas);
- B – contribuição muito limitada para o incêndio (produtos combustíveis que contribuem para uma conflagração generalizada muito limitada);
- C – contribuição limitada para o incêndio (produtos combustíveis que

contribuem para uma conflagração generalizada limitada);

- D – contribuição aceitável para o incêndio (produtos combustíveis que contribuem para uma conflagração generalizada significativa);
- E – reação aceitável ao incêndio (produtos que atendem aos critérios mínimos);
- F – nenhum desempenho determinado (produtos não classificados ou reprovados em testes menos severos).

A Comunidade Européia (CE) está utilizando um ensaio de reação ao fogo chamado de SBI – *Single Burning Item* (queima de um único item), conforme ilustra a Figura 3.3.1. Num único ensaio, são testadas as cinco características principais dos materiais combustíveis utilizados nas edificações, ou seja, a contribuição combustível, a propagação de chamas, a formação de partículas incandescentes, o desenvolvimento de fumaça e a geração de substâncias tóxicas.

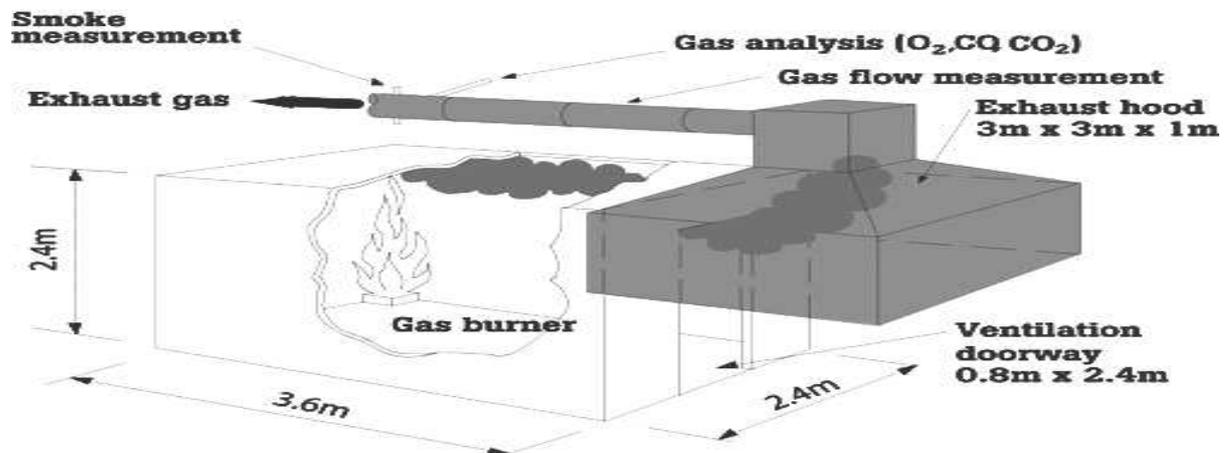


Figura 3.3.1 – Ensaio Europeu SBI (Single Burning Item)

Fonte: SBI, 2009

3.4 Combustível x Incombustível

A natureza só nos permite classificar os materiais utilizados nas edificações como combustíveis ou incombustíveis. Esse conceito é definido baseando-se em referenciais, por não ser absoluto em seu contexto. Para uma melhor compreensão utiliza-se a escala da Figura 3.4.1.

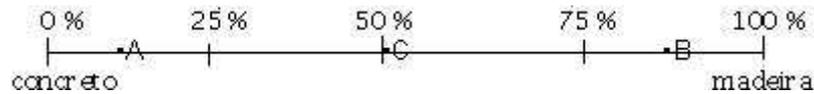


Figura 3.4.1 – Escala de Combustibilidade

Fonte: ASTM, 2002.

Observando-se a Figura 3.4.1, entende-se que o **Produto A** tem o seu comportamento mais próximo ao do concreto do que ao da madeira, na presença do fogo. Dessa forma, ele pode ser classificado como incombustível, enquanto o **Produto B** pode ser classificado como combustível, por estar mais próximo à madeira, que é combustível. O **Produto C** apresenta o seu comportamento de uma forma bastante distinta do concreto e da madeira, ficando a sua classificação sujeita ao contexto da sua aplicação. Com o objetivo de se reduzir as subjetividades dessa classificação submetem-se os materiais a testes normatizados, permitindo uma comparação direta entre eles e viabilizando uma especificação adequada frente aos riscos existentes no ambiente onde serão utilizados.

A contribuição combustível é analisada para se quantificar a energia térmica liberada pela queima do material, podendo agravar a situação do incêndio pela liberação de mais calor para o ambiente sinistrado, levando a um conseqüente aumento da temperatura da sala, permitindo uma maior pirólise dos materiais combustíveis e tóxicos presentes no ambiente e fragilizando as estruturas da edificação pelo seu aquecimento, podendo levar ao colapso da construção, seja ele parcial ou total.

A propagação superficial de chamas deve ser analisada e classificada pelo seu comportamento como auto-extinguível, retardante ou propagante. Quando uma fonte primária que está provocando a queima do substrato se apaga e a combustão do material se mantém, se propagando rapidamente tal qual um pavio, o material é classificado como propagante. Caso a propagação se dê de uma forma lenta, sem que a queima cesse, o material é classificado como retardante. Quando a fonte primária (inicial) de combustão cessa e o substrato não mantém a combustão, não permitindo dessa forma uma propagação, quer seja lenta ou rapidamente, o material (substrato) é classificado como auto-extinguível.

Nas ações de escape, resgate e combate ao incêndio, a visibilidade é um fator fundamental. Assim, a quantidade de fumaça desenvolvida é altamente relevante, sendo recomendados baixos índices de desenvolvimento de fumaça, por questões de segurança.

Outro aspecto a ser considerado é a toxicidade dos produtos de combustão do material queimado, frente à presença e a sensibilidade orgânica humana.

Outra característica que deve ser analisada no material é o desprendimento de gotas / partículas flamejantes, principalmente quando se tratar de uma parte integrante da fachada.

A Tabela 3.4.1 apresenta uma lista das principais normas utilizadas para ensaios (testes) de fogo, incluindo as normas brasileiras para a reação e a resistência ao fogo. Na última coluna são apresentadas as normas utilizadas pelo mercado da construção naval e de plataformas *off-shore*, em nível mundial.

Ensaio em Laboratório Credenciado (Reconhecido / Idôneo)	Brasil (NBR)	Estados Unidos (ASTM)	Europa (ISO)	SOLAS¹ (IMO)
incombustibilidade	-	-	1182/90	A. 799 (19) e FTPC Parte
contribuição combustível	-	E 906/99	1716/73 e 5660/93	A. 653 (16)
propagação de chamas	9442/86	E 84/04 e E 162/02	5658/97	A. 653 (16) e FTPC Parte 5
desenvolvimento de fumaça	11300/90 ²	E 84/04, E 662/03 e E 906/99	5659/94 e 5924/89	FTPC Parte 2
toxicidade dos produtos de combustão	12139/91 ²	E 1678/02	5659/94 e 13344/9 6	FTPC Parte 2

¹ *Safety of Life at Sea* - Segurança (Salv guarda) da Vida Humana no Mar

² fios e cabos elétricos

Tabela 3.4.1 – Ensaios de Reação ao Fogo

Notas: Tabela 3.4.1 Normas Técnicas apresentadas nas referências.

4 METODOLOGIA

4.1 Estudos Paramétricos

Um estudo paramétrico requer:

- Definir para cotas paramétricas
- Os parâmetros denominados para uso na simulação
- Faixas de parâmetros identificadas
- Critérios de projeto especificados
- Várias configurações geradas

Quando as configurações estiverem geradas, é possível então avaliar sua simulação. É possível refinar ainda mais os parâmetros ou restrições de projeto até que esteja satisfeito com os resultados.

Podemos observar melhor a simulação utilizada para o Estudo Paramétrico, feito para esse caso específico de estudo apresentado:

Análise da Carga Incêndio do Prédio Modelo:

Características da **Edificação/Modelo:**

Utilização: comercial (escritórios);

Distribuição: 10 unidades (cada uma com 6salas) por pavimento,

Número de Pavimentos: 12 pavimentos;

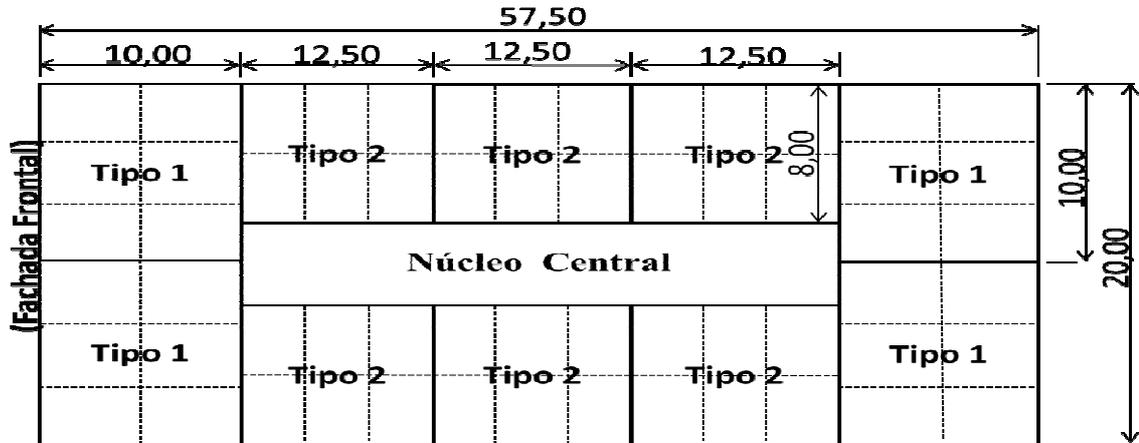
Dimensões do Pavimento: 20 m (frente) x 57,50 m (profundidade);

Núcleo Central (hall, elevadores e escadas): 4 m x 37,5 m;

Área de Pavimento (sem o Núcleo Central): 1.000 m²;

Altura do Pavimento: 3 m.

Planta Básica do Pavimento



Tipo 1 (10,00 m x 10,00 m) com 6 salas por unidade;
Tipo 2 (12,50 m x 8,00 m) com 6 salas por unidade.

Tipo:

Análise por Pavimento (sem o Núcleo Central):

Área de Piso: $20 \text{ m} \times 57,50 \text{ m} - 37,50 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 1.000 \text{ m}^2$;

Área de Teto: 1.000 m^2 ;

Área de Divisórias: Separando as unidades: $(2 \times 10 \text{ m} + 8 \times 8 \text{ m}) \times 3 \text{ m} = 252 \text{ m}^2$;

- dentro das unidades: $(4 \text{ unidades} \times 3 \text{ paredes} \times 10 \text{ m} + 6 \text{ unidades} \times 12,50 \text{ m} + 6 \text{ unidades} \times 2 \text{ paredes} \times 8 \text{ m}) \times 3 \text{ m} = 873 \text{ m}^2$;

- área total de divisórias: $252 + 873 = 1.125 \text{ m}^2$.

Considerando-se que as unidades (todas com uma área individual de 100 m^2) são subdivididas em 6 (seis) salas, com 4 mesas de $1,60 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$ e 6 cadeiras, chega-se a um total, por pavimento, de:

- 10 unidades x 6 salas x 4 mesas = 240 mesas;
- 10 unidades x 6 salas x 6 cadeiras = 360 cadeiras.

Resumo das Quantidades Envolvidas por Pavimento:

- 1.000 m^2 de piso;
- 1.125 m^2 de paredes divisórias;
- 1.000 m^2 de teto;
- 240 mesas;
- 360 cadeiras.

