

2019

Manual de Perícia em Incêndios e Explosões I - Conhecimentos Gerais



Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Departamento de Segurança Contra Incêndio

Diretoria de Investigação de Incêndio

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO
DIRETORIA DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO**

**MANUAL DE PERÍCIA EM INCÊNDIOS E EXPLOSÕES
CONHECIMENTOS GERAIS**

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
BRASÍLIA
2019**

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO
DIRETORIA DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO

M294 Manual de perícia em incêndios e explosões: conhecimentos gerais / Diretoria de Investigação de Incêndio – Brasília : Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2019.

310 p. : il. color.

ISBN: 978-65-81664-00-8

1. Incêndios - investigação. 2. Prevenção de incêndios - legislação. 3. Engenharia de materiais. I. Distrito Federal (Brasil). Corpo de Bombeiros.

CDU 614.84

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO
DIRETORIA DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO

MANUAL DE PERÍCIA EM INCÊNDIOS E EXPLOSÕES
CONHECIMENTOS GERAIS

Comissão de Elaboração

Cel QOBM/Compl. George Cajaty Barbosa Braga;
Cel QOBM/RRm. Epaminondas Figueiredo de Matos;
Cel QOBM/RRm. Sérgio Ricardo Souza Santos;
Ten Cel QOBM/Comb. Helen Ramalho de Oliveira;
Ten Cel QOBM/Comb. Sérgio Ivan Menon Vilas Boas;
Ten Cel QOBM/Comb. Antônio Álvaro Rigaud De Melo Júnior;
Ten Cel QOBM/Compl. Maria Luiza Spinelli Parca Tedeschi;
Maj QOBM/Comb. Rissel Francisco Coelho Cardock Valdez;
Maj QOBM/Comb. Marcelo Dantas Ramalho;
Maj QOBM/Compl. Bruno Carvalho Lima de Alencar Matos;
Maj QOBM/Comb. Wagner Ribeiro Palhano;
Maj QOBM/Comb. Fernanda De Andrade Reis Tavares;
Cap QOBM/Comb. Pablo Federico Bairgorri;
Cap QOBM/Comb. Alisson Bernardi de Barros;
Cap QOBM/Comb. Bárbara Sabrine Barros De Oliveira;
Cap QOBM/Comb. Ana Brito do Amaral Cotrim.

Revisão Ortográfica

2º Ten. QOBM/Ref. MSB Manoel José da Silva Matos.

Comissão de Revisão

Cel. QOBM/Comb. José Fernandes Motta Junior;
Ten-Cel. QOBM/Comb. Rogério Alves Dutra;
Ten-Cel. QOBM/Comb. Mônica De Mesquita Miranda;
Ten-Cel. QOBM/Comb. Cristian Caixeta Fernandes;
Maj. QOBM/Comb. Igor Muniz da Silva;
Cap. QOBM/Comb. Mario de Vasconcelos Pereira Dias;
Cap. QOBM/Comb. João Henrique Correa Pinto;
Asp. QOBM/Compl. Bruno Ferreira Soares.

Brasília, 25 de outubro de 2019.

CARLOS EMILSON FERREIRA DOS SANTOS – Cel QOBM/Comb.
Comandante-Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Calor de combustão de alguns combustíveis - Os combustíveis estão em estados mais estáveis na CNTP e os produtos no estado gasoso	48
Figura 2 - Estrutura da madeira	51
Figura 3 - Estrutura do pvc	52
Figura 4 - estrutura do poliuretano	52
Figura 5 - Diferentes maneiras que o vapor inflamável pode ser gerado de um combustível sólido	55
Figura 6 - Gráfico esquemático da queima de um sólido	57
Figura 7 - Gráfico da temperatura do líquido em função da profundidade .	58
Figura 8 - esquema da zona quente se propagando pelo tanque até atingir a água depositada no fundo e causar o boilover	59
Figura 9 - Comparação entre as classificações brasileira (NR 20) e norte-americana (NFPA 30) a respeito de líquidos inflamáveis	61
Figura 10 - Esquematização da pressão de vapor do líquido	62
Figura 11 - exemplificação da relação entre pressão de vapor e volatilidade	63
Figura 12 - relação entre limite de inflamabilidade, temperatura e concentração do combustível	66
Figura 13 - Frações do petróleo.....	71
Figura 14 - Curva de crescimento em temperatura de um material com o tempo.	73
Figura 15 - Representação gráfica do tamanho e profundidade de uma poça de querosene e gasolina em superfície não porosa	76
Figura 16 - Lâmpada alógena profissional	81
Figura 17 - Fotos da propagação do fogo devido ao cigarro sobre a placa de papel prensado. A seta identifica o cigarro	84
Figura 18 - Gráfico da evolução da temperatura em uma placa de papel prensado devido à queima de um cigarro	85
Figura 19 - Gráfico do tempo de ignição (Exercício 3)	93

Figura 20 - Propagação vertical da chama a favor e contra o fluxo de ar	97
Figura 21 - Propagação lateral da chama a favor e contra o fluxo de ar	97
Figura 22 - Aparato de teste da ASTM E 1321	98
Figura 23 - Curva da Taxa de liberação de calor pelo tempo para diversos tipos de mobiliário.....	102
Figura 24 - Representação esquemática de um cone calorímetro	107
Figura 25 - Fase inicial de um incêndio.	111
Figura 26 - Fase crescente (início e fim) de um incêndio.	112
Figura 27 - Imagem de um incêndio totalmente desenvolvido	112
Figura 28 - Comparação do comportamento do incêndio com mobiliário antigo e com moderno.....	114
Figura 29 - Gráfico da média entre a temperatura nas camadas superiores e inferiores nos ambientes com mobiliário novo (experimento 1) e antigo (experimento 2)	115
Figura 30 - Padrões mais comuns de queima	118
Figura 31 - Padrão de V invertido ou triângulo	119
Figura 32 - Queima com pouca liberação de energia gerando um padrão V invertido ou triângulo.....	119
Figura 33 - Padrão coluna	120
Figura 34 - Padrão coluna de queima em situação real.....	120
Figura 35 - Padrão de queima em V ou cone	121
Figura 36 - Padrão de queima em U	121
Figura 37 - Padrão em V e em U	122
Figura 38 - Degradação da mesa (superfície horizontal)	123
Figura 39 - Marca de queima no teto	123
Figura 40 - Degradação na estrutura metálica de sustentação do forro	124
Figura 41 - Degradação da superfície horizontal do mobiliário	124
Figura 42- Marca de queima limpa na parede.....	125
Figura 43 - Vidro derretido após um incêndio	126
Figura 44 - Derretimento do alumínio das rodas de um veículo devido a um incêndio florestal	126
Figura 45 - Plumo de queima sob efeito da ventilação.....	127

Figura 46 - Influência da ventilação nas marcas de queima. Simulação computacional realizada em um incêndio real periciado pelo CBMDF	128
Figura 47 - Influência da criação nas marcas de queima devido à ventilação natural (porta aberta). Simulação computacional realizada em um incêndio real periciado pelo CBMDF.....	129
Figura 48 - Croqui do local	130
Figura 49 - Marcas de queima em incêndio debelado 40 segundos após a generalização do incêndio (flashover)	131
Figura 50 - Marca de queima no incêndio debelado 2 minutos e 30 segundos após a generalização do incêndio (flashover)	132
Figura 51 - Perfil do fluxo de calor nas superfícies 12 segundos após a generalização do incêndio (flashover) debelado após 2 minutos e 30 segundos	132
Figura 52 - Marcas de queima no ambiente nos tempos de 40 segundos (a) e 2 minutos e 30 segundos (b) após a generalização do incêndio (flashover)	133
Figura 53 - Marcas de queima em um ambiente pós-generalização do incêndio.....	134
Figura 54 - Representação do fluxo de ar que entra pela porta	135
Figura 55 - Graus de liberdade	144
Figura 56 - Vínculos de apoio	144
Figura 57 - Caminho do carregamento	145
Figura 58 - Colapso progressivo.....	146
Figura 59 - Colapso de marquise	147
Figura 60 - Traço de concreto	151
Figura 61 - Alguns tipos de aço e suas composições químicas.....	154
Figura 62 - Classificação das cerâmicas quanto à resistência à abrasão	159
Figura 63 - Resistência ao fogo.....	168
Figura 64 - Curva da Temperatura versus tempo em um incêndio real.....	169
Figura 65 - Efeito sobre o chuveiro automático no desenvolvimento do incêndio.....	170

Figura 66 - Curva modelo para o Incêndio Padrão.....	172
Figura 67 - Curva padrão de hidrocarbonetos	172
Figura 68 - Temperatura máxima na estrutura	173
Figura 69 - Curva modelo no incêndio padrão de uma estrutura	174
Figura 70 - Valores de TRRF	175
Figura 71 - Comparativo entre as curvas modelo e as curvas reais	175
Figura 72 - Pontos de fusão de alguns materiais	177
Figura 73 - Flechas em vigas de concreto submetidas a elevadas temperaturas	188
Figura 74 - Ciclo Operacional Completo do CBMDF	193
Figura 75 - O método científico.....	207
Figura 76 - O investigador concluiu que a zona de origem foi a sala de um apartamento. A partir do padrão de queima na parede, o foco inicial foi definido como a região sobre o sofá	212
Figura 77 - A zona de origem foi a cozinha de um apartamento. O foco inicial situado sobre a bancada foi determinado a partir do padrão de queima na parede (cone truncado)	213
Figura 78 - Croqui do incêndio ocorrido em uma clínica odontológica. Nele, verifica-se que fogo começou na sala de esterilização	214
Figura 79 - Durante a avaliação inicial o perito solicitou apoio do órgão competente ao verificar há presença de uma vítima morta.....	218
Figura 80 - A marca de queima na geladeira permitiu ao perito concluir que o quarto foi a zona de origem do incêndio	223
Figura 81 - O queima da porta e as marcas encontradas no teto indicaram ao perito que a zona de origem foi o ambiente situado atrás da porta (cozinha da residência)	224
Figura 82 - Os padrões de queima coletados permitiram ao investigador concluir que a zona de origem foi o quarto da residência (seta à direita)	225
Figura 83 - Cenário do incêndio antes do início da etapa de escavação ..	232
Figura 84 - Equipamento elétrico encontrado durante uma escavação	233

Figura 85 - A seta indica a ocorrência de um fenômeno termelétrico em um dos plugs da tomada.....	233
Figura 86 - Sistemas de proteção elétrica da edificação	234
Figura 87 - Recipiente de líquido inflamável encontrado no quarto de uma residência	234
Figura 88 - Ponto de energia elétrica que foi encontrado após a escavação	235
Figura 89 - A curva mostra que a queima ocorreu da direita para esquerda	235
Figura 90 - Cenário de uma cozinha antes da reconstrução	236
Figura 91 - Cenário após reconstrução total da cozinha.....	237
Figura 92 - A câmera de vídeo do circuito de segurança permitiu ao perito estabelecer a linha de tempo. As setas indicam o local e o horário do início do incêndio	238
Figura 93 - Bulbo “estourado” de uma lâmpada. A seta indica o sentido de propagação do calor.....	240
Figura 94 - Análise das marcas de queima em um armário de escritório revelam a intensidade do fogo no local	241
Figura 95 - Após reconstrução de um tapete, a análise do dado sugere a utilização de líquido inflamável no incêndio	242
Figura 96 - As setas apontam duas marcas de combustão: a queima na parede sugere que o fogo tenha iniciado atrás do sofá, enquanto a marca no teto sugere que a origem do incêndio foi sobre a prateleira	243
Figura 97 - Queima total de uma residência: origem indeterminada.....	246
Figura 98 - Incêndios no equipamento de ar condicionado.....	252
Figura 99 - Incêndio no detector de presença instalado em uma escada enclausurada protegida.....	253
Figura 100 - Um palito de fósforo utilizado como fonte de ignição	253
Figura 101 - Capacete Gallet F2	268
Figura 102 - Luvas de proteção	268
Figura 103 - Bota coturno	269

Figura 104 - Máscaras	269
Figura 105 - Casaco e calça de proteção	270
Figura 106 - Sinalização e iluminação	270
Figura 107 - Kit de sinalização	271
Figura 108 - Balão de Iluminação	271
Figura 109 - Cilibrim	272
Figura 110 - Lanterna	272
Figura 111 - Extensão elétrica	272
Figura 112 - Equipamentos gerais de escavação	273
Figura 113 - Equipamentos gerais de corte	273
Figura 114 - Equipamento de filmagem e fotografia	274
Figura 115 - Placas para legendar fotos	274
Figura 116 - Trena digital	275
Figura 117 - Trena manual	275
Figura 118 - Roda de medição	275
Figura 119 - Paquímetro	275
Figura 120 - Multímetros	276
Figura 121 - GPS portátil e veicular	276
Figura 122 - Instrumentos gerais para registro manual	277
Figura 123 - Kit de primeiros socorros	277
Figura 124 - Multímetro de bancada	278
Figura 125 - Fonte de tensão	279
Figura 126 - Estereomicroscópio	280
Figura 127 - Cromatógrafo a gás	280
Figura 128 - Espectrômetro de massa	281
Figura 129 - Espectrômetro de infravermelho	282
Figura 130 - Termogravímetro	282
Figura 131 - Mufla	283
Figura 132 - Balança analítica	283
Figura 133 - Folha ou papel alumínio	285
Figura 134 - Recipientes de metal com tampa	285
Figura 135 - Potes de vidro com tampa	285

Figura 136 - Envelopes plásticos	286
Figura 137 - Saco de papel	286
Figura 138 - Sacos plásticos.....	287
Figura 139 - Comparação dos componentes da máquina fotográfica com olho humano	288
Figura 140 - Sensor fotossensível	289
Figura 141 - Exemplos de câmeras amadoras.....	290
Figura 142 - Erro de paralaxe	290
Figura 143 - Espelhos que reduzem o erro de paralaxe nas câmeras digitais	291
Figura 144 - Diferentes objetivas que podem ser acopladas nas câmeras profissionais	292
Figura 145 - Conjunto de lentes que compõe uma objetiva	293
Figura 146 - Resultados das imagens obtidas das diferentes distâncias focais.....	294
Figura 147 - Objetiva normal.....	295
Figura 148 - Objetivas angulares – olho de peixe.....	295
Figura 149 - Imagem obtida da objetiva angular	296
Figura 150 - Imagem da esquerda foi obtida da objetiva normal, enquanto a imagem da direita foi obtida da objetiva angular.....	296
Figura 151 - Objetivas angulares – grande-angular.....	297
Figura 152 - Comparação de imagem obtida da objetiva normal (interna) e da objetiva angular (externa)	297
Figura 153 - Teleobjetivas.....	298
Figura 154 - Imagem obtida da teleobjetiva: ampliação e aproximação do objeto.....	298
Figura 155 - Imagem obtida da teleobjetiva: ampliação e aproximação do objeto.....	299
Figura 156 - Objetivas macro	299
Figura 157 - Imagem obtida da objetiva macro: objetos bem pequenos....	300
Figura 158 - Imagem obtida da objetiva macro: objetos pequenos (traço de fusão)	300

Figura 159 - Diversas objetivas que podem compor a objetiva zoom	300
Figura 160 - Níveis de abertura do diafragma	301
Figura 161 - Comparação em níveis de exposição do sensor de luz	302
Figura 162 - Obturador aberto (esquerda) e obturador fechado (direita) ...	303
Figura 163 - Velocidades do obturado	303
Figura 164 - Imagens de diferentes velocidades do obturador - aumentando da direita para a esquerda	304
Figura 165 - Imagens de diferentes velocidades do obturador	304
Figura 166 - Imagens obtidas de diferentes controles de ISO	305
Figura 167 - Posicionamento da câmera: ambas as mãos devem ser empregadas – uma segura a câmera e a outra controlar a objetiva.....	306
Figura 168 - Emprego de fundo branco para destacar o objeto alvo.....	306
Figura 169 – Tripé	307
Figura 170 - Regulagem de foco	307
Figura 171 - Enquadramento da montanha como objeto principal da imagem	308
Figura 172 - Mudança de ângulo de visão para inserir a maior quantidade de informação do objeto.....	308
Figura 173 - Direcionamento do objeto na imagem	309
Figura 174 - Sombra na imagem	309
Figura 175 - Dedo à frente da objetiva no momento da captura da imagem	310

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Calor na formação de algumas substâncias.....	47
Tabela 2 - Temperatura de ebulição dos líquidos em ordem crescente de polaridade	68
Tabela 3 - Estimativa da temperatura sobre algumas fontes de calor	79
Tabela 4 - Temperatura de ignição dos líquidos combustíveis em uma superfície aquecida	81
Tabela 5 – Principais fontes de ignição dos incêndios residenciais nos EUA ...	86
Tabela 6 – Fluxo de calor crítico e tempo de ignição de alguns materiais.....	89
Tabela 7 - Propriedades sobre ignição de alguns materiais comuns.....	89
Tabela 8 - Dados de propagação lateral da chama pela ASTM E 1321	99
Tabela 9 - Valores típicos na velocidade de propagação da chama	101
Tabela 10 – Taxa máxima de queima de massa por unidade de área.....	104
Tabela 11 – Calor efetivo de combustão	105

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	1
LISTA DE TABELAS	9
SUMÁRIO.....	10
APRESENTAÇÃO	14
I. PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO POR MEIO DA RETROALIMENTAÇÃO	16
1. A IMPORTÂNCIA DA RETROALIMENTAÇÃO PARA A DINVI.....	16
2. OS ESTÁGIOS DA RETROALIMENTAÇÃO	16
3. FATORES DE SUCESSO PARA A RETROALIMENTAÇÃO	18
4. AÇÕES DE RETROALIMENTAÇÃO DA DINVI	21
5. RELATÓRIO DE RETROALIMENTAÇÃO.....	22
II. LEGISLAÇÃO APLICADA À PERÍCIA EM INCÊNDIO	24
1. A COMPETÊNCIA CONSTITUCIONAL GARANTIDA AO CBMDF	24
2. A COMPETÊNCIA GARANTIDA AO CBMDF.....	26
3. A COMPETÊNCIA ORGÂNICA DA DINVI	29
4. REFERÊNCIAS.....	32
III. ELABORAÇÃO DE LAUDO PERICIAL.....	34
IV. CIÊNCIA DO FOGO	44
1. NATUREZA DA REAÇÃO: COMBUSTÃO E REAÇÃO EM CADEIA	44
1.1. Calor de Combustão	46
1.2. Produtos da Combustão	48
1.3. Comportamento físico-químico da chama:.....	50
2. NATUREZA DOS COMBUSTÍVEIS	50
2.1. Natureza dos combustíveis: SÓLIDOS.....	50
2.2. Natureza dos combustíveis: LÍQUIDOS E GASES.....	57
2.2.1. Armazenamento x padrão de queima.....	57
2.2.2. Ignição dos líquidos.....	60
2.2.2.1. Pressão de vapor.....	61
2.2.2.2. Forças intermoleculares.....	63
2.2.2.3. Densidade relativa de vapor	65
2.2.2.4. Limites de Inflamabilidade	66
2.2.2.5. Solubilidade.....	66
2.2.2.6. Ponto de ebulição	67
2.2.3. Hidrocarbonetos	68
2.2.3.1. Petróleo:.....	69
3. IGNIÇÃO E COMBUSTÃO DOS MATERIAIS.....	71