- Descrição dos Acabamentos:

ANÁLISE	CONSTRUÇÃO MODERNA	CONSTRUÇÃO TRADICIONAL
01	Piso em Carpete Têxtil (polipropileno)	Piso em Tacos de Madeira (Jatobá)
	Parede em Divisória com Laminado (tipo Divilux)	
	Teto em Forro de Gesso Revestido com Massa e Pintura Plástica (acrílica)	
	Mobiliário: Mesas em MDF e Cadeiras Estofadas com Espuma Flexível (poliuretano)	Parede em Alvenaria Revestida com Massa e Pintura Plástica (acrílica)
02	Piso Vinílico (PVC)	Teto em Forro de Gesso Revestido com Massa e Pintura Plástica (acrílica)
	Parede em Divisória com Laminado (tipo Divilux)	
	Teto em Forro de Gesso Revestido com Massa e Pintura Plástica (acrílica)	
	Mobiliário: Mesas em MDF e Cadeiras Estofadas com Espuma Flexível (poliuretano)	
03	Piso em Carpete de Madeira (MDF)	Mobiliário: Mesas e Cadeiras em Madeira Maciça (Cedro)
	Parede em Divisória com Laminado (tipo Divilux)	
	Teto em Forro de Gesso Revestido com Massa e Pintura Plástica (acrílica)	
	Mobiliário: Mesas em MDF e Cadeiras Estofadas com Espuma Flexível (poliuretano)	

Notas:

- 1) a modificação dos tipos de pisos nas 3 análises se deve as frequências observadas para o carpete têxtil, o piso vinílico e o carpete de madeira;
- 2) como a utilização de divisórias em laminado (tipo Divilux) ocorreu numa faixa de alta utilização, a sua presença foi mantida como elemento de separação (divisória) nas análises;
- 3) observa-se ainda uma grande utilização de forro de gesso, revestido com massa corrida e pintura plásticas, reforçada pela utilização de painéis de gesso cartonado (*dry-wall*);

4) observa-se nos escritórios modernos uma intensa utilização de mesas a base de MDF e de cadeiras acolchoadas com espuma flexível de poliuretano. Dessa forma, a especificação desses materiais como mobiliário foi mantida nas três análises.

Com base na NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento, através da tabela C.3 – Valores do potencial calorífico específico podem ser estimados a carga-incêndio em cada situação definida anteriormente, a partir das quantidades envolvidas e do poder calorífico de cada material:

- acrílico: 28 MJ/kg;
- madeira: 19 MJ/kg;
- polipropileno: 43 MJ/kg;
- poliuretano: 23 MJ/kg;
- PVC: 17 MJ/kg.

Como não constam na NBR 14432 os poderes caloríficos inferiores da resina fenólica, da resina uréica e da parafina, foi consultada a Instrução Técnica N°. 14/2011 – Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco, do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, através da Tabela C.1 – Valores de referência – potencial calorífico específico, conforme segue:

- parafina: 46 MJ/kg;
- resina fenólica: 25 MJ/kg;
- resina uréica: 21 MJ/kg.

Cálculo da Carga Incêndio por Material:

1) Carpete Textil (CT):

Peso Específico Típico: 80 kg/m³

Espessura Média: 7 mm

Composição Média: - 100% polipropileno

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- polipropileno = 43 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI do Carpete Textil:

- polipropileno: $80 \text{ kg/m}^3 \times 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 43 \text{ MJ/kg} = 24,08 \text{ MJ/m}^2$

$$PCI_{CT} = 24 \text{ MJ/m}^2$$

2) **Divisória em Laminado (DL):**

Peso Específico Típico: 170 kg/m^3

Espessura Média: 35 mm

Composição Média: - 80% fibra de madeira

- 20% resina fenólica

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

- resina fenólica = 25 MJ/kg (Instrução Técnica N°. 14/2011, Tabela C.1, Corpo de Bombeiros/SP)

PCI da Divisória em Laminado:

- madeira: $170 \text{ kg/m}^3 \times 0,035 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,80 \times 19 \text{ MJ/kg} = 90,44 \text{ MJ/m}^2$

- resina fenólica: $170 \text{ kg/m}^3 \times 0,035 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,20 \times 25 \text{ MJ/kg} = 29,75 \text{ MJ/m}^2$

$$PCI_{DL} = 120,10 \text{ MJ/m}^2 = \mathbf{120 \text{ MJ/m}^2}$$

3) **Piso Vinílico (PV):**

Peso Específico Típico: 1.600 kg/m^3

Espessura Média: 3 mm

Composição Média: - 100% PVC (policloreto de vinila)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- PVC = 17 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI do Piso Vinílico:

- PVC: $1.600 \text{ kg/m}^3 \times 0,003 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 17 \text{ MJ/kg} = 81,60 \text{ MJ/m}^2$

$$PCI_{PV} = \mathbf{82 \text{ MJ/m}^2}$$

4) **Carpete de Madeira (CM):**

Peso Específico Típico: 750 kg/m^3

Espessura Média: 7 mm

Composição Média: - 78% fibra de madeira

- 20% resina uréica

- 2% cera de parafina

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)
- resina uréica = 21 MJ/kg (Instrução Técnica No. 14/2011, Tabela C.1, Corpo de Bombeiros/SP)
- parafina: 46 MJ/kg (Instrução Técnica nº 14/2011, Tabela C.1, Corpo de Bombeiros/SP)

PCI do Carpete de Madeira:

- madeira: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,78 \times 19 \text{ MJ/kg} = 77,80 \text{ MJ/m}^2$
- resina uréica: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,20 \times 21 \text{ MJ/kg} = 22,05 \text{ MJ/m}^2$
- parafina: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,02 \times 46 \text{ MJ/kg} = 4,83 \text{ MJ/m}^2$

$$\text{PCI}_{\text{CM}} = 104,68 \text{ MJ/m}^2 = \mathbf{105 \text{ MJ/m}^2}$$

5) Cadeira de Poliuretano (CP):

Peso Específico Típico: 33 kg/m^3

Espessura Média: 50 mm

Composição Média: - 100% poliuretano (PU)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- poliuretano = 23 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI da Cadeira de Poliuretano:

- poliuretano: $33 \text{ kg/m}^3 \times 0,050 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 23 \text{ MJ/kg} = 37,95 \text{ MJ/m}^2$

Área de Estofamento = $(0,60 \times 0,50) \times 2$ (assento e encosto) = $0,60 \text{ m}^2/\text{cadeira}$

$$\text{PCI}_{\text{CP}} = 37,95 \text{ MJ/m}^2 \times 0,60 \text{ m}^2 = 22,77 \text{ MJ/cadeira} = \mathbf{23 \text{ MJ/cadeira}}$$

6) Mesa de MDF (MM):

Peso Específico Típico: 750 kg/m^3

Espessura Média: 25 mm

Composição Média: - 78% fibra de madeira

- 20% resina uréica

- 2% cera de parafina

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)
- resina uréica = 21 MJ/kg (Instrução Técnica N°. 14/2011, Tabela C.1, Corpo de Bombeiros/SP)

- parafina: 46 MJ/kg (Instrução Técnica No. 14/2011, Tabela C.1, Corpo de Bombeiros/SP)

PCI da Mesa de MDF:

- madeira: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,78 \times 19 \text{ MJ/kg} = 277,88 \text{ MJ/m}^2$

- resina uréica: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,20 \times 21 \text{ MJ/kg} = 78,75 \text{ MJ/m}^2$

- parafina: $750 \text{ kg/m}^3 \times 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,02 \times 46 \text{ MJ/kg} = 17,25 \text{ MJ/m}^2$

Área Média: $[1,60 \times 0,60 \text{ (tampo)} + 1,60 \times 0,50 \text{ (frente)} + 2 \times 0,60 \times 0,50 \text{ (laterais)}] \times 1,15 \text{ (15\% relativo ao gaveteiro)} = 2,714 \text{ m}^2$

PCI_{MM} = $(277,88 \text{ MJ/m}^2 + 78,75 \text{ MJ/m}^2 + 17,25 \text{ MJ/m}^2) \times 2,714 \text{ m}^2 = 1.014,71 \text{ MJ/ mesa} = 1.015 \text{ MJ/ mesa}$

7) Tacos de Madeira(TM):

Peso Específico Típico: 921 kg/m^3 (Jatobá)

Espessura Média: 15 mm

Composição Média: - 100% madeira (Jatobá)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI dos Tacos de Madeira:

-madeira: $921 \text{ kg/m}^3 \times 0,015 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 19 \text{ MJ/kg} = 262,48 \text{ MJ/m}^2$

PCI_{TM} = 262 MJ/m²

8) Massa e Pintura Plástica (MP):

Peso Específico Típico: - massa corrida acrílica: 1.700 kg/m^3

- tinta acrílica: 1.300 kg/m^3

Espessura Média: - 1,1 mm (1 mm de massa corrida acrílica + 0,1 mm de tinta acrílica)

Composição Média: - 100% acrílico

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- acrílico = 28 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI da Massa e Pintura Acrílica:

- massa corrida: $1.700 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 28 \text{ MJ/kg} = 47,60 \text{ MJ/m}^2$

- tinta acrílica: $1.300 \text{ kg/m}^3 \times 0,0001 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 1,0 \times 28 \text{ MJ/kg} = 3,64 \text{ MJ/m}^2$

$$PCI_{MP} = 51,24 \text{ MJ/m}^2 = \mathbf{51 \text{ MJ/m}^2}$$

9) **Cadeira em Madeira Maciça (CMM):**

Peso Específico Típico: 485 kg/m³ (Cedro)

Volume Médio: [2 x 0,40 x 0,40 (assento + encosto)] x 0,010 (espessura) x 1,40 (40% relativo a estrutura) = 0,005m³/cadeira

Composição Média: - 100% madeira (Cedro)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI da Cadeira de Madeira Maciça:

-madeira: 485 kg/m³ x 0,005m³/cadeira x 1,0 x 19 MJ/ kg = 46,08 MJ/cadeira

$$PCI_{CMM} = \mathbf{46 \text{ MJ/cadeira}}$$

10) **Mesa em Madeira Maciça (MMM):**

Peso Específico Típico: 485 kg/m³ (Cedro)

Espessura Média: 10 mm

Volume Médio: [1,60 x 0,60 (tampo) + 1,60 x 0,50 (frente) + 2 x 0,60 x 0,50 (laterais)] x 0,010 (espessura) x 1,20 (20% relativo ao gaveteiro + pernas) = 0,028m³

Composição Média: - 100% madeira (Cedro)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

- madeira = 19 MJ/kg (NBR 14432, Tabela C.3, ABNT, janeiro/2000)

PCI da Mesa em Madeira Maciça:

-madeira: 485 kg/m³ x 0,028 m³ x 1,0 x 19 MJ/ kg = 258,02 MJ/mesa

$$PCI_{MMM} = \mathbf{258 \text{ MJ/m}^2}$$

Com base nos valores quantificados, pode-se estabelecer uma comparação da carga incêndio das Modernas Construções Comerciais com as Tradicionais. Os valores comparativos podem ser calculados, conforme o Item C.2.1 da NBR 14432, da seguinte forma:

$$q_{fi} = \Sigma M_i \cdot H_i / A_f$$

Onde:

q_{fi} – valor da carga-incêndio específica (MJ/m^2);

M_i – massa total de cada componente “i” do material combustível;

H_i – potencial calorífico específico de cada componente “i” do material combustível (MJ/kg); A_f – área do piso do pavimento (m^2).