3.1.	Processo de ignição de materiais.....	72
3.2.	Principais fontes de ignição	77
3.2.1.	Fósforo.....	77
3.2.2.	Isqueiros	77
3.2.3.	Velas.....	78
3.2.4.	Arco elétrico	79
3.2.5.	Objetos e superfícies aquecidas:.....	79
3.2.6.	Fricção	82
3.2.7.	Calor Radiante	83
3.2.8.	Reação química	83
3.2.9.	Cigarro	83
3.2.10.	Chama aberta: mais frequente na cozinha, ou mesmo em ambiente com velas	85
3.3.	Cálculo do tempo de ignição.....	86
3.4.	Processo de propagação da chama.....	95
3.5.	Taxa de liberação de calor e carga de incêndio	101
4.	DINÂMICA DO INCÊNDIO	109
4.1.	Fases do incêndio	110
4.2.	Incêndio em compartimentos	113
4.3.	Comportamento da fumaça	116
5.	MARCAS DE QUEIMA.....	117
5.1.	Introdução	117
5.2.	Padrão V invertido ou triângulo	118
5.3.	Padrão coluna	119
5.4.	Padrão V ou em Cone.....	120
5.5.	Outros padrões.....	122
5.6.	Fatores que podem alterar o padrão de queima	127
5.6.1.	Ventilação.....	127
5.6.2.	Generalização do incêndio (flashover)	129
5.7.	Mitos e concepções equivocadas na investigação de incêndios	135
6.	REFERÊNCIAS.....	136

V. ESTRUTURAS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO 139

1.	MORFOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES CIVIS.....	139
1.1.	Estrutura	139
1.1.1.	Sistemas Estruturais.....	143
1.1.2.	Acidentes Estruturais	146
1.2.	Vedações.....	147
1.3.	Elementos de acabamento ou revestimento.....	149
2.	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	150
2.1.	Concreto	151
2.2.	Aço	154
2.3.	Madeira	157
2.4.	Cerâmica	158
2.5.	Tintas.....	159

2.6.	Vidro	160
2.7.	Plásticos	161
2.8.	Alumínio	162
2.9.	Cobre	162
2.10.	Gesso	163
3.	COMPORTAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	163
3.1.	Comportamentos Dos Materiais Sob Ação Do Fogo	178
3.1.1.	Comportamento do concreto armado no incêndio:	180
3.1.2.	Comportamento do aço no incêndio	182
3.1.3.	Comportamento das estruturas sob ação do fogo	185
4.	REFERÊNCIAS	188

VI. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO 190

1.	LEGISLAÇÃO RELACIONADA AO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO (SPCIP)	190
2.	IMPORTÂNCIA DA INTER-RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DO CBMDF ...	192
3.	EDIFICAÇÕES	194
4.	A IMPORTÂNCIA DO PROJETO DE ARQUITETURA E DE INCÊNDIO	195
5.	SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO	198
5.1.	Proteção passiva	198
5.2.	Proteção ativa	198
6.	NORMAS TÉCNICAS DO CBMDF	199
7.	PRINCIPAIS SISTEMAS A SEREM OBSERVADOS PELO PERITO EM INCÊNDIO E EXPLOSÕES	200
8.	REFERÊNCIAS	201

VII. METODOLOGIA CIENTÍFICA PARA INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO 203

1.	INTRODUÇÃO	203
2.	DEFINIÇÃO DE TERMOS	204
3.	MÉTODO CIENTÍFICO	206
4.	DETERMINAÇÃO DA ORIGEM	209
4.1.	Metodologia	215
4.1.1.	Reconhecimento da necessidade e definição do problema	215
4.1.2.	Coleta dos dados	216
4.1.2.1.	Avaliação inicial	217
4.1.2.2.	Exame do exterior da edificação	219
4.1.2.3.	Exame do interior	220
4.1.2.4.	Exame da zona de origem	226
4.1.3.	Análise dos dados	238
4.1.4.	Desenvolvimento de hipóteses	242
4.1.5.	Teste das hipóteses	244
5.	DETERMINAÇÃO DA CAUSA	247
5.1.	Metodologia	249

5.1.1. Reconhecer a necessidade e definir o problema	249
5.1.2. Coletar os dados	250
5.1.3. Analisar os dados	254
5.1.4. Elaborar as hipóteses	255
5.1.5. Testar as hipóteses	256
5.1.6. Selecionar a hipótese final	257
6. PROTOCOLO DE CAMPO	259
6.1. Antes do deslocamento	259
6.2. No local	259
6.2.1. Antes de examinar a edificação	259
6.2.2. Exame do exterior à edificação	260
6.2.3. Exame do interior à edificação	260
6.2.4. Exame sobre o interior da zona de origem	261
6.2.4.1. Durante a coleta inicial	261
6.2.4.2. Durante a escavação e reconstrução	262
6.2.4.3. Durante a coleta de evidências	263
6.3. Saída do local	263
7. REFERÊNCIAS	264

VIII. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PERÍCIA..... 265

1. INTRODUÇÃO	265
1.1. Equipamentos de segurança	267
1.2. Equipamentos de Proteção Coletiva	270
1.3. Equipamentos de campo	271
1.4. Equipamentos laboratoriais	278
2. COLETA DE AMOSTRAS	284
3. FOTOGRAFIA FORENSE	287
3.1. Classificação das câmeras fotográficas	288
3.2. Objetiva	292
3.3. Abertura do diafragma	301
3.4. Obturador	302
3.5. ISO	304
3.6. Como obter uma boa fotografia	305

APRESENTAÇÃO

O presente manual de perícia nasceu da vontade dos peritos em incêndios e explosões do CBMDF em consolidar os conhecimentos existentes, muitos deles ainda de forma tácita, transformando-os em conhecimentos explícitos, corrigindo distorções e fortalecendo a doutrina.

Por meio do esforço e dedicação de cada integrante, foram delineados os assuntos considerando indispensáveis à boa atuação dos peritos em incêndios e explosões.

Baseado no que há de mais moderno mundialmente na investigação de sinistros, e, em especial, nos conhecimentos adquiridos nos mais de 40 anos que o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal vem realizando perícias em incêndio e explosão, este manual pretende ser uma obra robusta e atual no que há de melhor no assunto.

Nesta primeira parte, o manual apresenta capítulos com os conhecimentos gerais para a realização da investigação de incêndio.

O capítulo sobre retroalimentação se destina a esclarecer o leitor sobre a importância da utilização dos dados coletados da perícia como forma de aprimoramento institucional contínuo, melhorando suas técnicas e táticas de combate a incêndio, atuando na evolução das normas de segurança e envolvendo todos os segmentos da Corporação.

O capítulo sobre legislação visa orientar os peritos em incêndios e explosões sobre o embasamento jurídico que lhe permite exercer, com segurança e destreza, a sua atividade pericial.

O capítulo sobre elaboração de laudo pericial se destina a mostrar como deve ser preenchido um laudo dentro de requisitos indispensáveis à sua boa compreensão e levantamento futuro de dados.

O capítulo sobre ciência do fogo apresenta o que há de mais moderno na química da combustão e processos físicos do incêndio, na análise de vestígios de incêndio, principalmente quando se trata de comportamentos extremos do fogo, situações que requerem do perito mais atenção e compreensão do ocorrido. Alguns assuntos sobre ciência do fogo também podem ser encontrados no Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF, em especial no Módulo 1 – Comportamento do Fogo.

Já o capítulo sobre estruturas e materiais de construção foi redigido com a finalidade de mostrar aos peritos como os materiais em uma edificação se comportam quando submetidos ao calor e às chamas, permitindo a coleta de vestígios mais acurada no cenário do sinistro.

O capítulo sobre Sistema de Proteção Contra Incêndio e Pânico visa introduzir os peritos em incêndios e explosões na compreensão das normas que são exigidas das edificações no momento de sua concepção, a fim de garantir um ambiente mais seguro para a população envolvida.

O capítulo sobre metodologia tem por objetivo orientar o trabalho dos peritos em incêndios e explosões na investigação da causa do incêndio, baseado no que há de mais moderno mundialmente e embasado em metodologia científica, a fim de diminuir, ao máximo, o risco de erro na produção de uma perícia, bem como produzir os dados necessários para retroalimentar o sistema de modo efetivo.

Já o capítulo sobre equipamentos visa orientar os peritos em incêndios e explosões sobre os instrumentos que eles podem e devem dispor para realizar a perícia com qualidade, aproveitando ao máximo seus recursos, dentro e fora do cenário de incêndio.

Brasília-DF, 25 de outubro de 2019.

I. PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO POR MEIO DA RETROALIMENTAÇÃO

1. A IMPORTÂNCIA DA RETROALIMENTAÇÃO PARA A DINVI

A legislação atual do CBMDF prevê que a Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) realize, não somente a investigação e a perícia em incêndio, os exames laboratoriais, estudos e pareceres técnicos afetos a essa área, mas também avalie as atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas no socorro.

Assim sendo, é factível observar que a DINVI não foi concebida, exclusivamente, para realizar perícia em incêndio e explosões, com objetivo único de descobrir sua causa.

Estudando, detalhadamente, a legislação que regulamenta a atividade, é possível concluir que não é possível cumprir todas essas atribuições realizando apenas perícias em incêndio e explosões, com a emissão do respectivo laudo pericial.

Retroalimentação, para fins deste manual, é o procedimento de informar a uma pessoa, grupo ou órgão sobre o desempenho, conduta ou eventualidade executada, objetivando reorientar ou estimular uma ou mais ações determinadas, com a finalidade de elevar o desempenho nas próximas ações de combate ou prevenção de incêndio.

2. OS ESTÁGIOS DA RETROALIMENTAÇÃO

a) Estágio Embrionário - Consiste em ações pontuais referentes ao contato inicial entre órgãos do CBMDF, suas chefias e subordinados, para captação de idéias e apresentação dos atores;

b) Estágio Transacional - Focado em atividades específicas nos pontos em comum na prevenção, fiscalização, combate e investigação em incêndios, fazendo com que haja troca de valores entre os órgãos do CBMDF e a DINVI. Nesse estágio, as potencialidades serão desdobradas e a parceria será ponto importante para as missões e estratégias de cada um dos envolvidos;

c) Estágio Integrativo - No terceiro estágio, o número de colaborações ainda é pequeno, mas crescente, e as ações evoluem para alianças estratégicas, fusão entre as missões, sincronização das estratégias e compatibilidade de valores.

Os envolvidos começam a interagir com mais assiduidade e a natureza das atividades empreendidas conjuntamente se amplia. Os tipos e os níveis dos recursos institucionais usados se multiplicam.

Os estágios podem acontecer, concomitantemente, em cada órgão do CBMDF, separadamente, bem como em conjunto, desde que não seja subtraído nenhum passo.

Para que tal processo funcione, são de extrema importância as parcerias, que são as relações com Órgãos Externos (*stakeholders*¹).

Pode-se dizer que o foco da parceria consistirá na qualidade da relação, na forma em que as organizações com interesses, poderes, recursos e atribuições distintos constroem um espaço onde se comportam como iguais na definição dos objetivos comuns, dos papéis e da contribuição de cada uma delas.

Parcerias com o Poder Judiciário, Delegacias, Seguradoras, Universidades (na área de Engenharia Florestal, Economia Ambiental, Engenharia Mecânica, Engenharia Civil, Física e Química, dentre outras

¹ Atores envolvidos no processo

áreas) e outros Órgãos podem trazer a perícia em incêndio do CBMDF para um novo patamar de conhecimento.

3. FATORES DE SUCESSO PARA A RETROALIMENTAÇÃO

a) Conexão entre a causa da retroalimentação e as pessoas - O sucesso desse acordo dependerá do envolvimento pessoal e emocional das pessoas entre si e o pacto.

Para o andamento da cooperação estratégica, será necessária a existência de tutores internos e comando nas altas lideranças dos *stakeholders*. O engajamento desses membros e o relacionamento entre eles determinarão a aceitação e o vigor da cooperação.

O primeiro e grande desafio da gestão será mobilizar e alimentar esse relacionamento, e o estímulo sequente é fazer a ligação ultrapassar o nível da liderança.

b) Clareza de propósito - Antes de qualquer coisa, os parceiros deverão ter clareza na relação e nas proposições dessa empreitada conjunta.

Para ajudar nessa definição de propósitos e garantir a clareza, a recomendação é que os parceiros potenciais façam, em conjunto e por escrito, uma declaração de propósitos.

Pode-se dizer que a mentalidade cooperativa suplanta a perspectiva do "eles e nós" ou "você e eu", com a perspectiva do "nós em conjunto".

c) Congruência na missão de estratégia e de valores - Como desdobramento da tarefa para elucidação do propósito, é necessário identificar as áreas de alinhamento com as missões, estratégias e valores.

Isso consiste em um dos pontos primordiais a serem discutidos com as partes envolvidas na construção de uma base sólida para a cooperação. O ponto de congruência entre as missões e os órgãos do CBMDF tornar-se-ão o campo para ação cooperativa.

Quanto mais alinhado estiver o propósito com as respectivas missões e estratégias dos colaboradores, mais sólida será a aliança, em face dos contratempos que possam ocorrer durante a parceria.

d) Criação de valor - Nas cooperações focadas em mobilizar e combinar vários recursos e capacidades, há necessidade de que todo esse esforço gere benefícios para os todos envolvidos, em um processo de retroalimentação para a sociedade.

Aqui destaca-se a importância da maneira sistemática em definir, gerar, balancear e renovar o valor. Assim como no PDCA, o questionamento contínuo entre os *stakeholders* é de vital importância, pois, a procura permanente de valor consiste em ser criada uma colaboração conjunta, e não isoladamente pela DINVI.

e) Comunicação entre os parceiros - Uma boa comunicação interna se tornará a base para várias conexões e canais de comunicação entre os órgãos do CBMDF e a DINVI, dada a necessidade de permanente manutenção e atenção.

Um outro ponto a ser levantado refere-se à comunicação externa, divulgando a parceria para que haja um aproveitamento de benefícios e a continuidade da cooperação.

f) Continuidade do aprendizado - Essa relação de parceria deve ser vista como algo dinâmico, um laboratório de aprendizado, e com isso possibilitar a melhoria contínua nos processos do CBMDF.

A inovação e a criatividade devem estar ao lado de práticas padronizadas, gerando comportamentos institucionalizados. Nos acordos, ao combinarem as competências com as missões dos órgãos, se abre novas fronteiras para geração de benefícios mútuos e também aborda, de forma efetiva, as necessidades do CBMDF.

g) Compromisso com a parceria - A aliança estratégica é um relacionamento intenso e de perspectivas para longo prazo. Conforme a parceria avança precisam ser ajustados os compromissos pessoais, institucionais e de recursos.

O processo de cooperação se institucionaliza através de alianças sustentáveis, criam incentivos à cooperação nas estruturas e os incutem na cultura organizacional.

A avaliação na capacidade de cooperação das unidades envolvidas deve considerar vários níveis de manutenção e intercâmbio de recursos para alianças. Dessa forma há necessidade de os parceiros montarem, de maneira cuidadosa, portfólios de cooperação.

h) Gestão do Conhecimento - A estrutura montada para auxiliar os administradores no tratamento de ativos intelectuais necessita proporcionar que esse conhecimento seja adquirido, criado, compartilhado e utilizado para consecução dos objetivos da organização, por meio de um método integrado que vise aumentar a eficiência, bem como melhorar na qualidade e na efetividade da transformação do conhecimento tácito em explícito.

4. AÇÕES DE RETROALIMENTAÇÃO DA DINVI

A retroalimentação da DINVI teve sua implantação efetivada nos anos 2014 e 2015, onde foram definidas as principais ações a serem continuamente adotadas, após vasta discussão entre os militares da diretoria:

a) Análise das fotos e filmagens sobre as ações operacionais do CBMDF - Todas as fotos e filmagens realizadas por órgãos autorizados pelo Comando da instituição são analisadas pela DINVI, com o intuito de obter um padrão de conduta por parte da área operacional do CBMDF.

b) Análise sobre monografias com temas relacionados à prevenção e combate a incêndios apresentadas nos cursos de carreira do CBMDF - A DINVI acompanha as monografias dos cursos de carreira do CBMDF com objetivo de aproveitar as que interessam ao processo de retroalimentação, por meio de um cronograma com os responsáveis pela análise e de um pronunciamento sobre possível implantação na Corporação.

c) Estudos e pesquisas - A DINVI deve apresentar um cronograma de estudos e pesquisas anual, com a apresentação de relatórios para cada estudo realizado, bem como construção de acervo próprio.

d) Análise sobre relação incêndios periciados x vistoria dos locais periciados - Essa análise visa compreender se existe uma relação entre esses fatores, bem como verificar se o CBMDF pode fazer algo para melhorar o sistema de prevenção e combate a incêndio.

e) Acompanhamento do desempenho dos peritos em incêndios e explosões - A DINVI acompanhará este desempenho por meio de fatores como: número de perícias realizadas, causas encontradas, pesquisas realizadas, afastamentos, etc.

f) Serviço de Atendimento ao Cliente - a DINVI avaliará o atendimento prestado pelo CBMDF, por meio de ligação telefônica a, pelo menos, dez pessoas por dia que foram ou não atendidas pela Corporação.

g) Perícias realizadas x Retroalimentação Pericial - Toda perícia realizada, além de ter nos autos a retroalimentação daquele local, traz dados importantes para a retroalimentação do CBMDF que necessitam ser tratados e analisados para serem compilados em formato de relatórios mensais.

Com a melhoria contínua dos processos ao longo do tempo, a DINVI poderá estabelecer outras formas de retroalimentação.

5. RELATÓRIO DE RETROALIMENTAÇÃO

É o relatório elaborado pela DINVI, de caráter reservado, com a participação direta dos Oficiais pertencentes à unidade, contendo o máximo de dados possíveis oriundos das fotos e filmagens, pesquisas e estudos realizados, relação das perícias e vistorias realizadas, análise sobre monografias e testes de extintores apresentados ao CBMDF e outros.

Esse relatório tem como objetivo a melhoria contínua da Corporação, sem nenhum caráter correccional para os setores envolvidos.

É importante ressaltar que o relatório é produzido baseado em situações pontuais, que podem ou não ser condizentes com a realidade geral. Entretanto, mesmo tratando-se de situações esporádicas, se faz necessário um olhar atento para estas falhas no sentido de não se tornarem regra.

O relatório será enviado a todos os órgãos interessados, separadamente, ou seja, cada unidade receberá somente os assuntos que lhes são necessários para melhoria de seus processos. O relatório completo

será remetido ao Chefe do Departamento de Segurança Contra Incêndio (DESEG), Comando Geral, Subcomando e EMG, por meio da cadeia hierárquica.

O relatório de retroalimentação será disponibilizado na página da Corporação, bem como poderá ser apresentado em forma de palestra aos representantes dos órgãos citados na retroalimentação.

A critério do Diretor da DINVI, conhecimento gerado poderá ser remetido, quando for o caso, para outros órgãos normativos e fiscalizadores (IMETRO, IPT, ABNT, etc).

II. LEGISLAÇÃO APLICADA À PERÍCIA EM INCÊNDIO

Sob a ótica do Direito Administrativo, a Constituição Federal de 1988 estabelece a obediência aos princípios da legalidade, da impessoalidade, da moralidade, da publicidade e da eficiência a todos os órgãos que compõem a Administração Pública Direta e Indireta, independente dos poderes e independente se da União, Estados, Distrito Federal ou Municípios.

Ou seja, todos os atos praticados pelas instituições públicas precisam de um arcabouço jurídico-normativo que ampare suas ações, podendo fazer somente o que está expressamente autorizado em lei, cabendo a esse capítulo abordar sua correlação com o trabalho dos peritos em incêndio e explosões, agentes públicos especializados na atividade de investigação desses tipos de sinistros.

1. A COMPETÊNCIA CONSTITUCIONAL GARANTIDA AO CBMDF

No título V da Constituição Federal de 1988, “Da Defesa do Estado e das Instituições Democráticas”, encontra-se o capítulo III, “Da Segurança Pública” que em seu único artigo dispõe:

“Art. 144. A segurança pública, dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, é exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, através dos seguintes órgãos...”

De acordo com o artigo, é possível observar que todos os cidadãos têm a responsabilidade de zelar pela segurança uns dos outros, não apenas os entes estatais responsáveis pela segurança pública, imputando à sociedade não só o gozo, mas também a participação na segurança pública.

Na continuação do artigo, são citados “Polícia Federal, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Ferroviária Federal, Polícias Cíveis e Polícias Militares e Corpos de Bombeiros Militares” como órgãos estatais responsáveis pela promoção da segurança pública, com as respectivas competências, *in verbis*:

§ 4º Às polícias cíveis, dirigidas por delegados de polícia de carreira, incumbem, ressalvada a competência da União, as funções de polícia judiciária e a apuração de infrações penais, exceto as militares.

§ 5º Às polícias militares cabem a polícia ostensiva e a preservação da ordem pública; aos corpos de bombeiros militares, além das atribuições definidas em lei, incumbe a execução de atividades de defesa civil.

§ 6º As polícias militares e corpos de bombeiros militares, forças auxiliares e reserva do Exército, subordinam-se, juntamente com as polícias cíveis, aos Governadores dos Estados, do Distrito Federal e dos Territórios.

§ 7º A lei disciplinará a organização e o funcionamento dos órgãos responsáveis pela segurança pública, de maneira a garantir a eficiência de suas atividades.

Da análise do artigo 144 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, é possível interpretar as seguintes prerrogativas constitucionais garantidas ao CBMDF:

1. É um órgão de segurança pública de Estado;
2. Tem como competência as atribuições definidas em lei;
3. É incumbido da execução de atividades de defesa civil;
4. É uma força auxiliar e reserva do Exército;
5. Subordina-se ao Governador do Distrito Federal;
6. Tem poder de polícia judiciária para apurar infrações penais militares no âmbito de sua competência.

2. A COMPETÊNCIA GARANTIDA AO CBMDF

O Estatuto dos Bombeiros Militares do Distrito Federal, aprovado pela Lei Federal 7.479, de 2 de junho de 1986, teve como objetivo precípuo regular a situação, as obrigações, os deveres, os direitos e as prerrogativas dos bombeiros militares do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal.

Como o Estatuto do CBMDF data de período pré-constituição da atual Carta Magna, essa Lei Federal foi recepcionada pela Constituição Federal de 1988 por se encontrar harmonicamente compatível com ela.

Assim sendo, a necessidade de que a atividade pericial incumbida ao CBMDF fosse devidamente regulamentada se deu por meio do Estatuto dos Bombeiros Militares, Lei nº 7.479/1986, com redação dada pela Lei nº 12.086, de 6 de novembro de 2009, no artigo 2º, *in verbis*:

Art. 2º O Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, instituição permanente, essencial à segurança pública e às atividades de defesa civil, fundamentada nos princípios da hierarquia e disciplina, e ainda força auxiliar e reserva do Exército nos casos de convocação ou mobilização, organizada e mantida pela União nos termos do inciso XIV do art. 21 e dos §§ 5º e 6º do art. 144 da Constituição Federal, subordinada ao Governador do Distrito Federal, destina-se à **execução de serviços de perícia**, prevenção e combate a incêndios, de busca e salvamento, e de atendimento pré-hospitalar e de prestação de socorros nos casos de sinistros, inundações, desabamentos, catástrofes, calamidades públicas e outros em que seja necessária a preservação da incolumidade das pessoas e do patrimônio. (Redação dada pela Lei nº 12.086, de 2009). (CBMDF, 1986). (grifo nosso)

Na mesma linha, a Lei Federal nº 8.255/1991, que dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, no art. 2º, inciso III, determina como dever legal do CBMDF a realização de perícias de incêndio relacionadas com sua competência funcional:

Art. 2º Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:

I - realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios;

II - realizar serviços de busca e salvamento;

III - realizar perícias de incêndio relacionadas com sua competência;

IV - prestar socorros nos casos de sinistros, sempre que houver ameaça de destruição de haveres, vítimas ou pessoas em iminente perigo de vida;

V - realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico;

VI - realizar atividades de segurança contra incêndio e pânico, com vistas à proteção das pessoas e dos bens públicos e privados;

VII - executar atividades de prevenção aos incêndios florestais, com vistas à proteção ambiental;

VIII - executar as atividades de defesa civil;

IX - executar as ações de segurança pública que lhe forem cometidas por ato do Presidente da República, em caso de grave comprometimento da ordem pública e durante a vigência do estado de defesa, do estado de sítio e de intervenção no Distrito Federal.

X - executar serviços de atendimento pré-hospitalar. (Incluído pela Lei nº 12.086, de 2009). (BRASIL, 1991). (grifo nosso)

Como se observa na interpretação da lei supracitada, a perícia em incêndio de competência do CBMDF pode se encaixar, por exemplo, nas seguintes perícias:

- a) Perícia em incêndio urbano.
- b) Perícia em incêndio florestal.
- c) Perícia em incêndio de veículo.
- d) Perícia em incêndio de embarcação.
- e) Perícia em incêndio relacionada a qualquer fato afeto à prevenção ou à extinção de incêndios.

Quanto ao assunto, o Desembargador do TJSP Álvaro Lazzarini, em seu artigo publicado na revista A FORÇA POLICIAL (2006), afirma que a perícia em incêndio realizada pelo Corpos de Bombeiros deve se desenvolver ocupando todas as lacunas legais disponíveis a ela:

“Pelo conhecimento científico dos Oficiais, desde que a lei assim o preveja, lícito é afirmar-se que eles sejam admitidos a exercer funções de perito, em perícias de sinistros em que devam intervir os Corpos de Bombeiros Militares, sendo o ideal que a lei federal de âmbito nacional estabeleça expressamente, ou seja, a lei federal deve dispor que aos Corpos de Bombeiros Militares compete realizar os serviços de prevenção e extinção de incêndios, busca e salvamento, perícias de sinistros, e outros estabelecidos em leis ou regulamentos, tudo para prevenir eventuais incursões jurídicas de interesses classistas ou corporativistas estranhas aos Corpos de Bombeiros Militares. Os Oficiais bombeiros militares têm capacitação profissional científica, podendo, portanto, exercer as funções de perito oficial em perícias de sinistros em que as Corporações devam intervir no cumprimento de suas atividades constitucionais e infraconstitucionais bem como de interesse da justiça, criminal ou cível” .

Conforme exposto, é possível observar que o CBMDF realiza a perícia em incêndio no âmbito do Distrito Federal de forma regulamentar, devidamente amparada por lei federal.

Por outro lado, a expertise do CBMDF, por meio da atuação diária da DINVI nos diversos incêndios ocorridos no Distrito Federal, bem como seu acionamento quase que imediato logo após a ocorrência do sinistro, fazem com que a Corporação assuma uma posição de vantagem para acesso ao cenário e melhor compreensão do incêndio em relação a outras instituições de segurança pública.

Considerando que um dos fatores primordiais para o sucesso da atividade pericial é a preservação do ambiente para o trabalho dos peritos, faz-se necessário o estabelecimento de protocolos de atuação conjunta entre o CBMDF e a Polícia Civil do Distrito Federal, no âmbito distrital, ou a Polícia Federal, no âmbito da União dentro do Distrito Federal, sempre que o ambiente sinistrado indicar sinais e vestígios de crime de incêndio ou explosão no âmbito de competência dos órgãos de segurança pública.

Somente por meio da união dos esforços, com respeito mútuo e com cada órgão atuando em sua esfera de atribuição, é que a sociedade terá a resposta eficiente aos questionamentos advindos de um sinistro de

incêndio ou explosão, bem como a responsabilização dos indivíduos causadores do sinistro, quando for o caso.

3. A COMPETÊNCIA ORGÂNICA DA DINVI

A Lei Federal 12.086/2009 que, entre outras providências, dispõe de artigos que tratam sobre a reestruturação organizacional do CBMDF, foi regulamentada por dois decretos, um na esfera Federal e outro na esfera Distrital, conforme expostos a seguir:

- a) Decreto Federal nº 7.163, de 29 de abril de 2010, que regula os órgãos de organização básica, que compreendem o Comando-Geral e os órgãos de Direção-Geral e de Direção e Apoio.
- b) Decreto Distrital nº 31.817, de 22 de junho de 2010, que regula os órgãos de Apoio e de Execução do CBMDF.

O Decreto Federal nº 7.163/2010 regulamentou as Diretorias subordinadas diretamente ao Departamento de Segurança Contra Incêndio (DESEG), sendo a Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) um desses órgãos, conforme dispõe o inciso IV do artigo 24 do referido dispositivo legal.

Art. 24. O Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal possui os seguintes departamentos e diretorias:

IV - Departamento de Segurança contra Incêndio:

- a) Diretoria de Vistorias;
- b) Diretoria de Estudos e Análise de Projetos; e
- c) Diretoria de Investigação de Incêndio.

Além das atribuições comuns às Diretorias, conforme disposto no artigo 26 do Decreto Federal nº 7.163/2010, a DINVI tem ainda as seguintes atribuições específicas constantes no artigo 42 do mesmo instrumento legal.

Art. 42. Compete à Diretoria de Investigação de Incêndio, além do previsto no art. 26:

I - realizar a investigação e a perícia de incêndio, de acordo com a legislação específica;

II - realizar exames laboratoriais e estudos técnicos dos incêndios, em apoio ao serviço de investigação e perícia de incêndio;

III - emitir e aprovar laudos e pareceres técnicos relativos a sua área de atuação; e

IV - avaliar as atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas (grifo nosso)

A competência orgânica da DINVI decorre do artigo 78 do Regimento Interno da DESEG, publicado no Boletim Geral do CBMDF de nº 173, de 13 de setembro de 2011, em que é previsto:

Art. 78 A Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) é o órgão de direção setorial subordinado ao Departamento de Segurança Contra Incêndio, que tem por finalidade o planejamento, a coordenação, a execução, o controle e a fiscalização das políticas de segurança contra incêndio e pânico relacionadas à prevenção e proteção contra incêndio e pânico, **a partir da investigação de incêndios** e avaliação das atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas (grifo nosso).

No artigo 80 do mesmo Regimento Interno, são definidas as competências orgânicas da Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI).

Art. 80 À Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) compete:

I - planejar, coordenar, executar, controlar e fiscalizar as políticas de segurança contra incêndio e pânico relacionadas à prevenção e proteção contra incêndio, a partir da investigação de incêndios e avaliação das atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas;

II - assessorar o Chefe do Departamento de Segurança Contra Incêndio;

III - supervisionar as atividades dos Núcleos e demais setores subordinados;

IV - analisar e proferir decisão nos atos, solicitações, reclamações ou processos administrativos de sua competência;

V - promover estudos e análises com vistas ao aprimoramento e à racionalização da investigação de incêndio, dos seus subprodutos, e fatores relacionados com o fenômeno incêndio, bem como a sua causa, surgimento, propagação, extinção e consequências;

VI - expedir declarações e certidões relativas às matérias de sua competência;

VII - realizar a investigação e a perícia de incêndio, de acordo com a legislação específica;

VIII - realizar exames laboratoriais e estudos técnicos dos incêndios, em apoio ao serviço de investigação e perícia de incêndio;

IX - emitir e aprovar laudos e pareceres técnicos relativos a sua área de atuação;

X - avaliar as atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas;

XI - executar outras atribuições legais que lhe forem conferidas por autoridade competente.

Por fim, no que concerne às atribuições dirigidas ao Diretor da DINVI, o artigo 107 do Regimento Interno da DESEG outorga a essa autoridade, além de outras atribuições, as seguintes competências fundamentais:

XIV - emitir pareceres técnicos preventivos e operacionais, visando o desenvolvimento e a retroalimentação do Sistema de Engenharia de Segurança Contra Incêndio e Pânico;
XVIII - fomentar, implantar e implementar as ações de intercâmbio com as instituições nacionais e internacionais relacionadas com a investigação e perícia de incêndio, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Gabinete do Comandante-Geral, por meio da Assessoria para Acordos de Cooperação (ASCOP);

Assim sendo, é de competência orgânica da Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) gerenciar amplamente as políticas de segurança contra incêndio e pânico relacionadas à prevenção e proteção contra incêndio, a partir da investigação de incêndios e avaliação das atividades preventivas e operacionais em face das técnicas empregadas, promovendo estudos e análises com vistas ao aprimoramento e à racionalização da investigação de incêndio, dos seus subprodutos, e fatores

relacionados com o fenômeno incêndio, bem como a sua causa, surgimento, propagação, extinção e consequências.

O atingimento de melhores políticas de segurança contra incêndio e pânico relacionadas à prevenção e proteção contra incêndio torna-se plenamente eficaz quando a retroalimentação do ciclo operacional do CBMDF se materializa como subproduto de estudos e análises de fatores relacionados com o fenômeno incêndio, bem como a sua causa, surgimento, propagação, extinção e consequências, por meio da investigação e a perícia em incêndio e da elaboração de pareceres técnicos relativos às atividades preventivas e operacionais prestadas pelo CBMDF à sociedade do Distrito Federal.

4. REFERÊNCIAS

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO FEDERAL**, 1988.

_____. **LEI 7479, ESTATUTO DOS BOMBEIROS MILITARES**, de 2 de junho de 1986.

_____. **LEI 8.255, LEI DE ORGANIZAÇÃO BÁSICA DO CBMDF**, de 20 de novembro de 1991.

_____. **LEI 12.086, REDAÇÃO DO ESTATUTO DOS BOMBEIROS MILITARES**, de 6 de novembro de 2009.

_____. **DECRETO FEDERAL 7.163, REGULAMENTA A LEI DE ORGANIZAÇÃO BÁSICA**, de 29 de abril de 2010.

CBMDF. **Regimento Interno da DESEG**, publicado no Boletim Geral do CBMDF de nº 173, de 13 de setembro de 2011.

DINIZ, Maria Helena. **Norma Constitucional e seus Efeitos**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

KELSEN, Hans. **Teoria Pura do Direito**. Tradução de João Baptista Machado. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

MENDES, Gilmar Ferreira; COELHO, Inocêncio Mártires; BRANCO, Paulo Gustavo Gonet. **Curso de Direito Constitucional**. São Paulo: Saraiva, 2007.

Revista A FORÇA POLICIAL - São Paulo - nº 49 - jan/fev/mar 2006.

III. ELABORAÇÃO DE LAUDO PERICIAL

O perito em incêndio e explosões é o profissional oficialmente designado para produzir o laudo pericial, com base em informações técnicas ou científicas, por meio do conhecimento e expertise, não realizando julgamento pessoal, mas explicitando a realidade, por vezes obscura, das partes conflituosas.

A perícia em incêndio e explosões também visa levantar a situação de perigo potencial (perigo abstrato), tanto para a vida como para o patrimônio alheio, bem como, sempre que possível, a quantificação da extensão do dano causado pelo incêndio e do valor decorrido desse prejuízo, com vistas a subsidiar o Poder Judiciário em demandas penais e civis, quando necessário.

A fim de que a perícia em incêndio possa ser apresentada de maneira clara, coerente e concisa, a linguagem utilizada precisa buscar a compreensão, tanto de outros peritos quanto a de leigos, necessitando estabelecer uma comunicação eficiente.

Para tal, o perito deve:

- Utilizar palavras que traduzam com fidelidade o seu pensamento, ainda que o texto se torne deselegante ou repetitivo pela utilização de termos técnicos próprios;
- Valer-se sempre da terceira pessoa;
- Evitar expressões pouco usuais, simplesmente com o objetivo de impressionar o leitor, sem acrescentar nenhuma informação útil ou pertinente;
- Organizar os dados, análises e argumentos por meio de frases bem ordenadas e parágrafos curtos, buscando a concatenação lógica entre esses;

- Observar a escrita formal e correta utilização da pontuação e regras gramaticais;
- Não utilizar expressões dúbias, palavras incompreensíveis ou ideias mal-empregadas, de modo a não exigir uma perícia em semântica.

Como conceito, o laudo pericial é a peça documental oriunda da investigação e perícia em incêndio, com o objetivo de identificar a origem e a causa do incêndio, e ainda, verificar fatores e circunstâncias necessárias à elucidação dos fatos, por meio do registro das técnicas utilizadas para a determinação da origem e causa do incêndio, bem como a extensão e valoração dos danos, quando possível.

Como já exposto, por tratar-se de uma peça documental, que subsidia as necessidades da corporação e também de diversos órgãos externos, o laudo deve pautar-se pela clareza, concisão, rigorosa propriedade vocabular e linguagem correta, sem defeito, capaz de ser compreensível por todos aqueles que dele se valem.

No âmbito do CBMDF, o laudo pericial deve obedecer ao formato estabelecido pela Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI), devidamente regulamentado. O laudo é um documento dinâmico, por isso pode ser revisado periodicamente promovendo alterações de ordem prática em sua estrutura e conteúdo, sempre que necessário.

Todos os aspectos estudados e analisados pelo perito em incêndio e explosões, mesmo que não estejam diretamente ligados à origem e à causa do incêndio, devem fazer parte do laudo pericial, com o objetivo de se ter um banco de dados e informações que possam ser catalogados de forma a subsidiar a retroalimentação, capítulo existente no presente manual.

Em uma análise mais abrangente, o tratamento dos dados obtidos nos laudos periciais contribui para a contínua melhoria dos processos finalísticos dos Corpos de Bombeiros.

Considerando que o laudo pericial precisa registrar o processo para determinação da origem, da causa e os fatos e circunstâncias que proporcionaram o surgimento, o desenvolvimento e a extinção do incêndio, deve ser composto por:

- Parte escrita;
- Fotos;
- Croquis;
- Filmagens;
- Eventuais anexos, desde que relevantes para o esclarecimento do sinistro.

Para a confecção do laudo pericial, a metodologia estabelecida neste manual, em capítulo específico, deve ser fielmente seguida, respeitando-se cada etapa do processo metodológico, realizando a coleta de todos os dados e informações necessárias à retroalimentação e à confecção do laudo, de maneira organizada e coerente. Todo esse processo visa tornar a perícia mais padronizada possível.

O laudo é composto de partes obrigatórias para determinação da origem e causa do incêndio, e de partes complementares as quais esclarecem as circunstâncias em que o incêndio ocorreu e corroboram com as análises feitas.

Os elementos complementares são acrescidos de acordo com o tipo de ocorrência e circunstâncias do incêndio, e ainda, em razão dos exames e análises realizadas pelo perito em incêndio.