ANÁLISE	CONSTRUÇÃO MODERNA	CONSTRUÇÃO TRADICIONAL
01	<u>Piso:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 24 \text{ MJ/m}^2 = 24.000 \text{ MJ}$ (5%)	<u>Piso:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 262 \text{ MJ/m}^2 = 262.000 \text{ MJ}$ (61%)
	<u>Parede (Divisória):</u> $1.125 \text{ m}^2 \times 120 \text{ MJ/m}^2 = 135.000 \text{ MJ}$ (29%)	
	<u>Teto:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 51 \text{ MJ/m}^2 = 51.000 \text{ MJ}$ (11%)	
	<u>Mobiliário:</u> 360 cadeiras x 23 MJ/cadeira + 240 mesas x 1.015 MJ/mesa = 251.880 MJ (55%)	<u>Parede:</u> $1.125 \text{ m}^2 \times 51 \text{ MJ/m}^2 = 57.375 \text{ MJ}$ (13%)
02	<u>Piso:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 82 \text{ MJ/m}^2 = 82.000 \text{ MJ}$ (16%)	<u>Teto:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 51 \text{ MJ/m}^2 = 51.000 \text{ MJ}$ (12%)
	<u>Parede (Divisória):</u> $1.125 \text{ m}^2 \times 120 \text{ MJ/m}^2 = 135.000 \text{ MJ}$ (26%)	
	<u>Teto:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 51 \text{ MJ/m}^2 = 51.000 \text{ MJ}$ (10%)	
	<u>Mobiliário:</u> 360 cadeiras x 23 MJ/cadeira + 240 mesas x 1.015 MJ/mesa = 251.880 MJ (48%)	
03	<u>Piso:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 105 \text{ MJ/m}^2 = 105.000 \text{ MJ}$ (19%)	<u>Mobiliário:</u> 360 cadeiras x 46 MJ/cadeira + 240 mesas x 258 MJ/mesa = 61.920 MJ (14%)
	<u>Parede (Divisória):</u> $1.125 \text{ m}^2 \times 120 \text{ MJ/m}^2 = 135.000 \text{ MJ}$ (25%)	
	<u>Teto:</u> $1.000 \text{ m}^2 \times 51 \text{ MJ/m}^2 = 51.000 \text{ MJ}$ (9%)	
	<u>Mobiliário:</u> 360 cadeiras x 23 MJ/cadeira + 240 mesas x 1.015 MJ/mesa = 251.880 MJ (47%)	

RESULTADOS FINAIS DA CARGA INCÊNDIO ESPECÍFICOS DO PRÉDIO MODELO:

ANÁLISE	CONSTRUÇÃO MODERNA	CONSTRUÇÃO TRADICIONAL
01	461.880 MJ / 1.000 m ² = 461,88 MJ/m ² de piso	432.295 MJ / 1.000 m ² = 432,30 MJ/m ² de piso
02	519.880 MJ / 1.000 m ² = 519,88 MJ/m ² de piso	
03	542.880 MJ / 1.000 m ² = 542,88 MJ/m ² de piso	

Comparando-se os valores quantificados na Análise 01, 02 e 03, confirma-se uma ampliação da Carga Incêndio nas Construções Modernas, representando um aumento de 6,8% na Análise 01, de 20,2% na Análise 02 e de 25,6% na Análise 03, aproximadamente. De uma forma geral, pode-se estimar um aumento médio de: $(6,8\% + 20,2\% + 25,6\%) / 3 = 17,5\%$, ou seja, de 18% com base nesse trabalho, aproximadamente.

A seguir, apresenta-se uma tabela que resume a participação de cada tipo de acabamento e de conteúdo analisados.

Acabamentos e Conteúdo		Participação na Carga Incêndio			
		1º.	2º.	3º.	4º.
Construção Moderna	Alternativa 01	Mobiliário em MDF e PU (55%)	Divisória em Laminado (29%)	Teto em Massa e Pintura Plástica (11%)	Carpete Têxtil Plástico (5%)
	Alternativa 02	Mobiliário em MDF e PU (48%)	Divisória em Laminado (26%)	Piso Vinílico – PVC (16%)	Teto em Massa e Pintura Plástica (10%)
	Alternativa 03	Mobiliário em MDF e PU (47%)	Divisória em Laminado (25%)	Piso em Carpete de Madeira (19%)	Teto em Massa e Pintura Plástica (9%)
Construção Tradicional		Piso em Tacos de Madeira (61%)	Mobiliário em Madeira Maciça (14%)	Parede com Massa e Pintura Plástica (13%)	Teto com Massa e Pintura Plástica (12%)

Analisando esta tabela, conclui-se que mais de 70% da participação na Carga Incêndio das Modernas Construções se dá através do mobiliário em MDF (mesas) e PU (cadeiras acolchoadas). Quanto ao piso, o carpete de madeira (19% na Alternativa 03) é o de maior participação na Carga Incêndio, seguido do piso vinílico (16% na Alternativa 02) e do piso de carpete têxtil plástico (5% na Alternativa 01). Quanto as Construções Tradicionais, observa-se a maior participação no piso de tacos de madeira (61%), seguido do mobiliário em madeira maciça (14%), sendo que as paredes (13%) e os tetos (12%) com acabamento em massa e pintura plásticas.

Concluindo, a especificação de mobiliário e de divisórias à base de materiais compósitos (madeira + plástico: aglomerado, MDF, HDF, MDP, OSB e etc.) e de acolchoados de espumas plásticas flexíveis (ex.: poliuretano), além de carpete de madeira e piso vinílico, deve ser bem avaliada, principalmente, quando houver uma alta concentração de público (ex.: cinemas e teatros) e/ou uma baixa mobilidade (ex.: hospitais e creches).

Com base no Cálculo Estimativo da Carga Incêndio, na análise através do Método *Walking-Through* e do Questionário da Opinião dos Profissionais do segmento da construção civil, podemos considerar que houve um aumento do Risco-Incêndio nas Modernas Construções Comerciais, quando comparadas às Tradicionais Construções, do início do Século XX, antes do advento da comercialização de produtos plásticos nesse setor.

4.2 Método *Walking-Through*

Com base em um levantamento de campo, através do Método *Walking-Through* (MWT) (SANTO, 2004), foram visitados 20 (vinte) prédios comerciais no Centro da Cidade do Rio de Janeiro – RJ. Nessas inspeções técnicas, foi observada a utilização de uma grande variedade de materiais e sistemas, sendo que alguns se encontravam em quase todas as edificações.

Será apresentada a seguir, uma breve descrição dos principais pontos observados e registrados nas visitas.

Edifício Alexandre Mackenzie (Rua Alexandre Mackenzie, 75): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria e painéis sanduíche, com miolo em espuma rígida de poliuretano. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC), divisórias de MDF revestidas com tecido de fio plástico e divisórias de celulose resinada, forro em lã de vidro, móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.1 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.1 – Alexandre Mackenzie

2) Edifício Almare (Av. Rio Branco, 37): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC) e de carpete plástico (PVC), divisórias de celulose resinada, laje de concreto revestida com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado folheado de madeira e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.2 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.

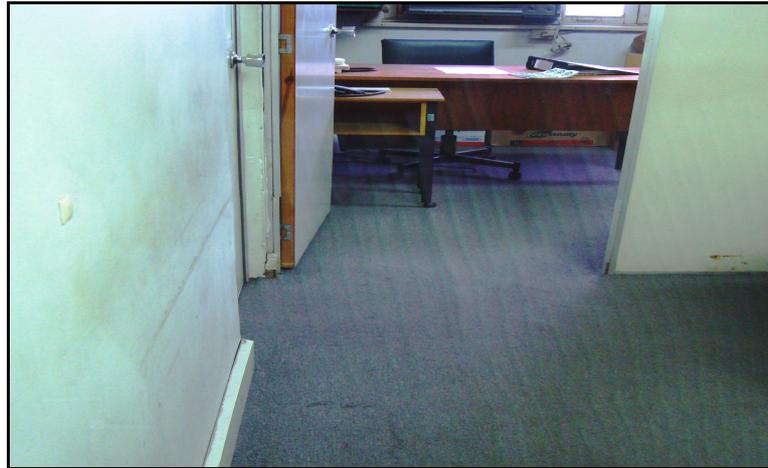


Figura 4.2 – Almare

3) Edifício Assembléia (Rua da Assembléia, 69): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seriam as divisórias de celulose resinada, forro de fibra mineral, móveis de aglomerado com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.3 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.3 – Assembléia

4) Edifício Assembléia 77 (Rua da Assembléia, 77): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC) e de carpete de madeira, divisórias de celulose resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura

plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.4 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.4 – Edson Passos

5) Edifício Avenida Central (Av. Rio Branco, 156): edificação com estrutura em aço, protegida por amianto projetado, cobertura em laje de concreto e fachadas em pele de vidro. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (PVC), divisórias de celulose resinada, forro de celulose prensada com resina plástica, móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.5 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.5 – Avenida Central

6) Edifício Candelária Corporate (Rua da Candelária, 65): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas em pele de vidro. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (Polipropileno), divisórias de MDF revestidas com laminado melamínico, forro de fibra mineral, móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída no final do Século XX. A Figura 4.6 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.6 – Candelária Corporate

7) Edifício Castro Pinto (Rua Ramalho Ortigão, 12): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC) e de carpete plástico (PVC), parede de alvenaria revestida com massa e pintura plásticas (PVA), laje de concreto revestida com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado folheado de madeira e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na primeira metade do Século XX. A Figura 4.7 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.7 – Castro Pinto

8) Edifício Edson Passos (Av. Rio Branco, 124): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas em vidro, com marquises. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso em tacos de madeira e vinílico (PVC), divisórias em celulose resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado folheado de madeira e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.8 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.8 – Edson Passos

9) Edifício Imperial do Carmo (Rua do Carmo, 71): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam

participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (Polipropileno), divisórias de gesso acartonado revestidas com textura plástica, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.9 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.9 – Imperial do Carmo

10) Edifício Jacob Goldberg (Av. Gomes Freire, 647): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (PVC), parede de alvenaria revestida com massa e pintura plásticas (PVA), laje de concreto revestida com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.10 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.10 – Jacob Goldberg

11) Edifício Maria Alexandrina (Rua Gonçalves Dias, 89): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenari. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC), parede de alvenaria revestida com massa e pintura plásticas (PVA), laje de concreto revestida com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.11 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.11 – Maria Alexandrina

12) Edifício Municipal (Av. Treze de Maio, 13): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso em carpete de madeira, divisórias de gesso revestidas com massa e pintura plásticas (PVA), forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.12 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.

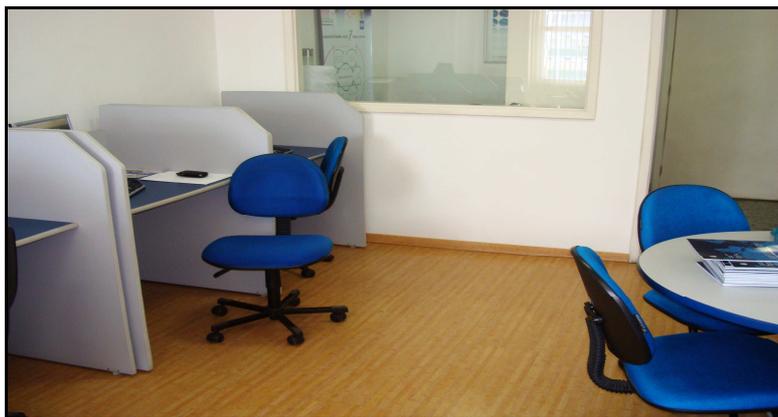


Figura 4.12 – Municipal

13) Edifício Nossa Senhora do Rosário (Rua do Rosário, 171): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (Polipropileno), divisórias de celulose resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.13 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.13 – Nossa Senhora do Rosário

14) Edifício Orly (Av. Marechal Câmara, 160): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam

participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (Polipropileno), divisórias de celulose resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.14 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.