São elementos obrigatórios para a confecção do laudo pericial os seguintes campos:

a) Dados gerais:

Neste campo se tem os dados de horário da ocorrência, horário de realização da perícia em incêndio, os nomes dos Oficiais Peritos em Incêndio e Explosões responsáveis pelo laudo, endereço do local periciado, e outras informações que se julgar necessárias relacionadas com a ocorrência e aos peritos responsáveis.

b) Descrição geral do local incendiado:

Informação sobre os dados da ocorrência, conforme o tipo, constando o endereço completo do local, com bairro e cidade, e descrição detalhada da edificação, veículo ou vegetação.

- Edificação: tipo de edificação, principais materiais construtivos, área total da edificação, área total queimada, etc.
- Veículo: tipo, marca, modelo, ano, cor predominante, placa, etc.
- Florestal: tipo da área de preservação, tipo predominante de vegetação, área queimada e área total da unidade de conservação, etc.

c) Exames realizados:

Descrição sucinta dos exames realizados: inspeção visual da área atingida, das áreas adjacentes e das marcas de combustão, escavação dos escombros, inspeção visual da instalação elétrica, reconstrução, reconstituição e outros.

d) Determinação da origem do incêndio:

Para a determinação da origem do incêndio deve ser seguido o processo metodológico definido no capítulo específico deste manual, sendo ela dividida em duas etapas que se referem a uma região macro e, dentro

desta, uma delimitação mais específica, estabelecendo os conceitos de zona de origem e foco inicial.

- Zona de origem é definida como a área ou o cômodo da edificação estabelecido pelo perito, dentro do cenário de incêndio, onde necessariamente o fogo teve início.
- Foco inicial é definido como o menor local dentro da zona de origem no qual a fonte de calor, o material combustível e o oxidante reagiram entre si para produzir o fogo.

e) Determinação da Causa do Incêndio:

A causa do incêndio tem por objetivo descrever a forma e as circunstâncias de surgimento e propagação do fogo. Deve-se procurar por meio do processo metodológico estabelecido neste manual, identificar o primeiro material ignizado, a fonte de ignição, o agente oxidante e as circunstâncias que resultaram no incêndio.

f) Propagação do incêndio:

Descrever a partir do segundo objeto atingido pelo fogo a direção e a ordem de propagação, por meio da análise dos objetos comburidos ou das marcas de combustão presentes. Realizar o levantamento e relacionar todos os materiais atingidos em razão do incêndio.

g) Conclusão:

Campo destinado para constar a causa do incêndio, seguindo um texto padrão adotado pela DINVI.

Exemplo:

“De acordo com os exames e estudos realizados para determinação da origem e da causa do incêndio correlacionadas com os elementos da investigação e as circunstâncias do sinistro, os peritos em

incêndio e explosões determinaram que o incêndio ocorrido **(endereço do local/dados do veículo/dados da área ambiental)**, às **(horário da ocorrência)** h, referente ao **Laudo Pericial nº (número do laudo/ano)** teve como primeiro material a ignizar-se (objeto) proveniente do agente ígneo (agente ígneo), classificando a causa como (causa)".

h) Causa:

Descrição da razão ou motivo que explica ou justifica um ato, acontecimento ou ação.

Constituem classificação das causas aplicáveis à investigação e perícia em incêndios e explosões do CBMDF as especificadas a seguir, as quais devem constar obrigatoriamente nos laudos periciais:

- **INTENCIONAL**
- **ACIDENTAL**
- **NATURAL**
- **INDETERMINADA**

i) Fotos:

Inserção, como anexo, dos registros fotográficos obtidos no local do incêndio, acompanhados de legendas explicativas do ambiente e do comportamento do fogo no local e numeradas sequencialmente.

Os itens complementares do laudo têm a finalidade de contribuir para uma compreensão e esclarecimento das circunstâncias acerca do sinistro, auxiliando na comprovação e entendimento do laudo pericial e contém, por vezes, informações importantes que passam a ser imprescindíveis.

Segue alguns exemplos de itens que podem ser inseridos no laudo pericial, com o objetivo de contribuir para o entendimento e esclarecimento das circunstâncias, origem e causa do incêndio:

j) Descrição do objeto causador:

Descrever, com detalhes, o objeto que veio a provocar o início do incêndio.

k) Fenômenos do incêndio:

Correlacionar com o local do sinistro os fenômenos ocorridos durante o incêndio (condução, convecção, radiação e, se houver, fenômenos extremos do fogo e/ou deflexão de chamas).

l) Carga de incêndio:

Quantidade total de material combustível existente em um prédio, espaço ou área passível de ser atingida pelo fogo, incluindo materiais de acabamento e decoração, expressos em unidades de calor ou em peso equivalente de madeira.

Por exemplo, carga de incêndio típica de:

- Uma sala de estar: jogo de sofá, estante, TV, aparelho de som, mesa de centro e de canto, tapete.
- Um quarto: cama, guarda-roupa, criado-mudo, TV.
- Compartimento de passageiro de um veículo: bancos, estofados, painel em plástico, forro de tecido do teto, carpete.

m) Análises e exames complementares:

Exames laboratoriais de elétrica, química, simulações computacionais, de extintores, exames/estudos externos à DINVI, e outros.

n) Prevenção e extinção do incêndio:

Descrição do estado de manutenção e forma de funcionamento dos preventivos obrigatórios da edificação e informações

relativas ao combate de incêndio realizado, observados '*in loco*' ou nos relatórios produzidos. No combate deve ser observado a delimitação da zona de origem, dinâmica, combate e extinção do incêndio e rescaldo.

o) Produtos perigosos:

Discriminação, quantidade de armazenagem, manipulação, estado de manutenção da instalação, quantidade danificada pelo fogo.

p) Coleta de depoimentos:

Registro das informações de pessoas relacionadas ao evento, por meio da identificação com nome completo, RG ou CPF, telefone para contato, também a qualificação do depoente como testemunha, proprietário, funcionário ou outra característica;

Constituem perguntas importantes para esclarecimento do incêndio:

- Como percebeu o incêndio?
- Onde o fogo se concentrava?
- Como foi extinto?

q) Quantidade de pessoas envolvidas:

Relação da quantidade de pessoas presentes no momento do surgimento do incêndio.

r) Informações relativas às vítimas:

Identificação completa das vítimas com nome, RG, CPF e telefone, se possível. Local para onde foram transportadas as vítimas e por quem. Local e aspectos do ambiente onde ocorreram as mortes ou ferimentos (incêndio seguido de morte ou morte seguida de incêndio).

s) Valoração de danos:

Estimativa dos prejuízos causados pelo incêndio e dos materiais salvados, seguindo-se uma metodologia pré-estabelecida, conforme cada tipo de incêndio (edificação, veículo, florestal).

t) Outras considerações:

Quaisquer outras informações ou dados que o perito em incêndio e explosão julgar necessário para a elucidação do sinistro ou para a retroalimentação do ciclo operacional no CBMDF.

u) Anexos:

Junção de todos os registros efetuados pela equipe de perícia e documentos produzidos interna ou externamente, que forneçam informações para a elucidação do sinistro ou para retroalimentação. Exemplos: Fotos, Croqui, Relatório de Incêndio, Relatórios de Exames Laboratoriais, Habite-se, Alvará de Funcionamento, Notificações, Pareceres Técnicos, Cópias Diversas (documento do veículo, RG, plantas baixa, apólice de seguro, etc.), Laudos Diversos (aterramento-SPDA, estanqueidade-GLP, materiais retardantes, etc.).

O croqui é a reprodução gráfica panorâmica do local da ocorrência, cuja finalidade é representar as características do local, espaço físico, o arranjo e, muitas vezes, as instalações de interesse pericial, permitindo, ainda, a análise conjunta dos elementos técnicos que levam às conclusões que deles derivam.

Para surtir o efeito pretendido, deve conter as representações de todos os elementos materiais analisados, as deduções subsequentes, tais como a posição do foco inicial, zona de origem do incêndio e as linhas de desenvolvimento e de propagação, aberturas e ventilações.

O croqui também é composto por legenda, que é o conjunto de letras, números e símbolos convencionais que servem para completar os elementos representados com exatidão no croqui, sendo explicitados no corpo descritivo do laudo ou em uma resenha constante no próprio croqui.

REFERÊNCIAS:

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), **NFPA 921-2014 - Guide for Fire and Explosion Investigations**, Quincy, 2014

IV. CIÊNCIA DO FOGO

Para a investigação de incêndios, é necessário primeiramente conhecer a natureza da reação e dos combustíveis, bem como as definições de calor, energia e temperatura originários da termodinâmica. Além disso, é importante que o perito tenha um entendimento qualitativo e quantitativo desses conceitos e possa correlacioná-los para uma boa compreensão da dinâmica de um incêndio.

Boa parte desses conceitos estão no módulo 1 – Comportamento do Fogo - Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF, mas, quando necessário, serão repetidos ou expandidos neste manual. Em especial, no módulo 1 poderão ser encontrados os conceitos de:

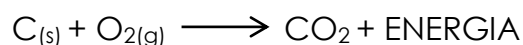
- Combustão;
- Transferência de calor;
- Processo de extinção do incêndio;
- Dinâmica do Incêndio;
- Comportamentos Extremos do fogo.

Todos esses assuntos são essenciais para o investigador e servem como base para o que será apresentado a partir deste capítulo.

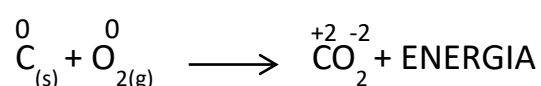
1. NATUREZA DA REAÇÃO: COMBUSTÃO E REAÇÃO EM CADEIA

A combustão é uma reação de oxidação. Essas reações podem ser definidas, de maneira geral como aquelas em que há alteração do número de oxidação (nox) dos elementos químicos mediante transferência de elétrons de uma espécie para outra. Essa reação indica também o processo de oxidar, ou seja, combinar um elemento com o oxigênio, transformando-o em um óxido.

- uma espécie perde elétrons e então seu nox aumenta - essa espécie sofreu oxidação.
- a outra espécie recebe esses elétrons e então reduz o seu nox – essa espécie sofreu redução.



Na combustão há a reação de uma espécie, o combustível (mais especificamente entre os gases da pirólise de combustível), com um comburente na presença de uma fonte de calor. A função desse comburente (oxidante) é oxidar o combustível, dessa forma o comburente vai sofrer uma redução (combustível transfere elétrons para o comburente). Usualmente tem-se o O_2 como comburente, mas existem outros exemplos, como o F_2 , Cl_2 , NaCl , NaClO_2 , NaClO_3 . Também pode haver ocorrência de fogo em atmosferas com ausência de oxigênio, quando os combustíveis comuns são misturados com oxidantes químicos, os quais conseguem liberar oxigênio com facilidade, como o fertilizante nitrato de amônio (NH_4NO_3), nitrato de potássio (KNO_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Essa oxidação do combustível ocorre com liberação de energia calorífica, que por sua vez fornece energia para que outra parcela do combustível queime.



Apesar de necessitar de uma fonte ígnea inicial, a combustão é uma reação extremamente exotérmica. Essa energia liberada serve de ignição para que outras reações aconteçam, e assim se dá a reação em cadeia. O calor irradiado pelas chamas atinge o combustível e este é decomposto em partículas menores, que se combinam com o oxigênio e queimam, irradiando outra vez calor para o combustível, formando um ciclo constante. A última reação ocorre quando o combustível ou comburente é totalmente consumido ou quando a energia produzida é retirada para atender outra finalidade. Do ponto de vista químico, a reação em cadeia é

o processo de sustentabilidade da combustão pela presença de radicais livres, que são formados durante o processo de queima da combustão. Os radicais livres são espécies instáveis e por isso promovem a quebra de outras moléculas em busca da estabilidade. Um radical é produzido, esse quebra uma molécula e produz outro radical, que quebra outra molécula e produz outro radical sucessivamente até a formação de uma espécie estável envolvendo os radicais.

A reação em cadeia de combustão envolve um mecanismo bastante complexo e ainda não completamente desvendado. De maneira geral, a molécula do combustível é quebrada.

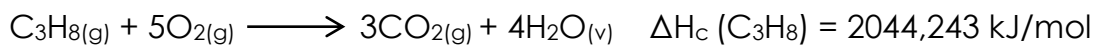
A oxidação total dos combustíveis gera mais energia, e por isso a combustão completa é sempre preferível à parcial.

1.1. Calor de Combustão

Essa energia liberada em uma reação de combustão pode ser quantificada e é definida como calor de combustão ΔH_c . O calor de combustão pode ser obtido por meio da utilização de um cone calorímetro de combustão ou então calculado por meio dos calores de formação dos componentes da reação. O calor de formação ΔH_f é a mudança de entalpia que ocorre quando um componente é formado no estado mais estável partindo dos elementos constituintes também no estado mais estável (CNTP). O calor de formação pode ser negativo, significando que houve liberação de energia para formação no composto e assim o produto é mais estável quimicamente que os reagentes nos seus estados padrões. Elementos simples nos estados mais estáveis possuem calor de formação zero.

Exemplo:

Reação de combustão do propano:



$$\Delta H_c (\text{C}_3\text{H}_{8(g)}) = \Delta H_f \text{ produtos} - \Delta H_f \text{ reagentes} = 3\Delta H_f(\text{CO}_2) + 4\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f(\text{C}_3\text{H}_8) - 5\Delta H_f(\text{O}_2) = 2044.243 \text{ kJ/mol.}$$

Esse cálculo de entalpia advém da Lei de Hess. A Lei de Hess postula que a entalpia final de uma reação depende apenas do seu estado inicial e final, independente das etapas intermediárias que podem ocorrer.

Tabela 1 - Calor na formação de algumas substâncias

Substância	Fórmula	Calor na formação (ΔH_f) à 25 °C
Água (vapor)	H ₂ O	-241.826
Monóxido de carbono	CO	-110.523
Dióxido de carbono	CO ₂	-393.513
Metano	CH ₄	-74.75
Propano	C ₃ H ₈	-103.6
Eteno	C ₂ H ₄	52.6
Propeno	C ₃ H ₆	20.7
Etino	C ₂ H ₂	226.9

Figura 1 - Calor de combustão de alguns combustíveis - Os combustíveis estão em estados mais estáveis na CNTP e os produtos no estado gasoso

		$-\Delta H_c$ (kJ/mol)	$-\Delta H_c$ (kJ/g)	$-\Delta H_{c,air}$ (kJ/g(air))	$-\Delta H_{c,ox}$ (kJ/g(O ₂))
Carbon monoxide	CO	283	10.10	4.10	17.69
Methane	CH ₄	800	50.00	2.91	12.54
Ethane	C ₂ H ₆	1423	47.45	2.96	11.21
Ethene	C ₂ H ₄	1411	50.35	3.42	14.74
Ethyne	C ₂ H ₂	1253	48.20	3.65	15.73
Propane	C ₃ H ₈	2044	46.45	2.97	12.80
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	2650	45.69	2.97	12.80
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	3259	45.27	2.97	12.80
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	5104	44.77	2.97	12.80
<i>c</i> -Hexane	<i>c</i> -C ₆ H ₁₂	3680	43.81	2.97	12.80
Benzene	C ₆ H ₆	3120	40.00	3.03	13.06
Methanol	CH ₃ OH	635	19.83	3.07	13.22
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	1232	26.78	2.99	12.88
Acetone	(CH ₃) ₂ CO	1786	30.79	3.25	14.00
D-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	2772	15.4	3.08	13.27
Cellulose	—	—	16.09	3.15	13.59
Polyethylene	—	—	43.28	2.93	12.65
Polypropylene	—	—	43.31	2.94	12.66
Polystyrene	—	—	39.85	3.01	12.97
Polyvinylchloride	—	—	16.43	2.98	12.84
Polymethylmethacrylate	—	—	24.89	3.01	12.98
Polyacrylonitrile	—	—	30.80	3.16	13.61
Polyoxymethylene	—	—	15.46	3.36	14.50
Polyethyleneterephthalate	—	—	22.00	3.06	13.21
Polycarbonate	—	—	29.72	3.04	13.12
Nylon 6,6	—	—	29.58	2.94	12.67

O calor de combustão fornece, portanto, a energia total liberada. Entretanto, esse dado não é tão significativo quanto a variação dessa energia em função do tempo (taxa de liberação de calor). Esse dado sim é significativo para auxiliar no dimensionamento do combate e pode ser calculado utilizando o calor de combustão:

$$Q_o = \dot{m} \cdot A \cdot \Delta H_c$$

1.2. Produtos da Combustão

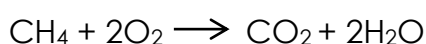
Nas reações da combustão com oxigênio como comburente é necessário a presença desse gás em concentração mínima de 8%, lembrando que a concentração de oxigênio no ar é 21% e que para haver chamas é necessário mínimo de 15% de O₂.

A combustão pode se dar de maneira completa ou incompleta. A reação completa produz apenas $\text{CO}_{2(g)}$ e H_2O e significa que todas as moléculas de combustível reagiram completamente com o $\text{O}_{2(g)}$, tornando seus produtos estáveis. É a reação ideal.

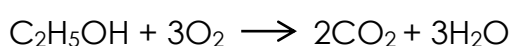
A combustão incompleta é a forma mais comum da combustão e promove liberação de resíduos que não foram totalmente consumidos durante o processo de queima. Gera produtos diversos além de $\text{CO}_{2(g)}$ e H_2O , como $\text{CO}_{(g)}$.

Exemplos:

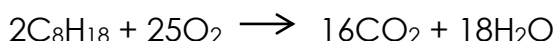
Combustão completa do metano



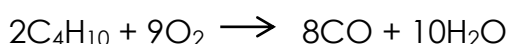
Combustão completa do etanol



Combustão completa da gasolina



Combustão incompleta do butano com produção de monóxido de carbono:



A chama pré-misturada propicia a reação completa de combustão. Fogão e maçarico são equipamentos produzidos para gerar uma queima limpa, sem resíduos e, portanto são projetados para promoverem uma mistura ideal entre o O_2 comburente, gerando apenas calor e luz. Dessa forma ao ligar um fogão ou maçarico em condições padrões de manutenção, não se visualiza fumaça (fuligem), apenas a chama azulada. Entretanto, quando essa mistura prévia do combustível e comburente não ocorre na proporção ideal, temos uma combustão incompleta.

A combustão incompleta ocorre comumente nos incêndios. Nesses casos, o combustível se mistura ao comburente por difusão (diferença de concentração) e, portanto o combustível não reage perfeitamente com o ar, produzindo resíduos. Há a produção de luz, calor e fumaça. A fumaça acumula os átomos e moléculas instáveis resultantes da queima incompleta.

1.3. Comportamento físico-químico da chama:

Tendo como base a lei dos gases ideais: $PV=nRT$. Se a pressão é cte (incêndio em ambiente aberto), o aumento da temperatura gera expansão dos gases.

Quando uma superfície está pegando fogo, há chamas constantemente aquecendo os gases gerados. As altas temperaturas produzidas geram um fluxo muito forte de gás que se move por meio da diferença de pressão existente entre os gases quentes e o ambiente externo à chama. Essa diferença de pressão, apesar de pequena em valores absolutos, é a responsável pelo arraste do ar limpo atmosférico para a base do fogo e pela expulsão da chama e dos gases quente.

2. NATUREZA DOS COMBUSTÍVEIS

2.1. Natureza dos combustíveis: SÓLIDOS

A chama é um fenômeno da fase gasosa, portanto a combustão de combustíveis líquidos e sólidos precisa envolver uma conversão para a fase gasosa. Para a maioria dos líquidos inflamáveis, o processo é simplesmente a evaporação da camada superficial. A exceção são os líquidos com altos pontos de ebulição, como o óleo de cozinha, que podem sofrer decomposição química. Para os sólidos, a decomposição química é a regra.