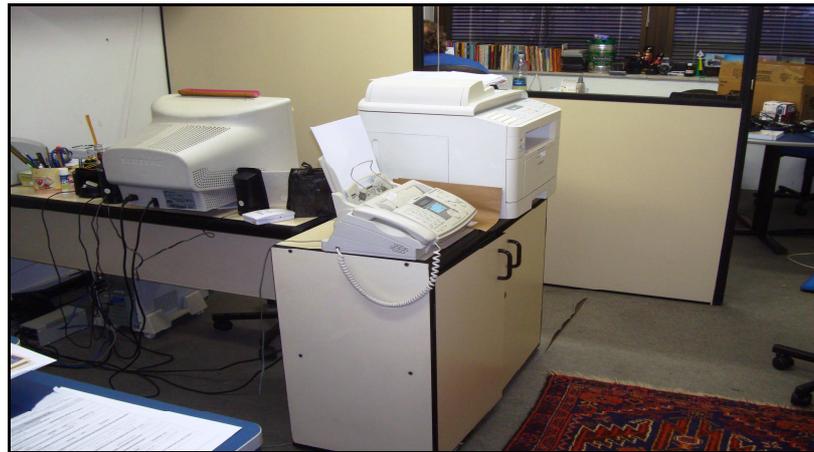


Figura 4.14 – Orly

15) Edifício Oscar Niemeyer (Rua Buenos Aires, 40): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete plástico (PVC), divisórias de MDF revestidas com laminado melamínico, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.15 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.15 – Oscar Niemeyer

16) Edifício Avenida Passos (Av. Passos, 120): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas em pele de vidro. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seriam as divisórias de celulose resinada, forro de poliestireno expandido revestido com massa de PVA, móveis de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.16 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.16 – Avenida Passos

17) Edifício Rio Branco (Av. Rio Branco, 133): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC), divisórias em celulose

resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado revestidos com laminado melamínico e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída em meados do Século XX. A Figura 4.17 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.17 – Rio Branco

18) Edifício Rio D'Ouro (Av. Presidente Vargas, 435): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis, o piso em tacos de madeira e granito, paredes de alvenaria revestidas com laminado melamínico e peças de madeira, laje de concreto, forros de gesso revestidos com massa e pinturas plásticas (PVA), móveis de compensado folheados de madeira e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.18 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.18 – Rio D'Ouro

19) Edifício Rodolpho De Paoli (Av. Nilo Peçanha, 50): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria e pele de vidro. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso de carpete de madeira, divisórias de celulose resinada, forro de MDF revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de compensado folheados de madeira e de aglomerado revestidos com laminado melamínico, e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.19 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.19 – Rodolpho De Paoli

20) Edifício Vital Brazil (Av. Marechal Floriano, 19): edificação com estrutura em concreto armado, cobertura em laje de concreto e fachadas vedadas com alvenaria. Durante as inspeções internas observou-se que os principais materiais que poderiam participar como combustíveis seria o piso vinílico (PVC) e de carpete plástico (PVC), divisórias de celulose resinada, forro de gesso revestido com massa e pintura plásticas (PVA), móveis de aglomerado folheado de madeira e cadeiras com espuma de poliuretano. Trata-se de uma edificação construída na segunda metade do Século XX. A Figura 4.20 apresenta uma imagem representativa do interior da edificação.



Figura 4.20 – Vital Brazil

Durante a visita técnica, utilizando o Método *Walking-Through*, foram observados os principais materiais / sistemas utilizados em cada edificação comercial e, com base no mesmo questionário apresentado aos profissionais do mercado, os resultados encontrados estão apresentados na Figura 4.21 a Figura 4.26.

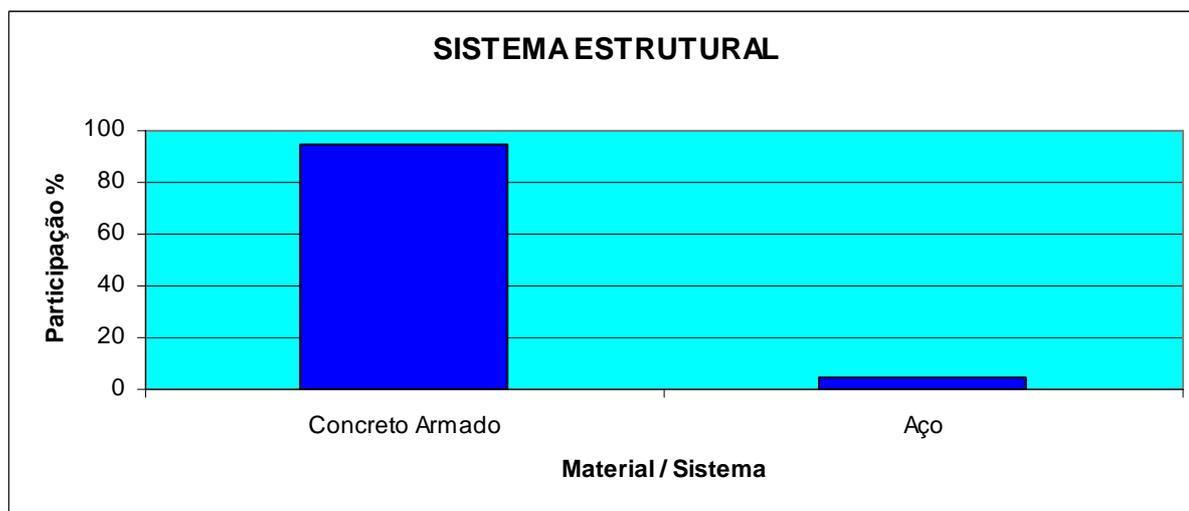


Figura 4.21 – Sistema Estrutural (MWT)

Para as Lajes e para as Coberturas, o concreto armado aparece com uma participação de 100% (Altíssima Utilização).

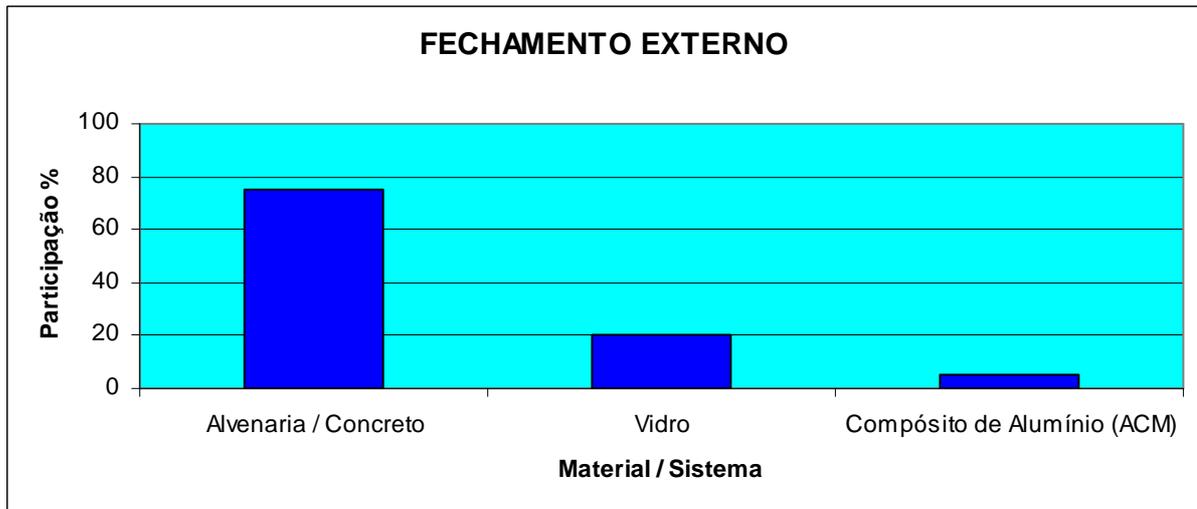


Figura 4.22 – Fechamento Externo (MWT)

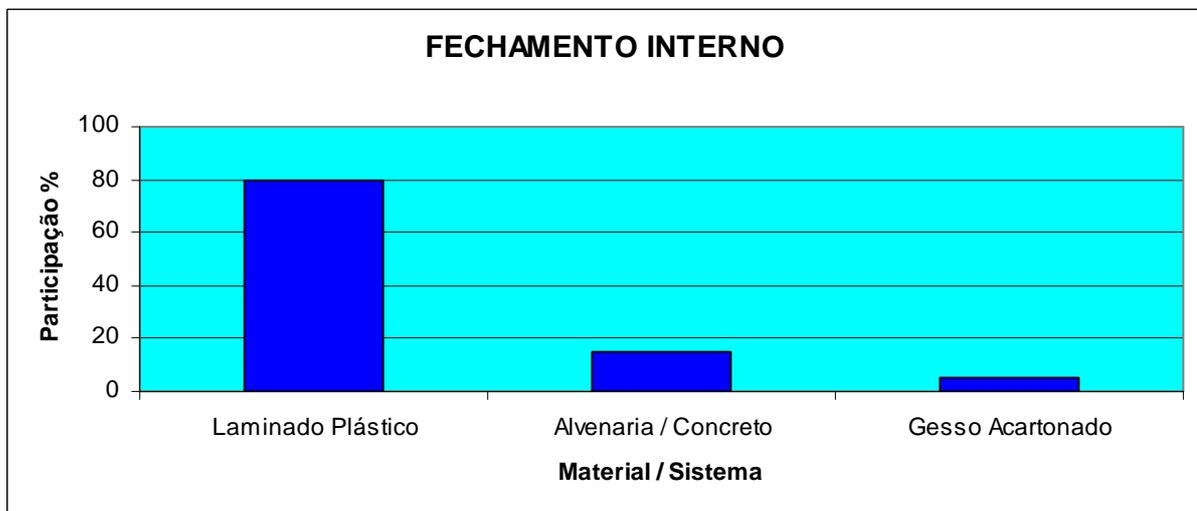


Figura 4.23 – Fechamento Interno (MWT)

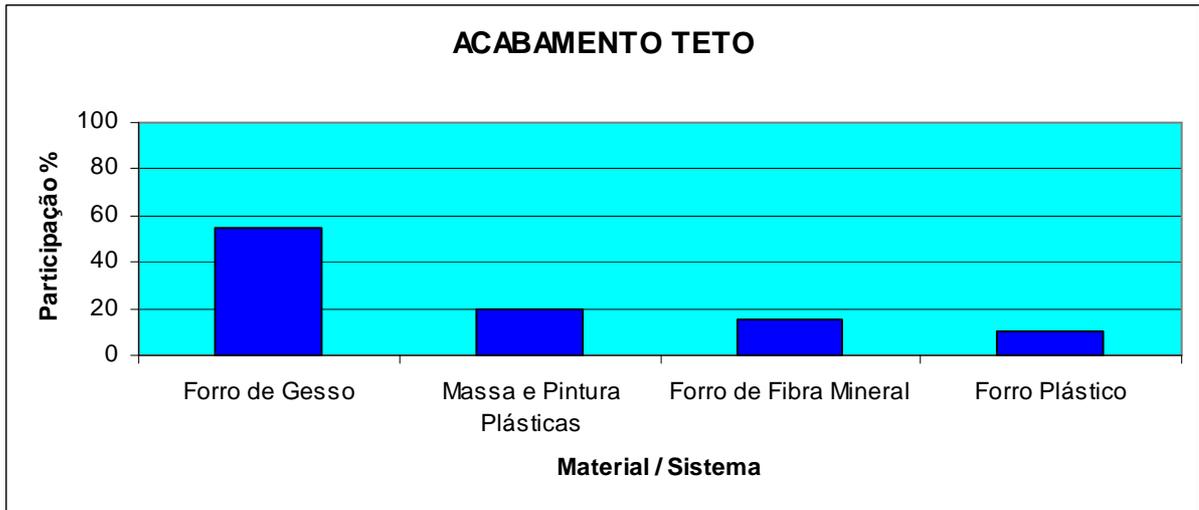


Figura 4.24 – Acabamento de Teto (MWT)

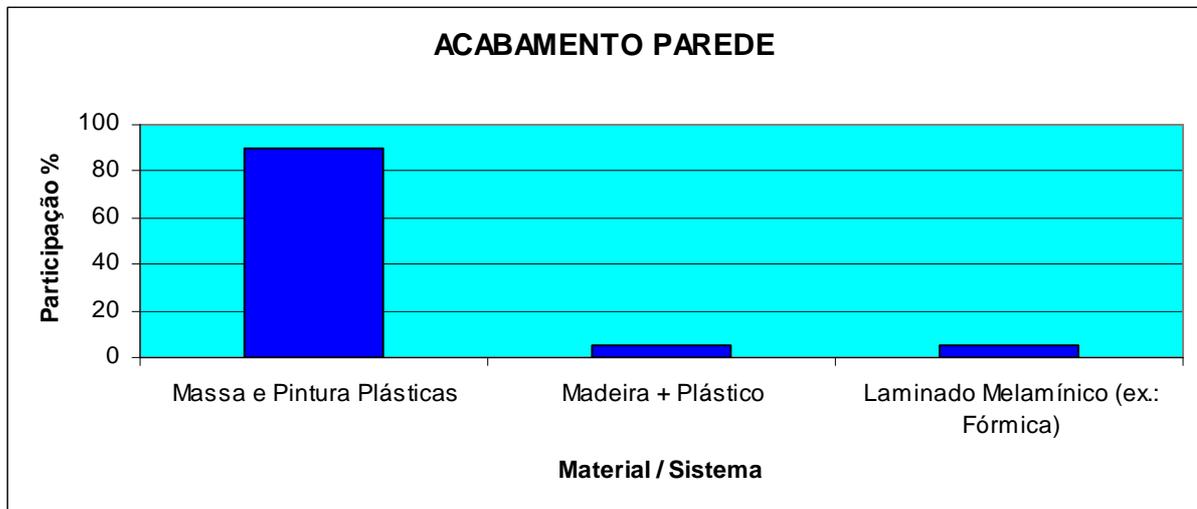


Figura 4.25 – Acabamento de Parede (MWT)

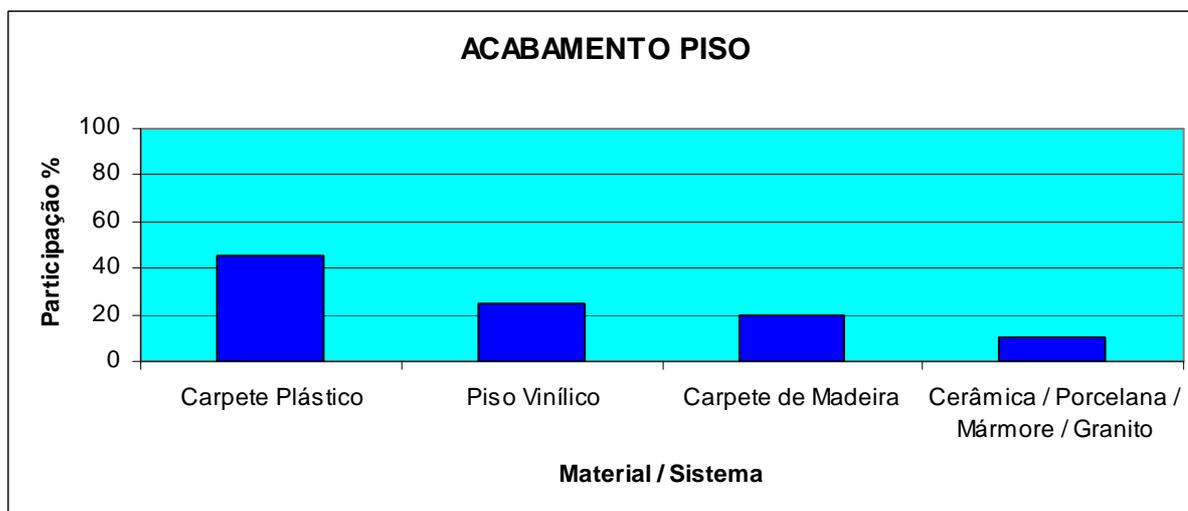


Figura 4.26 – Acabamento de Piso (MWT)

Para as Instalações Prediais (elétrica, hidráulica, telefonia e etc.), a presença dos plásticos é de 100% e para os Mobiliários, a madeira + plástico (ex.: aglomerado e MDF) também é de 100%. Dessa forma, a classificação de ambos é de Altíssima Utilização.

Em todos os prédios visitados, foi identificada uma grande presença (> 80% - Alta Utilização) de cortinas plásticas verticais com lâminas de PVC ou de fibra de vidro resinada ou ainda de fio plástico resinado.

Além do levantamento pelo Método *Walking-Through*, foram coletados dados através do Questionário de Opinião Informal com base no conhecimento dos Profissionais, ao qual denominei como sigla (QOP) da área de construção civil, apresentado na Tabela 4.27.

Os profissionais entrevistados tinham formação acadêmica, eram arquitetos e/ou engenheiros, com ampla experiência de mercado, e atuantes em empreendimentos comerciais. O Perfil de atuação desses profissionais estava dividido resumidamente em Coordenador de Obras, Coordenador ou Gerente de Projetos, Supervisor ou Gerente de Contratos, e Diretor Técnico.

Para melhor entendimento da aplicação da pesquisa, foram utilizados os seguintes valores: 1 a 5 - pontuação no questionário da Tabela 4.27, interpretados da seguinte forma: o valor 1 é para a faixa de Altíssima Utilização (de 80 a 100%), o valor 2 é para a faixa de Alta Utilização (de 60 a 80%, exclusive). O valor 3 é para a faixa de Média Utilização (de 40 a 60%, exclusive), o valor 4 é para a faixa de Baixa Utilização (de 20 a 40%, exclusive) e o valor 5 é para a faixa de Baixíssima Utilização (de 0 a 20%, exclusive).

CONSTRUÇÃO ATUAL DE PRÉDIOS COMERCIAIS
(materiais / sistemas utilizados nas atuais construções)

Preenchimento: pontuar de 1 a 5, sendo o 1 para "muito utilizado" e o 5 para "muito pouco utilizado ou não utilizado".

ELEMENTO CONSTRUTIVO	MATERIAL / SISTEMA	PONTUAÇÃO	
Estrutura	concreto armado		
	aço		
	madeira		
	alumínio		
	plástico		
Laje	concreto armado		
	concreto protendido		
	metálica ("steel-deck")		
	cimentício + madeira (ex.: Panel Wall)		
	aço (ex.: chapa xadrez)		
Cobertura	concreto armado		
	cimentício		
	telha cerâmica / concreto		
	telha sanduíche		
	madeira + plástico (EVA, "shingle" e etc.)		
Fechamento	externo	alvenaria / concreto	
		compósito de alumínio (ACM)	
		granito / mármore	
		vidro	
		placa cimentícia	
	interno	alvenaria / concreto	
		gesso acartonado	
		laminado plástico	
		madeira	
		cimentício + madeira (ex.: Panel Wall)	
Acabamento	teto	massa e pintura plásticas	
		forno plástico (ex.: lambri de PVC)	
		forno de gesso	
		forno de fibra mineral	
		forno de madeira	
	parede	massa e pintura plásticas	
		madeira + plástico (ex.: aglomerado e MDF)	
		cerâmica	
		laminado melamínico (ex.: Fórmica)	
		papel de parede	
	piso	carpete de madeira	
		carpete plástico	
		piso vinílico	
		piso elevado (aço + concreto)	
		cerâmica / porcelana / mármore / granito	
Instalações (elétrica, hidráulica, telefonia e etc.)	plástico		
	cobre		
	aço / ferro		
	chumbo		
	alumínio		
Mobiliário	madeira		
	madeira + plástico (ex.: aglomerado e MDF)		
	aço		
	alumínio		
	alvenaria		

nota: utilize o verso para anotações gerais e comentários.

Tabela 4.27 – Questionário da Opinião dos Profissionais (QOP)

Com base nas avaliações realizadas com o questionário, os dados seguintes estão relacionados com o estudo da metodologia aplicada Figura 4.27, assim foi possível observar melhor e elaborar diagramas de barras (gráficos) da Figura 4.28 a Figura 4.37 auxilia uma melhor visualização dos dados dos materiais e sua porcentagem ao risco de incêndio em prédios.

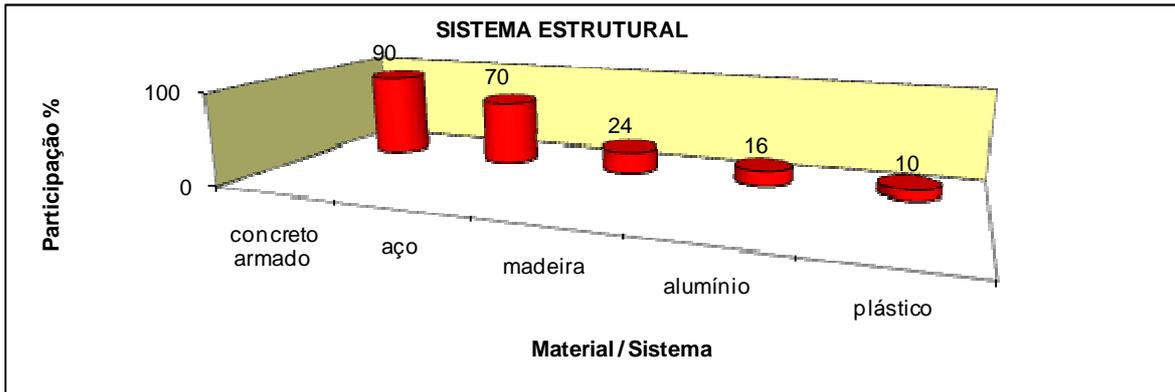


Figura 4.28 – Sistema Estrutural (QOP)

Na Figura 4.28, o concreto armado é o Sistema Estrutural mais utilizado, seguido das estruturas de aço. A madeira e o plástico se encontram no intervalo de baixíssima utilização, praticamente. A participação de materiais combustíveis (madeira e plásticos) pode ser estimada em 16%: $(24 + 10) / (90 + 70 + 24 + 16 + 10)$ com base na distribuição apresentada acima.

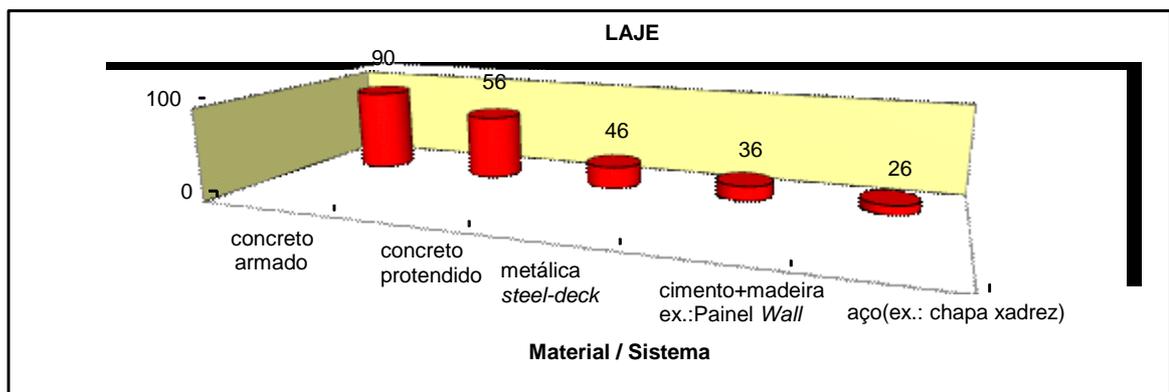


Figura 4.29 – Laje (QOP)

Na Figura 4.29, o concreto armado é o sistema mais utilizado como Laje. O sistema cimentício + madeira se encontra na faixa de Baixa Utilização. A participação de materiais combustíveis pode ser estimada em 14%: $(36) / (90 + 56 + 46 + 36 + 26)$.

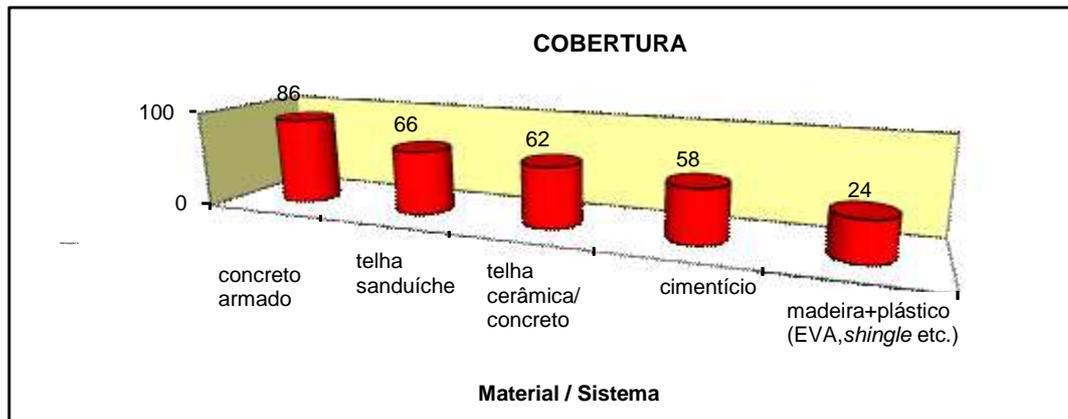


Figura 4.30 – Cobertura (QOP)

Na Figura 4.30, o concreto armado é o sistema mais utilizado como cobertura. A telha tipo sanduíche (miolo plástico) aparece com mais de 60% de participação. Coberturas à base de madeira + plástico ou alcatrão, neste caso as telhas cerâmicas são utilizadas por tradicionalismo. Deve-se ter uma atenção especial nas coberturas, por apresentarem muitas vezes a madeira (não tratada) como uma opção. Deve-se ter uma atenção especial quanto ao sistema de coberturas, que muitas vezes apresentam a madeira (não tratada) como opção. Neste caso específico, a participação de materiais combustíveis pode ser estimada em 30%: $(66 + 24) / (86 + 66 + 62 + 58 + 24)$.