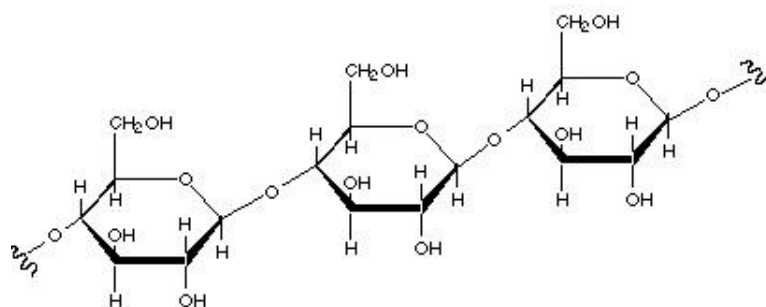
Esse processo de pirólise é necessário para desprender produtos com peso molecular baixo o suficiente para volatilizarem da superfície e assim inflamarem. A pirólise exige muito mais energia do que o simples processo de evaporação, de forma que a superfície de um sólido tende a atingir temperaturas próximas a 400 °C. A exceção são os sólidos que sublimam quando submetidos ao calor, como a metenamina.

A composição desses voláteis liberados da superfície dos sólidos combustíveis tende a ser bastante complexa, considerando a natureza química do sólido. Os mais significativos são os materiais poliméricos de elevado peso molecular.

Mais comumente, a combustão envolve combustíveis hidrocarbonetos, aqueles compostos por carbono, hidrogênio e algumas vezes oxigênio e nitrogênio como heteroátomos. O crescimento da produção industrial adicionou novos elementos ao rol dos materiais básicos, como cloro (Cl), bromo (Br), flúor (F) etc e isso gera subprodutos cada vez mais danoso, como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, cianeto de hidrogênio, isocianatos e aminas (subprodutos da decomposição térmica do poliuretano). A composição desses químicos, quando emitidos na forma de fumaça ou vapores, pode variar.

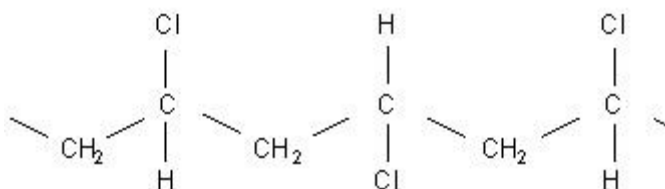
A madeira, por exemplo, é composta por átomos de C, H e O

Figura 2 - Estrutura da madeira



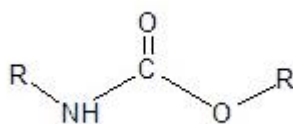
O cloreto de polivil (PVC), contém C, H, O e Cl. Atualmente, seu uso na construção civil vem se popularizando, principalmente na fabricação de forros e telhas.

Figura 3 - Estrutura do pvc



O poliuretano contém C, H, O e N - é um polímero extremamente versátil. Utilizado na fabricação de esponjas, em spray/espuma utilizado como impermeabilizante de telhados e isolamento térmico, botas plásticos e plásticos duros para espátula por exemplo. O poliuretano pode ser produzido de modo que a cadeia seja mais linear ou com poucas ramificações, e assim produzir um produto mais maleável, como as espumas. Pode também ser induzido a uma estrutura mais complexa com muitas ramificações cruzadas e sobrepostas, produzindo assim materiais mais rígidos, como uma cadeira. Existe, portanto nas formas de espuma semi flexível, espuma rígida, termoplásticos e termofixos.

Figura 4 - estrutura do poliuretano



Essas adições de heteroátomos diversos alteram os produtos naturais da combustão potencializando ameaças para o meio ambiente.

Além dos heteroátomos, é essencial levar em consideração a estrutura das cadeias polimérica. Quanto mais ramificações cruzadas a cadeia polimérica tiver, ou seja, quanto mais complexa for a estrutura, menor a quantidade de gases produzidos durante a decomposição térmica.

Isso ocorre porque as cadeias mais internas carbonizam totalmente, não produzindo voláteis. Assim há uma redução no potencial suprimento de gases inflamáveis durante a combustão dessa cadeia polimérica.

A complexidade da estrutura está diretamente relacionada com a rigidez da estrutura. Um exemplo de um polímero natural com estrutura complexa é a lignina. A lignina une as estruturas de celulose com as plantas maiores, conferindo sustentação a essas plantas. Tudo depende do tipo de ligação que compõe o polímero. Quanto mais forte a ligação que forma as ramificações cruzadas entre as cadeias, maior a rigidez e também a estabilidade térmica. Entretanto, as ligações fortes não admitem rearranjo para aliviar tensão, e, portanto, os polímeros dessa natureza tem pouca maleabilidade. São, portanto resistentes, mas pouco maleáveis.

Frente ao fogo, os polímeros comportam-se de maneira distinta, de forma que é possível classifica-los em dois grupos: termoplásticos e termorrígidos. Os termorrígidos, ou termofixos, são aqueles cujas cadeias poliméricas apresentam várias ramificações cruzadas que se unem a pontes fixas. Os termofixos possuem uma estrutura química polimérica mais complexa. Esses não derretem quando aquecidos, pelo contrário, quando submetidos a temperaturas extremamente elevadas produzem voláteis diretamente da fase sólida, deixando um resíduo carbonáceo para trás ao se decomporem. Os termofixos não podem ser derretidos, moldados ou amolecidos e por isso não podem ser reciclados.

Regra geral, os termofixos são mais resistentes. Além disso, algumas características de constituição conferem maior ou menor estabilidade térmica a um polímero. Três fatores principais conferem estabilidade térmica a um polímero: existência de anéis aromáticos na cadeia principal, elevado peso molecular e existência de cadeias cruzadas (formação de retículo). Já a existência de insaturações e átomos de oxigênio na cadeia principal tendem a reduzir a estabilidade térmica do polímero.

Emprego de termofixos:

- Baquelita: utilizada na fabricação de cabos de panela. Foi o primeiro plástico totalmente sintético a ser produzido. É maleável quando em processo de formação, permitindo ser moldado com facilidade, mas quando endurece se torna extremamente rígido.
- Borracha vulcanizada: esse processo consiste na adição de enxofre a borracha mediante aquecimento, tornando-a mais rígida e resistente.
- Resina Melamínica: largamente utilizada na fabricação de utensílios de cozinha, como travessas, potes, colheres de servir, etc.
- Resina epóx: diversos usos, como, matriz estrutural devido a alta resistência com reforço de fibra de vidro, carbono, etc, transformadores a seco, geradores eólicos, placas de circuito, tambores para armazenamento de produtos químicos, etc.
- Poliimida: é um polímero adequado para uso em altas temperaturas. Opera com características adequadas de resistência numa ampla faixa de temperaturas (-270° C a 300 °C). Tem alta resistência mecânica, a esforços que causam dilatação e a desgaste quando submetido a uso contínuo. Também apresenta condutividade térmica bastante baixa, bem como excelentes propriedades como isolante elétrico. É utilizado no mascaramento de placas de circuito impresso e revestimento de cabos condutores expostos a altas temperatura.

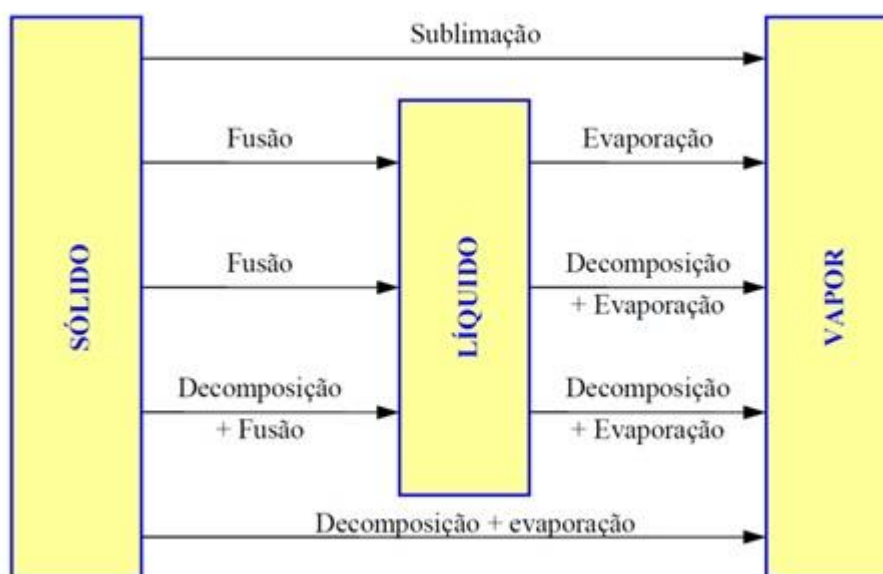
Os polímeros termoplásticos quando submetidos à ação do calor passam a apresentar alta viscosidade e fundem. São recicláveis, já que quando aquecidos podem ser remodelados e novamente solidificados na

nova estrutura. As cadeias poliméricas dos termoplásticos são unidas apenas nas interações intermoleculares, do tipo de Van der Waals ou ponte de hidrogênio, que se rompem sob ação do calor, permitindo a fusão do material. Quando resfriados, essas interações intermoleculares são restituídas.

Essa característica dos termoplásticos pode potencializar a propagação do fogo na medida em que “gotas” do material podem cair sobre o fogo, alimentando-o.

Para os sólidos em geral, portanto, a produção de voláteis combustíveis decorre de um processo de decomposição térmica. Entretanto, dependendo da natureza do material, a pirólise será precedida ou não do derretimento, como pode ser observado na figura a baixo.

Figura 5 - Diferentes maneiras que o vapor inflamável pode ser gerado de um combustível sólido



Fonte: CBMDF, 2009

Alguns exemplos desses processos podem ser vistos a seguir:

- Sublimação. Ex: metenamina.(uso: indústria farmacêutica, no tratamento de infecções do trato urinário. Indústria química como aglutinante ou componente de endurecimento de resinas fenólicas.

- Derretimento seguido de evaporação. Aqui não há modificação química nas estruturas das moléculas. Ex: ceras de parafina de baixo peso molecular. Esse mecanismo ainda não é 100% determinado, podendo envolver os processos 3 ou 4.
- Derretimento seguido de decomposição + evaporação que ocorrem concomitantemente. Apenas os produtos de baixo peso molecular evaporam. Ex: termoplásticos e ceras de parafina com elevado peso molecular.
- Decomposição para produzir o produto líquido, o qual irá se decompor gerando voláteis. A decomposição inicial pode gerar um grau de voláteis. Ex: poliuretano.
- Decomposição direto da fase sólida para gerar voláteis. Ex: celulose e termofixos.

Esses voláteis são uma mistura complexa de produtos. Eles podem ser compostos de simples moléculas, como de hidrogênio e etileno, até espécies com elevado peso molecular. Essas espécies são voláteis apenas em temperaturas altas o suficiente para quebrar a força coesiva existente na superfície do material, como a temperatura atingida na superfície do sólido em combustão. A maioria desses produtos é consumida pelas chamas.

A combustão dos sólidos poliméricos (e dos sólidos em geral) envolvem cinco etapas, como mostrado no gráfico:

Figura 6 - Gráfico esquemático da queima de um sólido

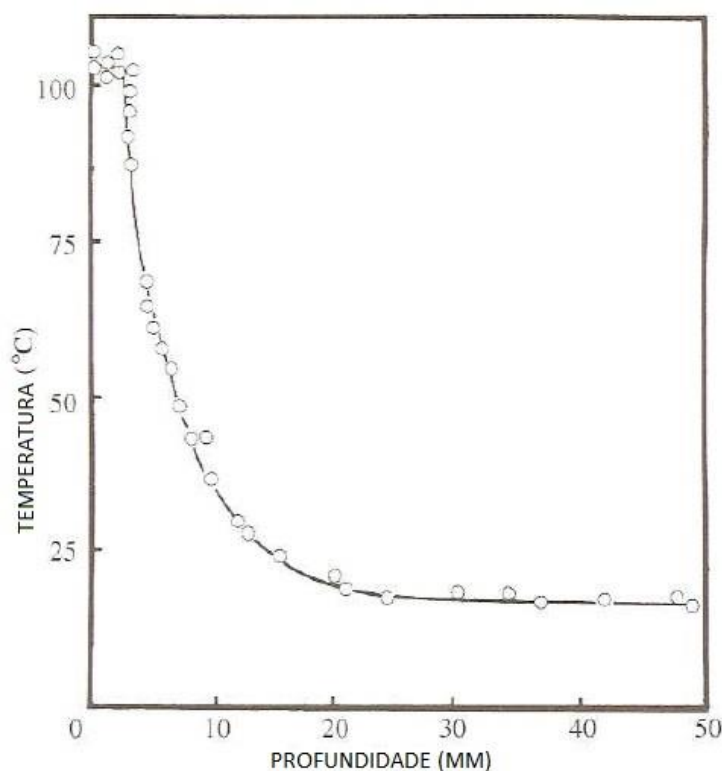
2.2. Natureza dos combustíveis: LÍQUIDOS E GASES.

2.2.1. Armazenamento x padrão de queima.

Os combustíveis líquidos podem existir basicamente de duas maneiras. Há os líquidos estáveis, que se encontram líquidos na CNTP, como álcool e gasolina, e os líquidos forçados a existirem em tal estado, como o GLP (gás liquefeito de petróleo), que é mantido líquido devido a um aumento da pressão de armazenamento (6 a 8 atm), e o GNL (gás natural liquefeito) que é mantido líquido devido a um decréscimo na temperatura de armazenamento (-163 °C). Os líquidos pressurizados estão sujeitos à ocorrência de BLEVE².

Os líquidos estáveis queimam como piscinas, de maneira homogênea e apenas na superfície. Como o líquido pode se espalhar com facilidade, dependendo do ambiente, o incêndio classe B pode adquirir proporções muito grandes. Se o líquido estiver estocado, como em um tanque de armazenamento de combustível, a medida que aumenta a profundidade, a temperatura cai, enquanto na superfície a temperatura está próxima do ponto de ebulição do líquido. Considerando uma queima constante, como mostra o gráfico do n-butanol (C₄H₉OH) a seguir:

² BLEVE – *Boiling liquid expanding vapor explosion*. Significa a explosão do vapor em expansão de um líquido em ebulição. Para mais informações, ver o Módulo 1 do Manual Básico de Combate a Incêndio

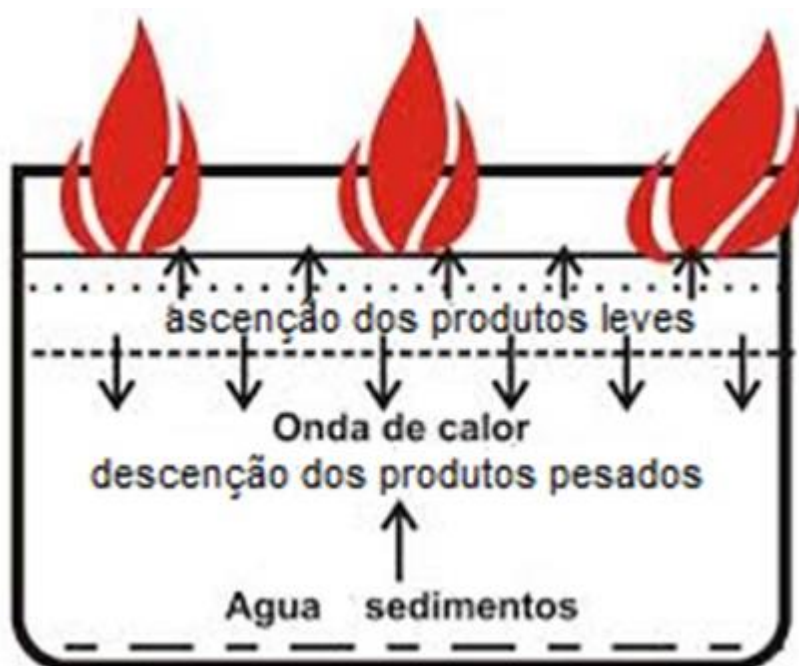
Figura 7 - Gráfico da temperatura do líquido em função da profundidade

Quando se tem uma mistura de líquidos, como querosene, a temperatura de ebulição não é fixa, mas sim uma faixa. Nesse caso primeiro irão queimar os voláteis mais leves, a temperatura da superfície vai subindo com o tempo e consumindo o líquido residual menos volátil.

Uma situação perigosa é quando se tem uma mistura de hidrocarbonetos que promove a formação de uma zona quente. Aqui não se observa a situação exposta no gráfico acima. Em vez disso uma zona quente se propaga para dentro do tanque. O risco existe quando essa zona quente atinge uma temperatura superior a 100°C, pois ao atingir alguma camada de água acumulada no interior no tanque irá causar uma ebulição violenta dessa água que irá atravessar a camada superior de óleo e assim ejetar óleo quente, como bolas de fogo em uma explosão. Similar ao que ocorrer se jogarmos água em uma panela de óleo pegando fogo. Esse é o fenômeno de *Boilover*.

O mecanismo da propagação descendente da zona quente ainda não foi totalmente estabelecido, mas sabe-se que é um fenômeno associado exclusivamente a misturas de líquidos combustíveis envolvendo evaporação seletiva de cadeias leves. Um dos mecanismos proposto envolve migração dessas cadeias leves para a superfície, em seguida evaporarem. Outro mecanismo sugere que essas cadeias leves volatilizam na interface e aí então sobem para superfície. Essas duas vertentes se unem no pensamento de que as ações propostas formarão bolhas que sobem à superfície acentuando a mistura entre os integrantes, como se um misturador estivesse atuando. De maneira geral, os estudos mostram a ocorrência de oscilações lentas e verticais na interface entre os líquidos da mistura.

Figura 8 - esquema da zona quente se propagando pelo tanque até atingir a água depositada no fundo e causar o *boilover*



Outra maneira que os líquidos podem queimar é na forma de suspensão de gotas. Aqui ocorre um processo muito similar ao de pó em suspensão. Como as partículas estão muito próximas e finamente divididas ocorre uma combustão violenta que gera um efeito explosivo. Por serem muito pequenas, as partículas entram em combustão a uma temperatura abaixo da temperatura de ignição normal do material. Por estarem muito

próximas, a combustão passa de uma para outra extremamente rápido, por isso ocorre o efeito explosivo.

Exemplo prático: fornos de combustão industriais utilizam um dispositivo semelhante a um spray de diesel para fazer queima, gerando assim mais energia.