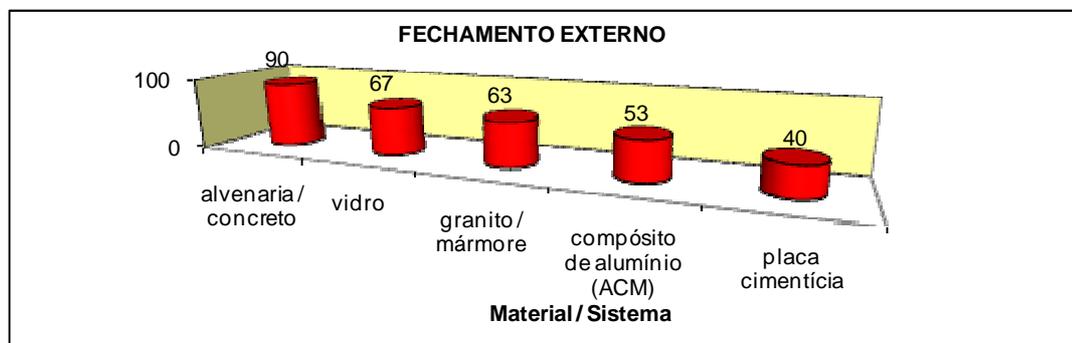


Figura 4.31 – Fechamento Externo (QOP)

Na Figura 4.31, a alvenaria / concreto são os materiais mais utilizados como Fechamento Externo. O ACM – *Aluminum Composite Material* (com miolo plástico em polietileno) aparece com mais de 50% de participação na opinião dos entrevistados. A presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 17%: $(53) / (90 + 67 + 63 + 53 + 40)$.

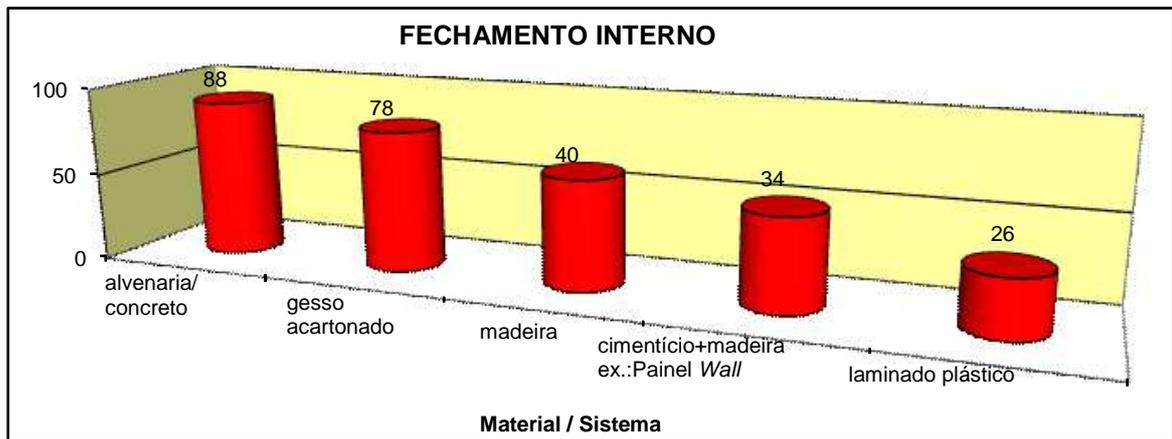


Figura 4.32 – Fechamento Interno (QOP)

Na Figura 4.32, a alvenaria / concreto são os materiais mais utilizados como Fechamento Interno. A madeira, o sistema cimentícios + madeira, e o laminado plástico se encontram no intervalo de Baixa Utilização. A presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 38% $(40 + 34 + 26) / (88 + 78 + 40 + 34 + 26)$.

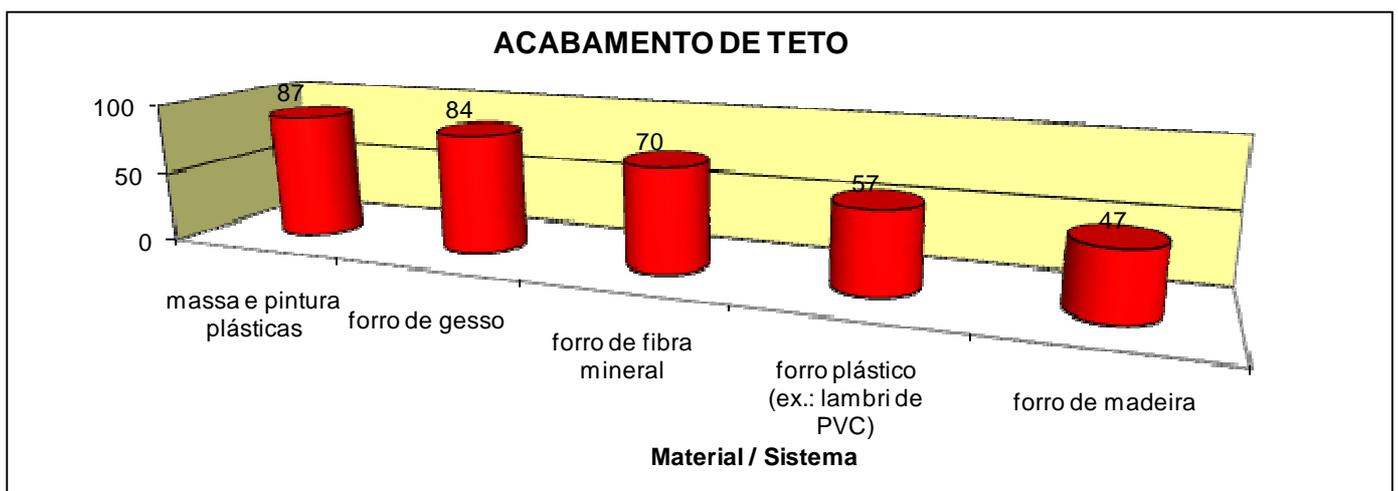


Figura 4.33 – Acabamento de Teto (QOP)

Na Figura 4.33, a massa e pintura plásticas, sendo ambas combustíveis, é o sistema mais utilizado como Acabamento de Teto. O forro plástico (ex.: lambri de PVC) e o forro de madeira (ex.: lambri de madeira) se encontram no intervalo de Média Utilização. A presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 55% $(87 + 57 + 47) / (87 + 84 + 70 + 57 + 47)$.

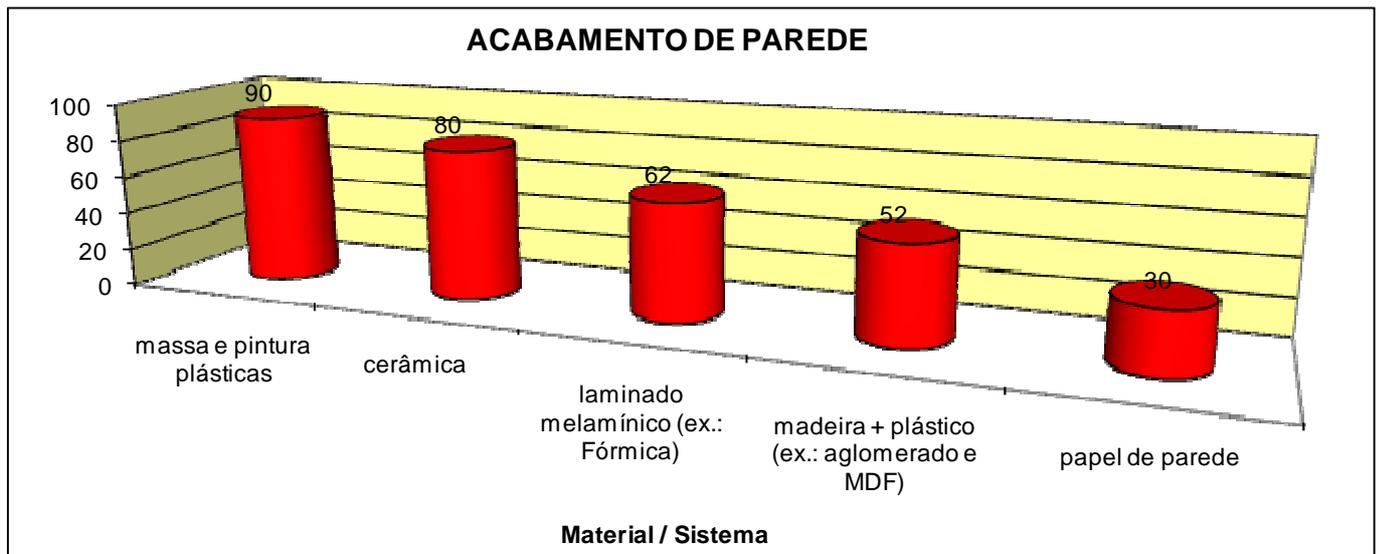


Figura 4.34 – Acabamento de Parede (QOP)

Na Figura 4.34, a massa e pintura plásticas, sendo ambas combustíveis, é o sistema mais utilizado como Acabamento de Parede. O laminado melamínico (ex.: Fórmica) se encontra acima de 60% (Alta Utilização), os revestimentos a base de madeira + plástico (ex.: MDF) se encontram por volta de 50% (Média Utilização) e o papel de parede cerca de 30% (Baixa Utilização). A presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 74%: $(90 + 62 + 52 + 30) / (90 + 80 + 62 + 52 + 30)$.

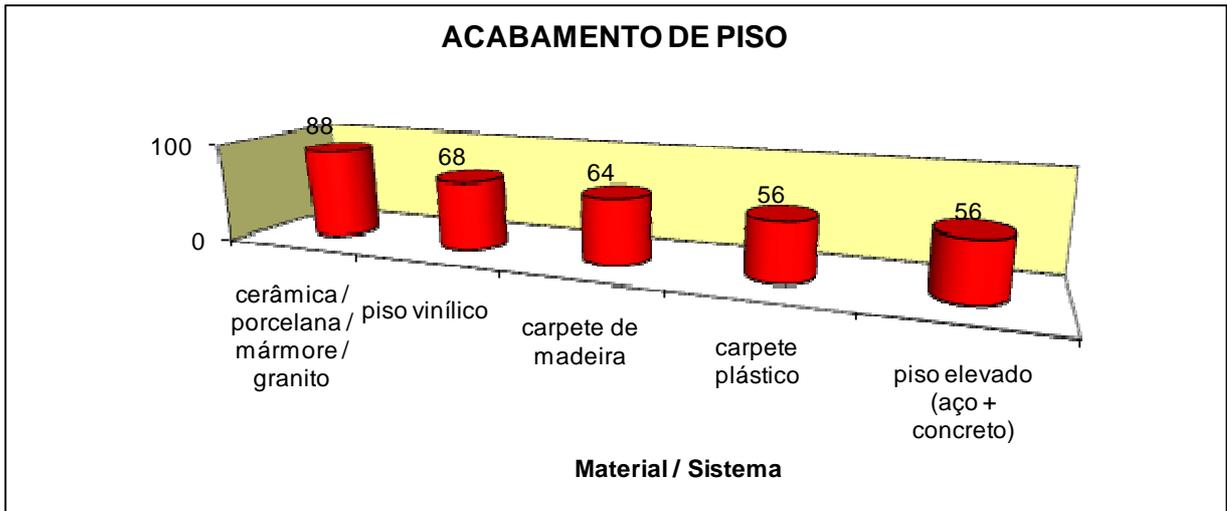


Figura 4.35 – Acabamento de Piso (QOP)

Na Figura 4.35, a cerâmica / porcelana / mármore / granito são os materiais mais utilizados como acabamento de piso. O piso vinílico e o carpete de madeira se encontram acima de 60% (Alta Utilização), e o carpete plástico se encontra com quase 60% (Média Utilização). A presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 57%: $(68 + 64 + 56) / (88 + 68 + 64 + 56 + 56)$.