2.2.2. Ignição dos líquidos

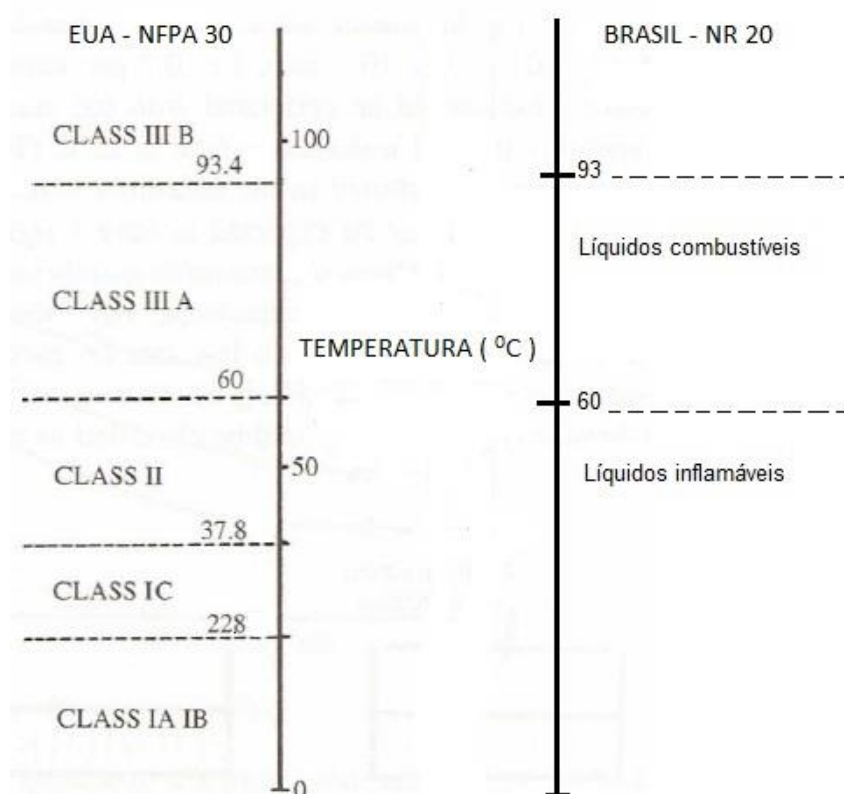
Os líquidos combustíveis são assim classificados de acordo com seu ponto de fulgor (flashpoint).

Ponto de fulgor é a temperatura mínima na qual o líquido apresenta uma pressão de vapor mínima que permite o início da queima, entretanto a queima ainda não se mantém de maneira autossustentável. Ponto de fulgor é uma característica que só é bem definida para gases. Os sólidos possuem uma situação de fulgor, mas não uma temperatura bem definida.

Os líquidos emitem vapores inflamáveis e esses formam uma mistura inflamável com o ar. Não é o líquido que queima, mas seus gases. Por isso combustíveis líquidos também possuem ponto de fulgor.

A Norma Regulamentadora 20, do Ministério do Trabalho (NR 20 - Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis) define que líquidos inflamáveis possuem ponto fulgor até 60°C e líquido combustível como aqueles que possuem ponto de fulgor entre 60°C e 93°C. Uma comparação com a classificação norte-americana pode ser vista na figura a seguir.

Figura 9 - Comparação entre as classificações brasileira (NR 20) e norte-americana (NFPA 30) a respeito de líquidos inflamáveis

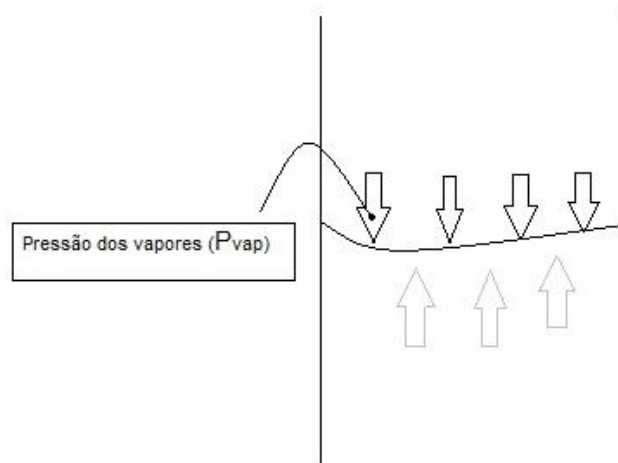


Após a ignição do vapor na temperatura de fulgor, as chamas só conseguirão autossustentar se o calor fornecido for suficiente para aquecer a superfície do líquido e assim aumentar a taxa de volatilização que irá alimentar essa chama.

A volatilidade de um líquido é uma propriedade importante para análise de inflamabilidade e é determinada pela Pressão de Vapor.

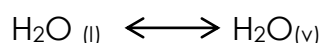
2.2.2.1. Pressão de vapor

É a pressão exercida sobre pelos vapores do líquido no próprio líquido, independentemente da quantidade de líquido.

Figura 10 - Esquemática da pressão de vapor do líquido

No equilíbrio de fases, a uma temperatura constante, uma fase condensada dá origem a uma pressão de vapor característica. Para existir o equilíbrio, devemos considerar um ambiente fechado, pois assim as moléculas não vão escapar.

Como ocorre: o vapor vai se formando à medida que as moléculas escapam da superfície do líquido (evaporação). O processo de evaporação ocorre essencialmente na superfície do líquido, pois as moléculas estão ligadas menos fortemente e assim conseguem escapar com mais facilidade. Quando o número de moléculas na fase de vapor aumenta muito, algumas vão se chocar com a superfície da fase condensada, aderindo a ela e assim voltando a fazer parte do líquido. Existe um momento em que a quantidade de moléculas que escapa da superfície líquida é igual ao número de moléculas do vapor que voltam a fazer parte do líquido. Nessa condição a velocidade de condensação é igual à velocidade de evaporação e então temos um equilíbrio dinâmico entre as fases líquida e vapor. Ex:



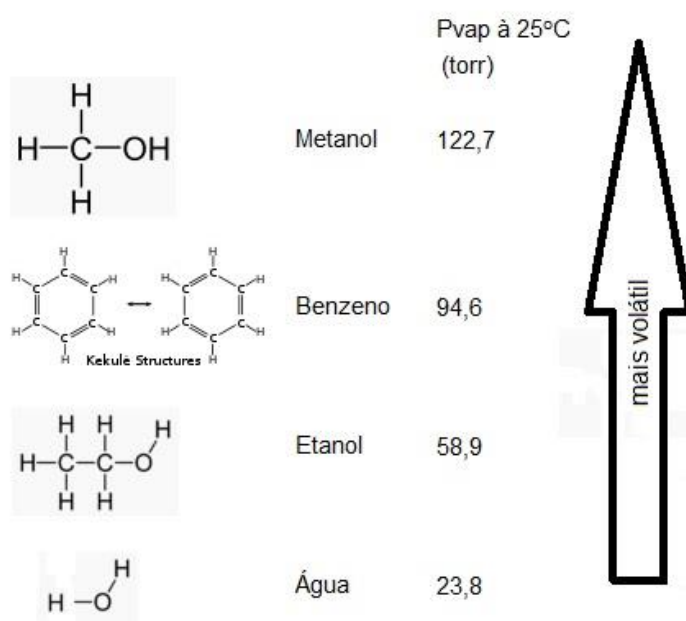
Definição: Pressão de vapor é a pressão exercida pelo vapor que está em equilíbrio dinâmico com a fase condensada.

Consequências: um líquido com pressão de vapor (P_{vap}) alta é chamado de VOLÁTIL. Quando um composto é extremamente volátil, ele se apresenta na fase gasosa à temperatura ambiente (CNTP).

Exemplos:

Substância	Fórmula	P_{vap} à 25 °C (bar)	Estado físico
Dimetil éter	$\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$	4.98	Gás
Álcool etílico (etanol)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	0.0806	líquido

Figura 11 - exemplificação da relação entre pressão de vapor e volatilidade



2.2.2.2. Forças intermoleculares

Força de coesão que mantém as moléculas unidas. Diferente das ligações químicas, que existem no nível atômico.

Quanto maior a força que mantém as moléculas unidas, mais presas umas as outras e assim, mais difícil de desprender moléculas e, portanto, menos volátil será a substância. ($\downarrow \text{VOLÁTIL} = \downarrow P_{\text{vap}}$).

Dessa forma, quanto mais fraca as forças intermoleculares, maior será a pressão de vapor e mais volátil a substância.

Forças intermoleculares são as responsáveis pela existência das diferentes fases da matéria (sólido, líquido e gasoso). É a força atrativa existente entre as diversas moléculas que compõem uma substância, que pode ser mais forte ou menos forte. Existem 4 tipos distintos de interações intermoleculares. São estes:

1) Íon-dipolo: é a interação de um íon com uma molécula polar, como a água. Essa força existe quando se adiciona sal à água, por exemplo. Os íons de Na^+ e Cl^- interagem com os polos negativos e positivos da molécula de água. Essa é a interação mais forte.

2) Dipolo-dipolo: interação entre duas moléculas polares resultante da atração das cargas parciais. São mais fracas que a união entre dois íons e a força cai muito com a distância

3) Forças de London: é a única interação entre as moléculas apolares, mas também existem nas demais moléculas. É baseada na criação de dipolos instantâneos nas moléculas devido a aproximação delas. Esses dipolos instantâneos são criados com maior facilidade nas moléculas com maior capacidade de polarização, ou seja, de deformar a nuvem de elétrons. As moléculas volumosas e com muito elétrons (maior massa molar) são mais polarizáveis que as pequenas. Isso explica porque o Br_2 é um líquido enquanto o F_2 é um gás em temperatura ambiente.

Varia também com a geometria das moléculas. Moléculas longas conseguem interagir com mais facilidade nas moléculas esferoidais, por exemplo, devido a maior área de contato.

4) Ligação de hidrogênio: É a interação mais forte, mas é específica para certos tipos de moléculas. Ocorre quando um átomo de

hidrogênio fica entre dois átomos pequenos e fortemente eletronegativos, principalmente F, O e N.

Relembrando a série de eletronegatividade: F, O, N, Cl, Br, I, S, C, P, H.

Substâncias que fazem esse tipo de interação possuem grande coesão entre suas moléculas e assim apresentam maiores pontos de ebulição e menor volatilidade.

Um exemplo clássico de líquido que apresenta essa interação é a água.

A medida que aumentamos a temperatura do nosso líquido, as moléculas ficam mais excitadas e assim conseguem escapar com mais facilidade das forças intermoleculares que as mantêm unidas na fase condensada. Logo, a pressão de vapor aumenta quando a temperatura sobe. A medida que aumentamos a temperatura, chega um ponto que a pressão de vapor se iguala a pressão do ambiente e nesse momento todo o líquido passará à fase de vapor. A temperatura em que isso ocorre é o ponto de ebulição.

2.2.2.3. Densidade relativa de vapor

Os líquidos mais voláteis que liberam muitos vapores podem, assim, formar misturas explosivas com o ar. Por isso é necessário cuidado com armazenamento e manter a ventilação do ambiente.

Uma característica importante é a densidade relativa de vapor ou apenas densidade de vapor, que informa o peso do vapor ou gás em relação com o ar. Se a densidade de vapor for maior que 1, então os vapores são mais pesados que o ar e dessa forma eles irão se acumular no ambiente com muito mais facilidade. Essa propriedade existe tanto para gases, como para os vapores dos líquidos. Se a densidade de vapor for

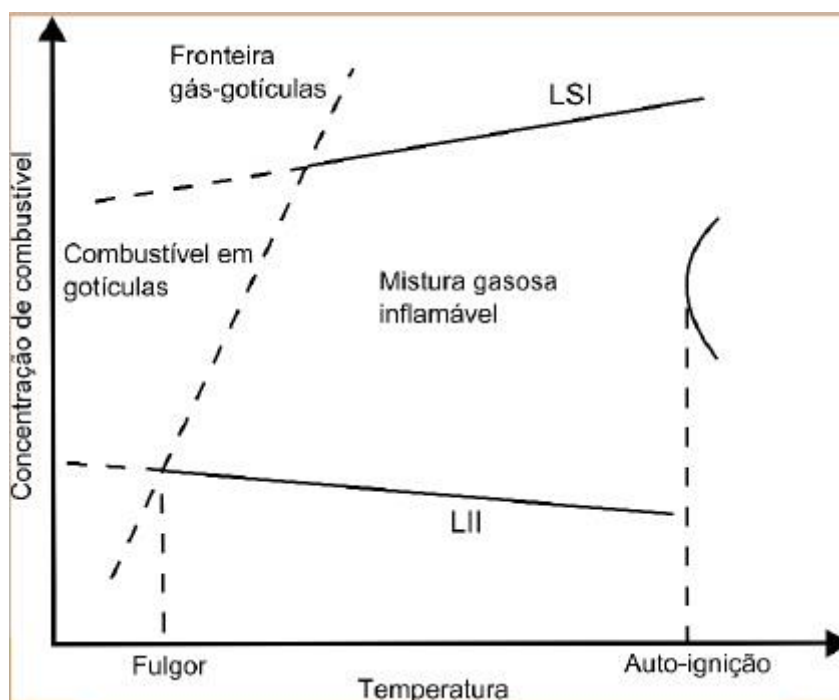
menor do que 1, então os vapores irão se dissipar e aqui o risco de intoxicação ou incêndio será menor.

2.2.2.4. Limites de Inflamabilidade

Além da densidade de vapor é importante conhecer os limites de inflamabilidade da substância. Essa propriedade informa em qual faixa de concentração o gás ou vapor forma mistura explosiva com o ar. Fora dessa faixa ou a mistura está muito pobre ou está muito rica e não ocorrerá a ignição.

Os limites de inflamabilidade variam com a identidade da substância e com a temperatura, como mostra o gráfico abaixo:

Figura 12 - relação entre limite de inflamabilidade, temperatura e concentração do combustível



2.2.2.5. Solubilidade

A regra geral da solubilidade é que os semelhantes se dissolvem, ou seja, polar dissolve polar e apolar dissolve apolar. Na perícia é importe

levar em conta a solubilidade das substâncias em água para saber se ainda pode haver traço de combustível na cena.

Líquidos combustíveis polares comuns como álcool de até 4 carbonos (metanol, etanol ou álcool etílico, propanol e butanol) e fenol são solúveis em água e portanto a água do combate pode extinguir qualquer traço desse agente acelerante.

Hidrocarbonetos homogêneos (apenas carbono e hidrogênio) são apolares e as forças de dispersão de London que mantém as moléculas unidas aumentam com o crescimento no tamanho da molécula, o que leva geralmente a um decréscimo na solubilidade. Ou seja, hidrocarbonetos pequenos de até 4 carbonos em média podem ser solúveis em água. Gasolina e diesel, que são hidrocarbonetos de cadeia longa não são solúveis em água.

Hidrocarbonetos heterogêneos (possuem outros elementos no meio da molécula, como O, Cl, F, N são solúveis em água quando apresentam uma cadeia carbônica pequena. Alguns como o éter ou cetona de cadeia carbônica pequena formam ligações de hidrogênio com a água e portanto são muito solúveis.

2.2.2.6. Ponto de ebulição

É interessante conhecer o ponto de ebulição de algumas substâncias para saber se elas ainda podem estar presentes no ambiente do incêndio. Substâncias com ponto de ebulição muito baixo provavelmente volatilizarão completamente durante um incêndio, a não ser que estejam protegidas dentro de uma matriz, como uma peça cerâmica, que é porosa.

O ponto de ebulição é mais alto à medida que as moléculas da substância interagem com mais força. Portanto, as substâncias polares possuem altos pontos de ebulição. Hidrocarbonetos mais pesados (cadeia carbônica longa) apresentam interações intermoleculares mais intensas que

os de cadeia menores, e assim o ponto de ebulição aumenta com o tamanho da cadeia carbônica.

Tabela 2 - Temperatura de ebulição dos líquidos em ordem crescente de polaridade

Substância	Fórmula	Temperatura de ebulição (°C)
Pentano (apolar)	C ₅ H ₁₂	36.1
Metanol	CH ₃ OH	64.7
Etanol (álcool etílico)	C ₂ H ₅ OH	78.5
Água	H ₂ O	100
Pentanol (álcool amílico)	C ₅ H ₁₁ OH	131.6

Muitos combustíveis hidrocarbonetos, como gasolina, querosene e diesel são misturas de hidrocarbonetos e por isso não possuem ponto de ebulição bem definido, mas uma faixa de ebulição. Primeiro evaporam os componentes mais leves da mistura.

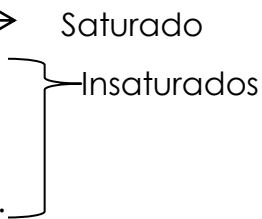
2.2.3. Hidrocarbonetos

São compostos formados basicamente por carbono e hidrogênio, mas podem possuir heteroátomos na estrutura, como oxigênio, flúor, cloro, nitrogênio etc.

Existem dois grandes grupos de hidrocarbonetos: os alifáticos e os aromáticos (possuem um benzeno como parte da estrutura).

Podem ser classificados de acordo com sua cadeia. Os hidrocarbonetos alifáticos podem ter a cadeia aberta (lineares) ou fechada (cíclicos).

Podem ser classificados também em razão da natureza de suas ligações:

- apenas ligações simples: alcanos → Saturado
 - 1 ou mais ligação dupla: alceno
 - 1 ou mais ligação tripla: alcino.
 - Insaturação = ligação dupla ou tripla.
- 

As duplas ou triplas ligações diminuem a mobilidade da molécula e assim elas não conseguem se enrolar e empacotar de maneira que os alcanos alcançam. Como resultado, o ponto de ebulição e fusão dos alcenos são geralmente mais baixos que dos alcanos. Um exemplo disso é a relação entre o óleo vegetal e a gordura sólida, como a margarina. O óleo vegetal é um alceno longo. Quando quebramos as ligações duplas do óleo por meio da adição de hidrogênio (reação de hidrogenação) transformamos sua cadeia em um longo alcano e assim as moléculas se empacotam melhor resultando em um sólido, a margarina.

Um fator determinante para a elevação do ponto de ebulição é o peso molecular, ou quantidade de carbono. Quando maior o peso molecular (mais carbono), maior é a interação entre as moléculas e assim, menor a P_{vap} e maior o ponto de ebulição.

2.2.3.1. Petróleo:

Os hidrocarbonetos derivados diretamente do petróleo são alcanos com número de carbonos variado. Como as eletronegatividades do C e do H são muito próximas (2,6 e 2,2 respectivamente) os alcanos são moléculas apolares e como tal a interação dominante é a Força de London. Como a intensidade dessa interação aumenta com o número de elétrons da molécula, os alcanos do petróleo ficam menos voláteis com o aumento da massa molar e, portanto, podem ser separados por destilação fracionada.

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos oleosa e menos densa que a água. A destilação fracionada é uma técnica de separação que se baseia nos diferentes pontos de ebulição dos componentes da

mistura. Consiste em aquecer a mistura e extrair as frações a medida que essas evaporam.

Os alcanos do petróleo mais leve são gases em temperatura ambiente, sendo eles do metano (C_1) ao butano (C_4). O pentano (C_5) é um líquido volátil. Do hexano (C_6) ao undecano (C_{11}) são líquidos moderadamente voláteis. Os membros mais pesados são as graxas, as parafinas e o asfalto.

Os alcanos são insolúveis em água e apresentam densidade menor, por isso quando ocorre qualquer vazamento em plataformas de extração de petróleo, o produto fica flutuando na água do mar e se espalha por grandes áreas.

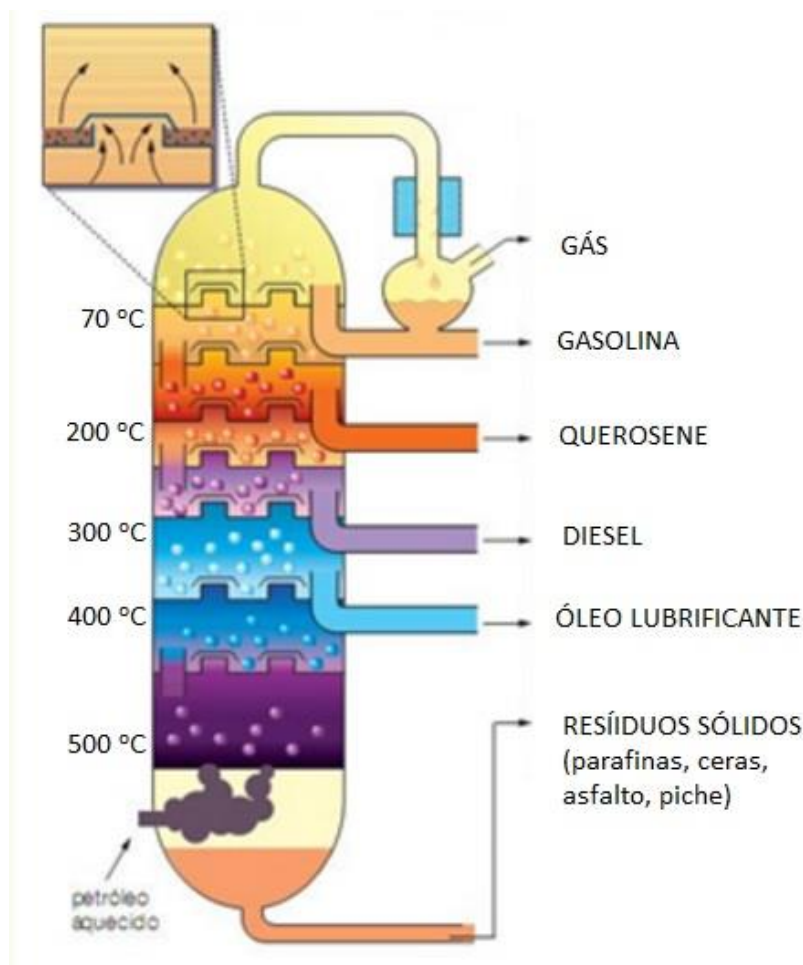
O querosene (C_{10} a C_{16}) tem faixa de ebulição maior que a gasolina (C_5 a C_{10}). O diesel, que possui cadeias com mais de 16 carbonos, terá uma faixa de ebulição maior ainda.

Gasolina, querosene e diesel são hidrocarbonetos homogêneos, lineares e saturados.

Etanol e os demais álcoois são hidrocarbonetos heterogêneos, pois possuem oxigênio na sua composição.

GLP é uma mistura de propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), ambos hidrocarbonetos homogêneos, lineares e saturados. É gás a temperatura ambiente.

GNV é uma mistura de metano (CH_4) e etano (C_2H_6). A densidade de vapor do GNV é 0,6-0,81 e a do GLP é 2,046 para o butano e 1,56 para o propano. O GLP, mais pesado tende a se acumular em regiões mais baixas. Já o GNV, mais leve que o ar, se acumula próximo ao teto, causando menor risco de intoxicação.

Figura 13 - Frações do petróleo

Fonte: Internet

3. IGNIÇÃO E COMBUSTÃO DOS MATERIAIS

A combustão dos materiais existentes em um local é afetada por diversos fatores internos e externos. O tipo do material, densidade, umidade, propriedades térmicas entre outros, são fatores internos. Em geral esses elementos podem ser medidos ou obtidos por meio de tabelas, tornando-os mais previsíveis e fáceis de serem obtidos após o incêndio. Por outro lado, os fatores externos, como ventilação, umidade relativa do ar, concentração de oxigênio no ambiente, temperatura ambiente, fluxo de calor, por exemplo, não são fáceis de serem obtidos e nem sempre os investigadores possuem essas informações após o incêndio. Mesmo incêndios em ambiente idênticos

e com materiais idênticos, podem apresentar características de combustão diferentes, bastando para tal que um dos fatores externos esteja ligeiramente diferente da situação anterior. Isso torna o estudo sobre a dinâmica da combustão um desafio, mesmo sendo de grande importância para a compreensão do comportamento do fogo.

3.1. Processo de ignição de materiais

É importante para os investigadores conhecerem como a ignição de gases e sólidos acontecem. Isso permite o teste de hipóteses e confrontação dos possíveis agentes ígneos dentro do ambiente sinistrado.

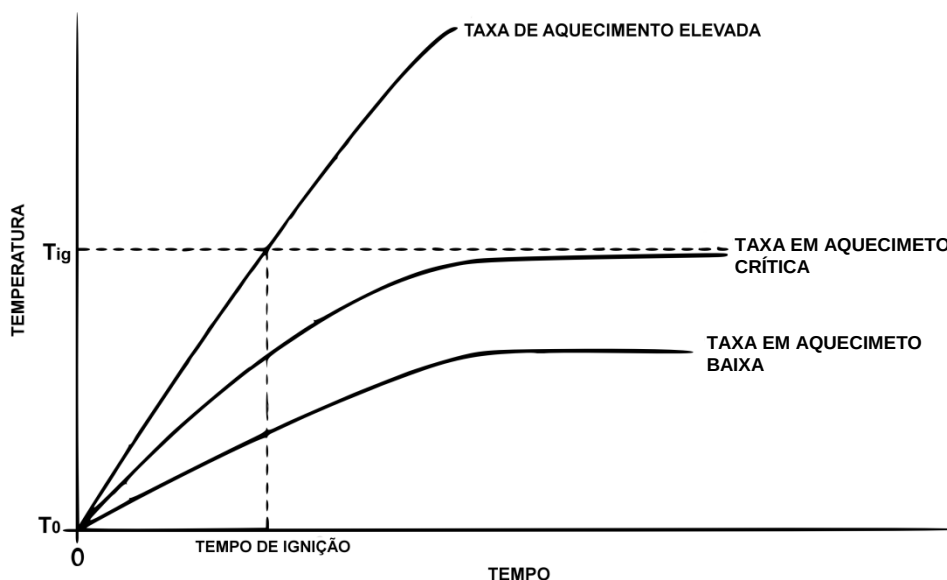
Apesar de associarmos a temperatura superficial como o principal parâmetro para determinar a ignição de um sólido, para que essa temperatura venha acontecer é necessário que haja um fluxo de calor no material. A ignição apenas irá ocorrer se o fluxo de calor for suficiente para elevar a temperatura da superfície acima da temperatura de ignição do material.

$$\dot{q}''_{\text{incidende}} \geq q''_{\text{crítico}}$$

Ou seja, para que um objeto venha a entrar em combustão é necessário um fluxo de calor mínimo (energia de ignição) que permita a elevação da temperatura no material acima da sua temperatura de ignição. A Figura 14 mostra a curva de crescimento na temperatura de um material com o tempo. Nela pode-se verificar a interseção da curva na taxa sobre aquecimento com a linha horizontal tracejada que marca a temperatura de ignição (T_{ig}) define o tempo de ignição desse material. No caso do gráfico abaixo, apenas a curva na taxa sobre crescimento elevada atinge valores acima da energia de ignição do material, permitindo que o material venha a entrar em combustão. Pelo gráfico também fica claro que o tempo de ignição depende do fluxo de calor que chega ao objeto (taxa

sobre aquecimento) e, caso essa taxa nunca atinja energia acima da energia de ignição, o material nunca entrará em ignição.

Figura 14 - Curva de crescimento em temperatura de um material com o tempo.



Fonte: CBMDF, 2009

A temperatura de autoignição (ver o módulo 1 do Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF) é aquela que o combustível entra em combustão sem a necessidade de uma fonte externa de calor. Ou seja, se o ambiente estiver na temperatura de autoignição, o material irá entrar em combustão. Com poucas exceções, essa é a temperatura mínima necessária para que um combustível venha iniciar a ignição. Uma exceção é quando ocorre um processo de catálise, no que um determinado material em contato com o combustível, permite que ele venha entrar em ignição a temperaturas mais baixas que a de autoignição. Exemplo disso é a platina que, em condições especiais, ao entrar em contato com alguns gases combustíveis dispersos no ar, permite sua ignição a temperaturas mais baixas. É uma situação que pode ocorrer em células de combustível, mas que é rara de acontecer em situações normais.

Como a temperatura de autoignição é, na maioria dos casos, muito alta, geralmente os processos de combustão espontânea são raros de acontecer, sendo necessária uma fonte externa de calor para iniciar a

queima. Por isso mesmo, é importante conhecer os principais tipos de fonte de calor (chama aberta, superfície aquecida, ou arco voltaico, por exemplo), suas propriedades e como eles afetam os materiais.

Os processos de ignição dos sólidos, líquidos e gases diferem um pouco, na medida em que a maioria dos combustíveis necessita estar no estado gasoso para entrar em ignição. Dessa forma, como mostrado no Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF, tanto os sólidos quanto os líquidos precisam, na sua maioria, pirolisar ou evaporar para iniciar a combustão. Dessa forma, é necessário um processo anterior para que os sólidos e líquidos se transformem em vapor e venham estar disponível para a ignição, enquanto que para os gases isso obviamente não é necessário.

Para que a mistura de vapor e ar entre em combustão, são necessárias quatro condições:

- A fonte de calor tenha energia suficiente, ou seja, acima da energia de ignição;
- O combustível esteja dentro da faixa de inflamabilidade.
- O calor deve atingir o vapor enquanto este se encontra dentro da faixa de inflamabilidade;
- O contato deve ter duração suficiente para que uma quantidade mínima de energia seja transferida da fonte de ignição para o vapor combustível.

Apenas se esses quatro critérios acima forem satisfeitos, ocorrerá a ignição do material. Ou seja, se a fonte de calor não for alta o suficiente e não estiver em contato, o objeto não atingirá a temperatura de ignição (Ver Figura 14). Como visto no capítulo Química da Combustão, se o combustível estiver abaixo (concentração pobre) ou acima (concentração rica) da faixa de inflamabilidade, por mais que o fluxo de calor ao atingir o vapor seja alto, ele não entrará em combustão. Por outro lado, se o tempo de exposição ao calor do material for muito curto, por mais que o fluxo de calor seja alto, o material não irá absorver calor suficiente para aumentar a temperatura acima da temperatura de ignição, não entrando em combustão. Exemplo

disso pode ser visto ao tentarmos acender uma vela com a chama de um fósforo. Essa chama tem energia acima da energia de ignição, mas, se essa chama não for deixada em contato com o vapor da parafina tempo suficiente, ela não entrará em combustão.

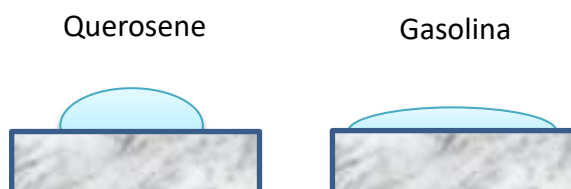
O comportamento de gases e líquidos (e os vapores) combustíveis é mais fácil de prever. No caso de gases, pela densidade e quantidade liberada, se pode estimar a concentração e volume ocupado em um ambiente. Em um mesmo ambiente com gás combustível é possível ter regiões abaixo do limite inferior, dentro da faixa e acima do limite superior de inflamabilidade e região dessas faixas dependerá da quantidade e do tempo de vazamento desses gases.

Nas residências, a principal fonte de gás combustível é o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), em especial nos botijões de 13 kg, mas tanto nos veículos, como em indústrias, é provável encontrar gás natural. O GLP comumente usado em residência é uma mistura de propano/propeno e butano/buteno, além de uma pequena quantidade de outros produtos. Como esses gases têm densidade maior que o ar, eles têm a tendência de se concentrarem nos pontos mais baixos do ambiente. Além disso, o limite inferior de inflamabilidade é baixo, bem como o seu limite superior, fazendo com que a faixa de inflamabilidade seja pequena. Os investigadores devem considerar para efeito de cálculo o menor limite inferior de inflamabilidade (1,8% para o butano) e o maior limite superior de inflamabilidade (9,5% para o propano) entre os dois gases para definir a faixa de inflamabilidade do GLP. O propano e o butano possuem poder calorífico próximos (49.952 kJ/kg para o propano e 49.255 kJ/kg para o butano) e normalmente as suas queimas não geram fuligem.

No caso de líquidos, o tamanho e profundidade da poça gerada pelo derramamento dependem da viscosidade e tensão superficial desses. Quando colocados sobre superfícies não porosas, líquidos viscosos, como o querosene ou diesel, podem gerar poças com aproximadamente

1mm de profundidade, enquanto líquidos menos viscosos, como gasolina ou metanol, geram poças com apenas 0,1 a 0,5 mm de profundidade (DEHANN, 2011). Ver Figura 15. Ou seja, para uma mesma quantidade de líquido, o querosene gera poças com menor área, porém mais profundas, que a gasolina, por exemplo. Em outras superfícies irá existir uma penetração do líquido, diminuindo assim a área da poça. Em residências diversos produtos de limpeza são combustíveis, mas gasolina pode ser encontrada em oficinas, indústrias ou mesmo centros comerciais que possuem geradores de eletricidade. Para o investigador é essencial buscar a Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico, FISPQ, (*Material Safety Data Sheet*, MSDS, em inglês) e assim obter informações confiáveis sobre os produtos encontrados no local do sinistro, inclusive sobre a combustibilidade, toxicidade e outras propriedades físicas e químicas desses produtos.

Figura 15 - Representação gráfica do tamanho e profundidade de uma poça de querosene e gasolina em superfície não porosa



Fonte: CBMDF

Para sólidos, o comportamento da combustão é mais complexo e difícil de ser avaliado, pois diversas variáveis modificam esse comportamento. Além de ter que passar por um processo de pirólise, ou outro que leve à produção de vapor combustível, é necessário que esse gás se misture com o ar e assim possa vir entrar em ignição. O processo de ignição dos sólidos é um fenômeno superficial, fazendo com que a temperatura na superfície seja crucial, não a temperatura do objeto como um todo. Dessa forma, é necessário que exista uma fonte com fluxo de calor suficiente para iniciar o processo de pirólise do sólido e esse fluxo de calor suficiente depende de diversos fatores, como densidade do material, condutividade térmica e da taxa sobre absorção de calor. Se um material

possui uma baixa taxa sobre absorção de calor, a fonte de calor terá que ser bem alta para fazer com que o sólido es quente e assim comece a pirolisar e liberar gases combustíveis.

Por exemplo, madeira mais seca é mais fácil para entrar em ignição que madeiras com maior teor de umidade. Além disso, o modo como o material sólido se apresenta, em pedaço ou em pó, por exemplo, também pode alterar de sobremaneira, a ignição e a velocidade de propagação do material.

3.2. Principais fontes de ignição

Diversos objetos e materiais podem figurar como fonte de ignição, em especial os que possuem chamas abertas. As principais fontes de ignição encontradas em um incêndio são:

3.2.1. Fósforo

Por ser um material feito para iniciar o fogo, é fonte comum de início do incêndio, seja urbano, seja florestal. A taxa de liberação de calor é da ordem de 50 a 80 W e a temperatura média entre 700 e 900 °C, após a queima da cabeça do fósforo. Esse nível de calor e temperatura permite a ignição de grande maioria dos materiais por contado direto com a chama, mas, como a quantidade de calor liberado é baixa, em geral não permite a ignição de materiais por radiação. No caso dos gases, como eles podem ser levados ao encontro da chama, mesmo sem aparente contato pode ocorrer ignição.

3.2.2. Isqueiros

Os isqueiros a gás são também fontes comuns de iniciar um fogo. Em geral o gás utilizado é o butano e pode apresentar chamas com temperaturas da ordem de 1400 °C. Em pesquisas realizadas pela

Universidade de Maryland nos EUA sobre isqueiros ajustados para liberar 75 W, foram medidas temperaturas de até 1.749 °C e, a 2,5 cm da ponta da chama, pico do fluxo de calor na ordem de 169 kW/m².

3.2.3. Velas

São fontes também comuns de início do incêndio, pois o uso é muito difundido, tanto em situações de falta de energia ou associadas a demonstrações religiosas. Além disso, elas vêm sendo utilizadas cada vez mais como decoração de ambiente. Em geral a vela libera entre 50 e 80 W de calor e a chama possui temperaturas médias entre 800 e 900 °C, com alguns pontos atingindo até 1.400 °C. Pelo tamanho e forma da chama, bem como temperatura e taxa de liberação de calor, a vela pode derreter até fios finos de cobre e de ferro, mas não possui energia suficiente para fios mais grossos. Em pesquisa realizada por Dillon e Hamins (2003), foi possível medir o fluxo de calor em até 70kW/m² logo acima do pico da chama, chegando a 40 kW/m² aos 5 cm acima do pico e 20 kW/m² aos 17 cm acima da ponta.

Na tabela abaixo (Tabela 3) são apresentadas as temperaturas estimadas de algumas fontes de calor que podem iniciar um incêndio.

Tabela 3 - Estimativa da temperatura sobre algumas fontes de calor

Fonte de calor	Temperatura (°C)
Vela	700 – 1.400
15 cm acima das chamas da vela	200
Arco elétrico	4.000
Chama do álcool	1.200 – 1.700
Chama do fósforo	1.500
Chama do gás	1.000 – 1.500
Cigarro	300 – 400
Fósforo	800
Lâmpada	170 – 200
Madeira queimando	1.000 – 1.400
Oxiacetileno	2.000 – 3.000

Fonte: GRIMWOOD, 2003

Outros materiais e objetos também figuram como fontes de ignição, tais como:

3.2.4. Arco elétrico

Dependendo da duração, pode liberar energia na ordem de milijoules até milhões de joules. Esse efeito considera desde um pequeno arco gerado pelo contado da mão de uma pessoa numa parte metálica, até mesmo a queda de um raio. A capacidade de o arco iniciar um incêndio dependerá fortemente da duração, fluxo de corrente e susceptibilidade dos combustíveis próximos. Esses efeitos serão tratados no capítulo Incêndio de Origem Elétrica no Módulo de Conhecimentos Específicos deste manual.

3.2.5. Objetos e superfícies aquecidas:

Um objeto aquecido pode ter energia e temperatura suficientes para, ao entrar em contato com um combustível, iniciar um incêndio. É importante salientar que objetos e materiais aquecidos não são,

necessariamente, as fontes primárias do incêndio, pois um processo anterior pode ter gerado o aquecimento, como o contato direto com uma chama aberta, fricção com outro material, ou pelo fluxo de corrente passando através dele, como, por exemplo, em eletrodomésticos e outros equipamentos elétricos.

O tempo de contato e distância da superfície aquecida são de extrema relevância para iniciarem a combustão de um sólido combustível. No caso de líquidos voláteis que estejam, por exemplo, pingando sobre uma superfície aquecida, geralmente é necessário que a superfície esteja algumas centenas de graus acima da temperatura de ignição do material. Isso decorre no fato do líquido, ao pingar na superfície aquecida, se evapora e esses vapores, por convecção, ascendem e se distanciam da superfície aquecida rapidamente. Em geral, quanto menor for o ponto de fulgor do líquido combustível, maior deverá ser a temperatura da superfície aquecida para iniciar a ignição (DEHANN, 2011).

No caso de um material combustível ao redor de uma superfície aquecida, como, por exemplo, uma camisa “abraçando” uma lâmpada incandescente, o risco de se iniciar um incêndio é bem maior. Isso decorre no fato do contato direto com a superfície aquecida, mas também no fato da lâmpada não perder calor para o meio, fazendo que todo o calor gerado seja praticamente conduzido para o material combustível. Mesmo que normalmente as superfícies aquecidas não estejam em contato direto com o material combustível, é importante conhecer temperaturas superficiais de alguns objetos. Lâmpadas alógenas profissionais de 300W, por exemplo, possuem temperatura entre 593 e 685 °C na lâmpada, sendo suficiente para gerar a ignição de misturas ar/vapores combustível, bem como de sólidos (Figura 16), e de 180 a 215 °C no vidro de proteção (DeHAAN e LCOVE, 2011).