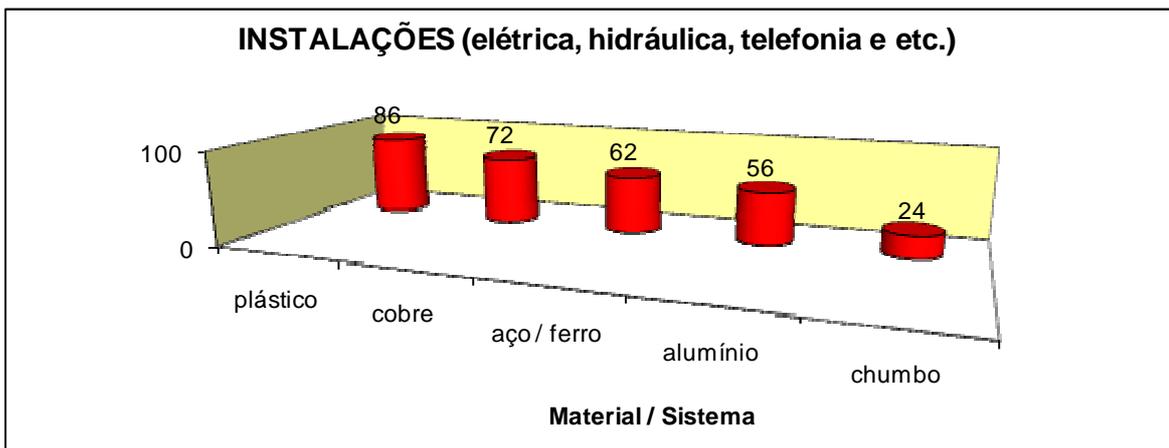


Figura 4.36 – Instalações (QOP)

Na Figura 4.36, o plástico é muito utilizado nas Instalações prediais, com quase 90% de participação na opinião dos entrevistados (Altíssima Utilização). Todos os

outros materiais utilizados são incombustíveis. A soma da presença de materiais combustíveis pode ser estimada em 28%: $(86) / (86 + 72 + 64 + 56 + 24)$.

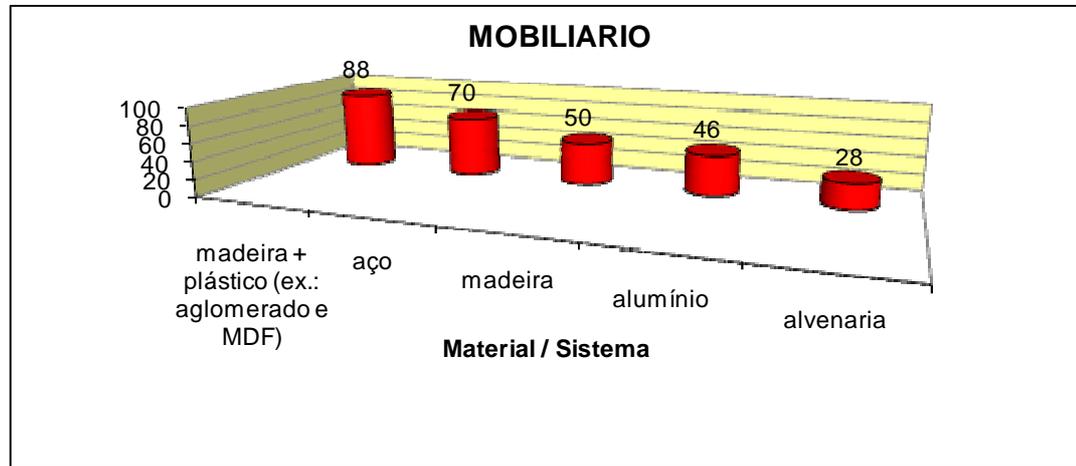


Figura 4.37 – Mobiliário (QOP)

Na Figura 4.37, a madeira + plástico (ex.: MDF) é o sistema mais utilizado como Mobiliário, com quase 90% de participação (Altíssima Utilização). Os móveis de madeira maciça apresentam ainda uma participação de 50%. A presença de materiais combustíveis (plástico + madeira) pode ser estimada em 49%, envolvendo todos os materiais avaliados: $(88 + 50) / (88 + 70 + 50 + 46 + 28)$.

Considera-se que o risco-incêndio é função direta dos perigos existentes frente às salvaguardas adotadas, para que o risco possa ser reduzido quando se acrescentam materiais combustíveis (ex.: polímeros plásticos ou madeiras), é necessário adicionar salvaguardas (ex.: sistemas de controle e gerenciamento de fumaças de incêndio ou estanqueidade vertical e horizontal), conforme pode ser compreendido através da função da Equação 3.

$$\text{RISCO} = f(\text{PERIGOS} / \text{SALVAGUARDAS}) \quad (\text{Equação 3})$$

Analisando-se essa função, é possível identificar as seguintes alternativas para a redução do risco-incêndio:

- 1) redução dos perigos existentes (redução do numerador);
- 2) aumento das salvaguardas utilizadas (aumento do denominador);

3) aplicação do item 1 e 2, simultaneamente.

Uma das ferramentas utilizadas para a quantificação dos perigos identificados frente às salvaguardas existentes é o Método de Gretener, que estabelece um nível (aceitável ou não) do risco-incêndio de uma determinada edificação (GRETENER, 2011).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após uma análise comparativa detalhada entre os resultados apresentados nas duas formas de levantamento de dados (*Walking-Trough* e Opinião dos Profissionais do Mercado da Construção Civil), podemos apresentar as seguintes conclusões:

- 1) Sistemas Estruturais: os resultados são os mesmos. A grande maioria das construções utiliza o concreto armado como principal sistema estrutural, e as estruturas metálicas como uma segunda opção;
- 2) Lajes e Coberturas: os resultados são os mesmos, apresentando o concreto armado como o principal sistema utilizado;
- 3) Fechamentos Externos: nos 20 prédios visitados não foi observada a utilização de granito na fachada, mas a sequência decrescente de participação é a mesma: alvenaria / concreto em primeiro lugar vidro em segundo e compósito de alumínio (ACM) em terceiro lugar;
- 4) Fechamentos Internos: nesse item ocorreu uma divergência interessante. No levantamento *Walking-Trough*, o laminado plástico (ex.: divisórias de Eucatex) apresentou a maior participação, seguido da alvenaria / concreto e das divisórias de gesso acartonado. Pela opinião dos profissionais da área, a utilização de laminados plásticos (ex.: divisórias de Eucatex) seria a de menor participação. Creio que seja porque este tipo de divisória é normalmente agregado a edificação após o prédio ser entregue ao usuário. O projetista e o construtor não costumam utilizar este tipo de material para fazer os fechamentos internos dos pavimentos. De qualquer forma, a participação observada, durante as visitas, foi de 80% (Alta Utilização). Retirando as divisórias de laminado plástico desta análise, os resultados entre as duas formas de levantamento de dados foram os mesmos: alvenaria / concreto como

- sendo o mais empregado e as divisórias de gesso acartonado como sendo a segunda opção;
- 5) Acabamentos de Teto: na comparação entre as duas formas utilizadas para o levantamento de dados, houve uma inversão entre o material / sistema mais utilizado e a segunda opção. No *Walking-Trough*, o forro de gesso se posiciona como a primeira opção e a massa e a pintura plásticas diretamente sob as lajes como a segunda. Na opinião dos profissionais, a massa e a pintura plástica sob lajes é o sistema mais utilizado e o forro de gesso fica como uma segunda alternativa. Da mesma forma que no item anterior, provavelmente a instalação do rebaixamento do teto com forro de gesso se dá, normalmente, após a entrega da obra para os usuários. Os projetistas e construtores não costumariam entregar a edificação já com o forro de gesso. Os resultados encontrados para a terceira e quarta participações foi o mesmo: forro de fibra mineral e forro plástico, correspondentemente;
 - 6) Acabamentos de Parede: os resultados foram os mesmos para o sistema de maior participação, que foi a massa e pintura plásticas sobre as paredes. No *Walking-Trough*, o segundo foi à madeira + plástico e em terceiro o laminado melamínico (ex.: Fórmica). Já na opinião dos profissionais, a cerâmica aparece como a segunda participação, o laminado melamínico a terceira e a madeira + plástico a quarta opção. Aqui, acredita-se que o universo de 20 prédios não foi representativo o suficiente para incluir a cerâmica como revestimento de paredes, divergindo nos resultados entre os dois métodos utilizados, mas mostrou uma estabilidade (proximidade) nos resultados apresentados;
 - 7) Acabamentos de Piso: nesse item, os resultados foram muito próximos e apresentando a mesma sequência de participação, sendo que no *Walking-Trough*, o material de menor participação foi a cerâmica/porcelana/mármore/granito, enquanto que na opinião dos profissionais, esses mesmos materiais são os de maior participação, ou seja, houve uma inversão de Baixíssima Utilização no *Walking-Trough* para Altíssima Utilização na opinião dos profissionais da área. Isto se deve provavelmente às inúmeras reformas que são realizadas nos prédios comerciais, e como o tempo para retirar o que estava instalado no piso e aplicar a cerâmica é muito grande, frente a

necessidade do uso do ambiente, leva os ocupantes a utilizarem sistemas rápidos de recobrimento do que já existia, tal como o carpete plástico, o piso vinílico ou o carpete de madeira, aplicados diretamente sobre as cerâmicas existentes desde a época da construção do prédio, por exemplo. Retirando-se a alternativa da cerâmica/porcelana/mármore/granito do levantamento de dados, os resultados na sequência são exatamente os mesmos: carpete plástico, piso vinílico e carpete de madeira, numa participação decrescente;

- 8) Instalações Prediais e Mobiliárias: os resultados são os mesmos, apresentando o plástico como sendo o principal material utilizado nas instalações prediais e a madeira + plástico (ex.: aglomerado e MDF) o mais utilizado como mobiliário. Um ponto que não pode ser identificado no levantamento de dados dos profissionais, mas ficou perfeitamente claro no *Walking-Trough* foi à presença constante, em qualquer ambiente que tenha sido visitado, da espuma flexível de poliuretano (plástico) nas cadeiras, poltronas e sofás, além de tratamentos acústicos para absorção sonora.

Com foco nas premissas deste trabalho e com base nos resultados gerados pelos levantamentos de dados (*Walking-Trough* e Opinião dos Profissionais da Área), a presença de materiais plásticos, sejam eles puros ou compostos com madeira (ex.: aglomerado), supera em muito a presença de materiais a base de madeira pura. A seguir, será apresentado um resumo das utilizações dos materiais plásticos, conforme os levantamentos de dados realizados:

- 1) Sistema Estrutural: baixíssima utilização;
- 2) Laje: baixíssima ou nenhuma utilização;
- 3) Cobertura: **alta utilização**, principalmente através do uso de telhas tipo sanduíche, e outros sistemas como a base de telhas plásticas (ex.: telhas de plástico reciclado);
- 4) Fechamento Externo: **média** para baixa **utilização**, principalmente através do uso de miolo em polietileno nos painéis de ACM (material compósito de alumínio);
- 5) Fechamento Interno: **alta utilização**, principalmente através do uso de divisórias de laminado plástico (tipo Eucatex);

- 6) Acabamento de Teto: **altíssima a média utilização**, principalmente devido ao uso de massa e pintura plásticas, além de forro plástico (ex.: lambri de PVC);
- 7) Acabamento de Parede: **altíssima a média utilização**, principalmente devido ao uso de massa e pintura plásticas, além de laminados melamínicos (ex.: Fórmica);
- 8) Acabamento de Piso: **alta a média utilização**, principalmente através do uso de carpete plástico (ex.: polipropileno e PVC), de piso vinílico (PVC) e de carpete de madeira (MDF);
- 9) Instalação Predial: **altíssima utilização**, principalmente pelo uso materiais plásticos (ex.: PVC, CPVC, polipropileno e PEX – polietileno reticulado), como tubulações, conduítes, eletrodutos, caixas de passagem, quadros de luz, bocais, espelhos e etc.;
- 10) Mobiliário: **altíssima utilização**, principalmente devido ao uso de madeira + plástico (ex.: aglomerado e MDF) e, com a presença marcante espumas flexíveis de poliuretano, para o acolchoamento de cadeiras, poltronas e sofás, e em tratamentos acústicos de absorção sonora e correções dos tempos de reverberação dos ambientes.

Com base em toda esta análise dos dados resultantes dos levantamentos conduzidos e apresentados no item do tópico 4 desta dissertação, podemos dizer, de uma forma indicativa, e não definitiva, que os produtos plásticos freqüentemente presentes nas modernas construções, tanto qualitativa quanto quantitativamente, provavelmente estejam ampliando potencialmente o risco-incêndio das modernas edificações, principalmente a partir das construções erguidas a partir do final da primeira metade do Século XX.

O próprio *retrofit* atual e bastante utilizado pelo mercado da construção civil brasileira pode estar levando a uma maior participação de materiais e tecnologias à base de hidrocarbonetos (plásticos) nessas edificações comerciais. A maior preocupação, e que deve ser realmente considerada, é que estamos utilizando cada vez mais materiais plásticos, oriundos do petróleo, e não temos compensado este maior risco pela implementação de sistemas de segurança modernos para a redução do elevadíssimo risco-incêndio atual, principalmente pelas características de Reação

ao Fogo dos materiais a base de polímeros plásticos, deve de alguma forma ser acompanhado e quantificado.

Algumas ações preventivas de segurança contra incêndios, que podem eliminar, ou ao menos mitigar, estes altos riscos das modernas edificações comerciais estão listados a seguir:

- 1) evitar ou, ao menos, reduzir a especificação de materiais combustíveis, principalmente de polímeros plásticos;
- 2) utilizar materiais combustíveis que apresentem menores perigos (características intrínsecas), tal como contribuição combustível, propagação de chamas, desprendimento de partículas incandescentes, desenvolvimento de fumaça e geração de substâncias tóxicas;
- 3) ignifugar os materiais combustíveis;
- 4) utilizar sistemas de detecção de incêndios e sistemas de controle e gerenciamento de fumaças de incêndios;
- 5) compartimentar os ambientes de riscos distintos;
- 6) analisar e corrigir a estabilidade estrutural da edificação frente a uma situação de incêndio;
- 7) evitar, por afastamento e/ou isolamento, a propagação de incêndios para a vizinhança, não permitindo uma deflagração.

6 CONCLUSÃO

Assim, concluindo este trabalho, como o risco-incêndio representa a probabilidade da ocorrência de um incêndio, enquanto que a reação ao fogo é definida pela resposta de um material quanto a sua contribuição ao incêndio no qual ele se encontra exposta (ISO 8421-1, 1987), através da sua característica de contribuição combustível, de propagação de chamas, de desprendimento de partículas incandescente, de desenvolvimento de fumaça e de emissão de substâncias tóxicas, a presença de polímeros plásticos (hidrocarbonetos a base de petróleo), em qualidade (grande variedade) e quantidade (ampliação do seu uso), indica que o risco-incêndio também é função da reação ao fogo (comportamento) dos

materiais plásticos nas edificações comerciais, causando impactos sobre a segurança humana e o meio ambiente.

Durante a pirólise e a queima dos materiais plásticos em edificações comerciais ocorre um impacto direto no tempo de resposta (escape, resgate e combate) devido as suas características de reação ao fogo, principalmente pela energia liberada na oxidação das suas ligações químicas (poder calorífico inferior) e devido a sua maior velocidade de queima (taxa de combustão), frente às características das madeiras, já que são os dois únicos materiais orgânicos combustíveis utilizados nas modernas construções. Assim sendo, o tempo de resposta nas modernas edificações comerciais diminui devido a uma maior utilização de materiais combustíveis, a base de polímeros plásticos.

Entendemos que a segurança humana não pode de forma alguma ficar à margem do conforto ambiental, da estética, da funcionalidade e da conservação de energia, as quais são muito bem observadas (atendidas) nos projetos atuais. O direito à vida deve estar sempre em primeiro lugar, e ratificado conscientemente pelas decisões dos profissionais de arquitetura, de engenharia civil e de segurança do trabalho. Uma pessoa que entra viva em uma edificação, não pode sair de outra forma, se não com a sua integridade física, mental e moral, conservada.

REFERÊNCIAS

AKTION 1005. Disponível em: < <http://www.deathcamps.org/occupation/1005.html>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 906**: Test method for heat and visible smoke release rates for materials and products. 1999.

_____. **ASTM E 84**: Test method for surface burning characteristics of building materials. 2004.

_____. **ASTM E 162**: Test method for surface flammability of materials using a radiant heat energy source. 2002.

_____. **ASTM E 662**: Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials. 2003.

_____. **ASTM E 1678**: Test method for measuring smoke toxicity for use in fire hazard analysis. 2002.

ARAÚJO, S. B. de. Comportamento humano nos incêndios. **Revista Segurança**, [S.l.] n.188, 2009. Disponível em: <<http://www.revistaseguranca.com>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 9442/86**: Materiais de Construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, [1986].

_____. **NBR 11300/90**: Determinação da densidade de fumaça emitida em condições definidas de queima. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **NBR 12139/91**: Determinação do índice de toxidez dos gases desenvolvidos durante a combustão dos materiais poliméricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

BOLETIM TÉCNICO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP – Série BTIPCC.
Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP – DECC, 1998.
26p.

CAPELLO, G. Certificação à vista. **Arquitetura & Construção**, p.38-42; 2007.

CETESB. Disponível em: <<http://www.sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/produto>>.
Acesso em: 03/05/2011.

DIAZ, Maria. et al. **O Prejuízo Oculto do Fogo**: custos econômicos das queimadas e incêndios. Disponível em :< <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/mfogo.pdf>>.
Acesso em: 20 jan. 2011.

EUROCLASSES. Disponível em:<<http://www.serc-urope.com/serc/portugues/ppci/S0-euroclasses%20de%20Reacao%20ao%20Fogo.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

FIRE TEST PROCEDURES CODE: **FTPC Part 1**: Non – combustibility test. 2010.

FIRE TEST PROCEDURES CODE: **FTPC Part 2**: Smoke and toxicity test. 2010.

FIRE TEST PROCEDURES CODE: **FTPC Part 5**: Test for surface flammability. 2010.

FIRE TESTS ON BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES. **BS 476 Part 6**:
Method of test for fire propagation for products. 1989.

_____. **BS 476 Part 7**: Method for classification the surface spread of flame of products.1997.

FIRE TESTING TO BUILDING MATERIAL. **DIN4102**: Fire behavior of building materials and elements. 2009.

_____.**NF P92-501**: Radiation test used for rigid materials, or for material on rigid substrates, 1995.

GODISH, T. **Air Quality**. Chelsea, MI: Lewis Publisher, 1991.

GRETENER. Disponível em: <[http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/wp-content/artigos/Metodo de Gretener.pdf](http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/wp-content/artigos/Metodo%20de%20Gretener.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2011.

HALL JR., JOHN R. **Burns, toxic gases, and other hazards associated with fires:** deaths and injuries in fire and non-fire situations. Quincy; MA: National Fire Protection Association. 2001. 57p.

HERTZBERG, T., TUOVINEN, H., BLOMQVIST, P. **Measurement of thermal properties at elevated temperatures:** Brandforsk project 328-031. [S.l.]: SP Swedish National Testing and Research Institute, 2005.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **IMO A. 799 (19):** Non – combustibility of materials. 1995.

_____. **IMO A. 653 (16):** Recommendation on improved fire test procedures for surface flammability of bulkhead, ceiling, and such finish materials. 2009.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 8421-1:** Fire protection, vocabulary, general terms and phenomena of fire, 1987.

_____. **ISO 1182/90:** Fire tests – Building materials – Non – combustibility test. 1990.

_____. **ISO 1716/73:** Building materials – Determination of calorific potential. 1973

_____. **ISO 5660/93:** Fire tests – Reaction to fire – Part 1: Rate of heat release from building products (cone calorimeter method). 1993

_____. **ISO 5658/97:** Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 1: Guidance on flame spread. 1997.

_____. **ISO 5659/94:** Smoke generation – Determination of specific optical density by a single chamber test and toxicity. 1994.

_____. **ISO 5924/89:** Fire tests – Reaction to fire – Smoke generated by building products (dual – chamber test). 1989.

_____. **ISO 13344/96:** Determination of the lethal toxic potency of fire effluents. 1996.

ISOVER. Disponível em: <<http://www.isover-technical-insulation.com/HVAC-INSULATION/Performance/Fire-safety/Reaction-to-fire>>. Acesso em: 05 maio 2011;

JACKSON T. **Preocupações Materiais**: poluição, lucro e qualidade de vida. Routledge: Londres, 1996.

KUPCHELLA, C.E.; HYLAND, M.C. **Environmental Science**: living within the System of Nature. 3th ed. London: Prentice-Hall International Editions, 1993

LEONARD, A. **The Story of Stuff**. [Cambridge]: Free Ranger Studios, 2007. 1 video sonoro (ca 8min.).

LING., L.J., CLARK, R.F., ERICKSON, T.B., TRESTAIL III, J.H. **Segredos em Toxicologia**. Porto Alegre: ARTMED Editora, 2005.

LUSCOMBE, D. **Dioxinas e Furanos**. São Paulo: Greenpeace, 1999.

MACINTYRE, A.J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. São Paulo: LTC, 1990.

MARIANO, J.B. **Impactos Ambientais do refino de petróleo**, Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

MATOS, A.T. de. **Poluição Ambiental**: impactos no meio físico. Viçosa: Editora UFV, 2010.

MEIDL, J.H., **Explosive and Toxic Hazardous Material**. Beverly Hills, CA: Glencoe Press, 1970.

MENEZES, E.M. DE, SILVA, M.J. da. **A Enfermagem no Tratamento dos Queimados**. São Paulo: EPU, 1988.

MITIDIERI, M.L.; IOSHIMOTO, E. **Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo**. [São Paulo: s.n.], 1998.

MOTA, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997;

NIOSH, Pocket Guide to Chemical Hazards – U.S. Department of Health and Human Service, Washington, D.C., September 1997, 440 p.

NOSSO FUTURO. Disponível em:< <http://www.nossofuturoroubado.com.br/ao.html>>. Acesso em: 14 abr. 2011.

OLIVEIRA, R.N. **Certificação Ambiental na Construção Civil: LEED**. 2009. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2009.

PARKER, A. **Industrial Air Pollution Handbook**. London: McGraw-Hill, 1977.

PURSER, D. A. Toxicity Assessment of Combustion Products, In: **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. Quincy, MA: National Fire Protection Association 2002.

READER`S DIGEST. **Incêndio**. 1998. (Série Fúria da Natureza).

REVISTA INCÊNDIO. Equipex. fev/mar. 2011. Disponível em: < <http://www.cipanet.com.br/revistaincendio>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

ROCKWOOL. Disponível em<[http:// www.rockwool.com/fire+safety/pollution](http://www.rockwool.com/fire+safety/pollution)>. Acesso em: 05 maio 2011.

SANTO, K. L. do Espírito. **Qualidade do projeto do prédio da FAU/UFRJ: considerações sobre a segurança ao fogo**. 2004. 152p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SÃO FRANCISCO. Disponível em:<[http:// www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/plastico.php](http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/plastico.php)>. Acesso em: 08 maio 2011.

SBI. Disponível em:<[http:// www.old.fseonline.co.uk/articles.asp?articleewcomm1](http://www.old.fseonline.co.uk/articles.asp?articleewcomm1)>. Acesso em: 08 fev. 2009.