Figura 16 - Lâmpada alógena profissional

Fonte: http://www.northerntool.com/images/product/2000x2000/292/29276_2000x2000.jpg.

Outro exemplo de superfície aquecida é o escapamento de automóvel. Resultados experimentais apontam temperaturas na faixa de 200 a 600 °C (COOK e IDE, 1985, Apud BRABAUSKAS, 2008).

Na tabela abaixo são apresentados alguns valores da temperatura de uma superfície aquecida necessária para provocar a ignição de líquidos combustíveis comumente encontrados em veículos. O experimento foi realizado simulando a queda de gotas de líquido combustível diretamente sobre um cano aquecido (SEVERY et al., Apud BRABAUSKA, 2008).

Tabela 4 - Temperatura de ignição dos líquidos combustíveis em uma superfície aquecida

Substância	Temperatura da superfície aquecida (°C) ³	
	Ignição marginal	Ignição consistente
Fluido de freio	410	500
Diesel	521	549
Gasolina (com chumbo)	510	610
Gasolina (sem chumbo)	520	627
Óleo de motor	320	420
Propano líquido	675	775

Fonte: SEVERY et al., APUD BRABAUSKA, 2008

³ Valores aproximados de temperatura

No caso da gasolina automotiva, por exemplo, estudo demonstra que ela só irá entrar em ignição quando em contato com uma placa aquecida caso ela esteja com temperatura acima de 750 °C, mesmo sendo a temperatura de autoignição da gasolina automotiva entre 257 e 280 °C (COLWELL, 2005). De forma geral, recomenda-se que a temperatura de uma superfície aquecida tem que estar pelo menos 200 °C acima da temperatura de autoignição para locais cujo confinamento não seja extremo, onde extremo seria a superfície aquecida circundando completamente o combustível (Babrauskas, 2008). Mas, em condições de confinamento moderadas, a volatilidade do combustível é mais importante que a temperatura de ignição. Combustíveis mais voláteis são mais difíceis de ter ignição decorrente do contato com uma superfície aquecida. A gasolina, combustível comum de ser encontrado, é bem difícil de ter ignição devida a uma superfície aquecida, mas pode acontecer, dependendo de quão alta for a temperatura da superfície. Por outro lado, a gasolina necessita de uma pequena quantidade de energia para inflamar, fazendo com que um arco elétrico seja propício para dar início a ignição (Babrauskas, 2008).

3.2.6. Fricção

Como fonte de ignição, a fricção é um caso especial de objetos aquecidos. O atrito de duas superfícies em movimento gera calor, tornando as superfícies muito quente, como, por exemplo, nos discos de freios de um veículo. Em geral, esse processo não é fonte comum de ignição, mas, dependendo das circunstâncias, pode ser importante, como no caso de maquinários. Além do próprio aquecimento das superfícies por atrito, pode ocorrer também a liberação de material incandescente (fagulha), aumentando a chance de ter a ignição do material combustível próximo. O atrito com ligas de níquel-cobre podem gerar fagulhas com temperatura superficiais de 300 °C, sem incandescência, enquanto o atrito de

ferramentas de aço podem gerar fagulhas com temperatura de até 1.400 °C e com incandescência, sendo portanto muito mais perigosas. (DEHANN, 2011). Motores de veículos, máquinas de moagem, entre outros, podem ser fontes de fagulhas, mas correntes ou mesmo escapamentos soltos em contato com o asfalto das rodovias também podem ser fontes de fagulhas aquecidas.

3.2.7. Calor Radiante

O calor radiante proveniente do próprio incêndio também pode ser fonte secundária que leve a ignição de outros objetos a certa distância. O próprio sol, mesmo tendo, em geral, fluxo de calor menor que 1kW/m², pode levar a ignição de uma material combustível, caso os raios sejam concentrados através de uma lente e focados no material, pois o fluxo de calor pode chegar de 10 a 20 kW/m². No caso de incêndios florestais, materiais que não possuam uma distância focal definida, geralmente, não conseguem concentrar os raios solares em uma forma de iniciar a ignição da vegetação, como garrafas de vidro vazias, vidros quebrados ou refletores planos.

3.2.8. Reação química

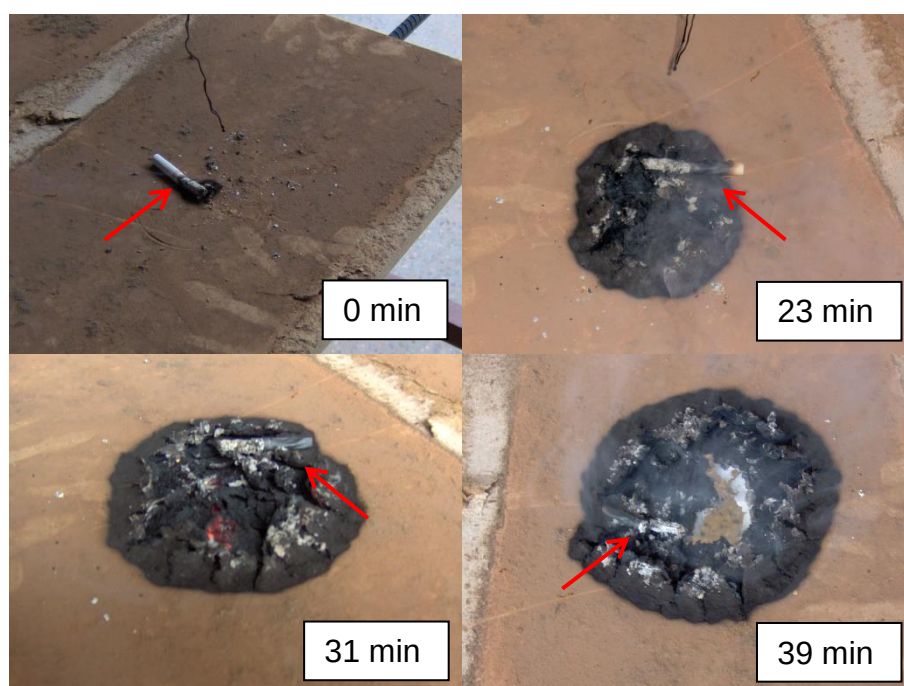
Diversas reações químicas podem gerar calor suficiente, e até mesmo chamas, para iniciar a ignição de um material combustível. A mistura de materiais corrosivos com metais ou a mistura de cloro (muito utilizado em piscina) com líquido combustível pode levar a reações exotérmicas. Apesar desse não ser uma fonte normal de ignição, pode ocorrer em depósitos ou mesmo em locais de reciclagem.

3.2.9. Cigarro

Apesar do cigarro ser um fonte possível de iniciar um incêndio, com o advento de cigarros autoextinguíveis, em especial nos EUA, espera-se que cada vez menos eles venham a funcionar como uma fonte de ignição.

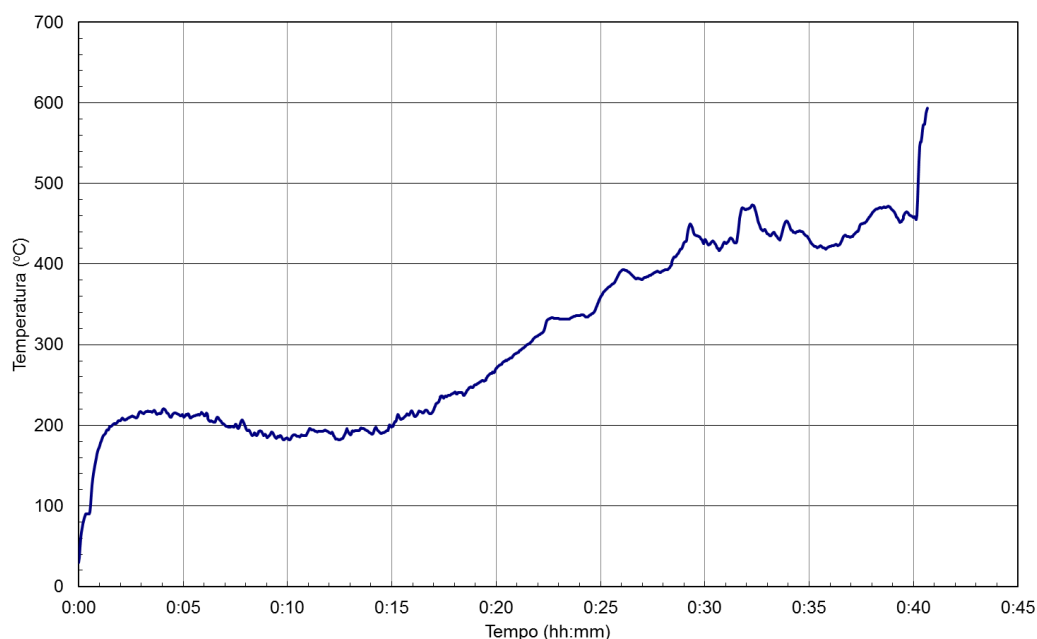
Em testes realizados no Centro de Investigação e Prevenção de Incêndio do CBMDF (CIPI, atualmente DINVI) em 2007, foi possível verificar que um cigarro deixado sobre uma placa de papel prensado utilizado como forro (Figura 17) foi suficiente para iniciar uma combustão lenta no material combustível. A temperatura no forro chegou próximo de 600 °C, momento em que o sensor termopar se descolou do material (Figura 18).

Figura 17 - Fotos da propagação do fogo devido ao cigarro sobre a placa de papel prensado. A seta identifica o cigarro



Fonte: CBMDF

Figura 18 - Gráfico da evolução da temperatura em uma placa de papel prensado devido à queima de um cigarro



Fonte: CBMDF

3.2.10. Chama aberta: mais frequente na cozinha, ou mesmo em ambiente com velas

Infelizmente, os dados sobre as principais fontes de ignição no Brasil como um todo são escassos e imprecisos. Dados sobre os Estados Unidos da América mostram as principais fontes de ignição em incêndios residenciais (ver Tabela 5). A principal delas são os sistemas de aquecimento residencial, algo não muito presente no Brasil. A segunda principal fonte de ignição são as falhas elétricas. Os incêndios com origem elétrica são causados principalmente por arco voltaico (65%) e sobreaquecimento (35%), sendo que quase metade de todos os incêndios de origem elétrica (42%) é devida ao sistema de distribuição e a raios. Outras fontes são equipamentos como ventiladores, ar condicionado e aquecedores de água (14%), secadoras e lavadoras de roupa (6%), eletrônicos de entretenimento e escritório (3%), lavadora de louça (2%), e geladeiras, freezers e fazedores de gelo (2%). A chama aberta (isqueiros, fósforos e vela, etc.) é a terceira

principal fonte de ignição das residências nos EUA e, apesar de incêndios causados pelo uso do cigarro estarem em quarto lugar no número de ocorrências, são os que geram mais fatalidades.

Tabela 5 – Principais fontes de ignição dos incêndios residenciais nos EUA

Fonte de ignição	Incêndios	Mortes	Feridos
Sistema de aquecimento residencial	45.200	195	775
Falha elétrica	20.200	210	900
Chama aberta	18.200	175	1.100
Associado ao uso do cigarro	9.600	330	800

Fonte: TROITZSCH, 2016.

3.3. Cálculo do tempo de ignição

Para se calcular o tempo de ignição, é necessário saber quando a superfície de um material combustível atinge a temperatura de ignição. Para efeitos de cálculo não basta apenas saber o calor que atinge a superfície do material e suas propriedades, mas também se esse material pode ser considerado fino ou espesso. Para o material ser julgado fino não depende apenas de sua dimensão física, mas se a temperatura pode ser estimada como constante em toda a espessura do material durante todo o processo de aquecimento. Exceção à condição de aquecimento muito lento do material (madeira em contato com tubulação de aquecimento de água, por exemplo). Em geral, um material pode ser considerado fino se a sua espessura for de 1 a 2 mm, como por exemplo uma folha de papel ou o tecido de uma roupa.

No caso de um material fino, para que ele se aqueça é necessário que o fluxo de calor incidente no material seja maior que o fluxo de calor perdido pelo material. Dessa forma, o fluxo de calor líquido (diferença entre o fluxo de calor incidente e o perdido) será convertido em

energia interna no material, aumentando assim sua temperatura. Quão rápido isso irá acontecer dependerá da capacidade do sólido para armazenar energia. A capacidade de um material armazenar energia é medida por ρcl , ou seja, o produto de ρ (densidade do material), por c (calor específico do material) e l (espessura do material). Assim sendo, para um material fino a temperatura dele irá crescer no tempo da seguinte forma:

$$T = T_{\infty} + \frac{\dot{q}'' t}{\rho c l}$$

Onde T_{∞} é a temperatura inicial do material.

Essa equação é verdadeira apenas por um período curto de tempo e enquanto o fluxo de calor incidente é alto. Essa evolução com o tempo pode ser vista na Figura 19. E, como dito anteriormente, caso o fluxo de calor seja abaixo do valor crítico, a temperatura no material não irá atingir a temperatura de ignição, levando, provavelmente, a não iniciar a ignição. Pode ser que ocorra a ignição de materiais mesmo que a temperatura não atinja a temperatura de ignição, mas são condições específicas e não correspondem à situação normal.

Dessa forma, rescrevendo a equação anterior, o tempo de ignição para material tipo fino, pode ser dado como:

$$t_{ig} = \rho c l \frac{(T_{ig} - T_{\infty})}{\dot{q}''}$$

Onde:

- t_{ig} é o tempo de ignição
- ρ é a densidade dada em kg/m³
- c é o calor específico dado em kJ/kg·K
- l é a espessura dada em m
- T_{ig} é a temperatura de ignição dada em K

- T_{∞} é a temperatura na outra face, em geral é a temperatura ambiente, dada em K
- $\dot{q}''$ é o fluxo de calor incidente dado em kW/m²

Para materiais espessos, normalmente com espessura maior que 2 mm, pode se trabalhar com uma equação similar a encontrada para materiais finos. Uma solução aproximada é dada por:

$$t_{ig} = C(k\rho c) \left[\frac{(T_{ig} - T_{\infty})}{\dot{q}''} \right]^2$$

Onde:

- t_{ig} é o tempo de ignição
- C é uma constante independente do tipo de material, mas relativamente dependente do fluxo de calor. C pode ser considerado $(\pi/4)$ para casos ideais sem perda de calor na superfície e $(2/3)$ considerando a perda de calor.
- ρ é a densidade dada em kg/m³
- c é o calor específico dado em kJ/kg·K
- k é a condutividade térmica dada em W/m·K
- T_{ig} é a temperatura de ignição dada em K
- T_{∞} é a temperatura na outra face, em geral é a temperatura ambiente, dada em K
- $\dot{q}''$ é o fluxo de calor incidente dado em kW/m²

Neste manual será usado o valor de $(\pi/4)$. Logo:

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} (k\rho c) \left[\frac{(T_{ig} - T_{\infty})}{\dot{q}''} \right]^2$$

Alguns valores típicos do tempo de ignição dos materiais espessos que podem ser vistos na tabela baixo.

Tabela 6 – Fluxo de calor crítico e tempo de ignição de alguns materiais

Material	Fluxo de calor crítico [kW/m ²]	Tempo de ignição [s]
Plexiglas, Espuma de poliuretano, carpete acrílico	10	300
Carpete de algodão	20	70
Papel na placa de gesso	20	150
Placa de aglomerado de madeira	20	250
Espuma de polyisocyanurate	30	5
Carpete de nylon/algodão	30	70
Placa de Compensado	30	150

Fonte: TROITZSCH, 2016.

Com essas equações, e considerando a tabela abaixo, é possível calcular o tempo de ignição dos diversos materiais.

Tabela 7 - Propriedades sobre ignição de alguns materiais comuns

Material	$k\rho c$ $\left[\left(\frac{kW}{m^2K}\right)^2 s\right]$	T_{ig} [°C]	q'' crítico $\left[\frac{kW}{m^2K}\right]$
Madeirite (0,635cm)	0,46	390	16
Madeirite (1,27cm)	0,54	390	16
Madeirite resistente ao fogo (1,27cm)	0,76	620	44
Compensado (6,35mm)	1,87	298	10
Compensado (3,175mm)	0,88	365	14
Compensado envernizado (3,4mm)	1,22	400	17
Compensado laqueado	0,79	400	17
Placa de fibra com isolante térmico	0,46	355	14
Espuma rígida (2,54cm)	0,03	435	20
Espuma flexível (2,54cm)	0,32	390	16
Poliestireno (5,08cm)	0,38	630	46
Policarbonato (1,52mm)	1,16	528	30
Acrílico (Polimetilmetacrilato - PMMA) tipo C (1,27cm)	1,02	378	15

Material	$\frac{k\rho c}{\left[\left(\frac{kW}{m^2K}\right)^2 s\right]}$	$T_{ig} [^{\circ}C]$	$q'' \text{ crítico} \left[\frac{kW}{m^2K}\right]$
Acrílico (Polimetilmetacrilato - PMMA) <i>polycast</i> (1,59mm)	0,73	278	9
Carpete n.º 1 de algodão padrão	0,11	465	23
Carpete n.º 2 de algodão não tratado	0,25	435	20
Carpete n.º 2 de algodão tratado	0,24	455	22
Carpete mistura de nylon/algodão	0,68	412	18
Carpete acrílico	0,42	300	10
Placa de gesso comum (1,27mm)	0,45	565	35
Placa de gesso resistente ao fogo (1,27cm)	0,40	510	28
Placa de gesso com papel de parede	0,57	412	18
Telha asfáltica	0,57	378	15
Telha de fibra de vidro	0,50	445	21
Vidro reforçado com poliéster (2,24mm)	0,32	390	16
Vidro reforçado com poliéster (1,14mm)	0,72	400	17

Fonte: QUINTIERE, 1997

Exemplo 1 - Tempo de ignição

Calcule o tempo de ignição de uma cortina de algodão com aproximadamente 1 mm de espessura, cuja temperatura de ignição é de 300°C e está submetida a um fluxo de calor de 20 kW/m². Considere a temperatura ambiente de 20°C.

RESPOSTA

Como a cortina tem um 1mm de espessura e o aquecimento não é lento, podemos considerá-lo um material fino. Dessa forma, temos que:

$$\bullet \quad t_{ig} = \rho c l \left(\frac{T_{ig} - T^{\infty}}{\dot{q}''} \right)$$

Considerando para o algodão que $\rho = 0,57 \text{ g/cm}^3$, $c = 0,34 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$, e $T^{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$, e que $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ W} \cdot \text{s}$, temos que:

$$\bullet \quad t_{ig} = 0,57 \times 10^6 \cdot (0,34 \times 4,1868) \times 1 \cdot 10^{-3} \left(\frac{573 - 293}{20 \cdot 10^3} \right)$$

Logo:

$$\bullet \quad t_{ig} \approx 11 \text{ s}$$

Exercício 1 - Tempo de Ignição

Calcule o tempo de ignição para o mesmo material e condições do exemplo acima, mas para fluxos de calor de 10, 30 e 40 kW/m².

Exercício 2 - Tempo de Ignição

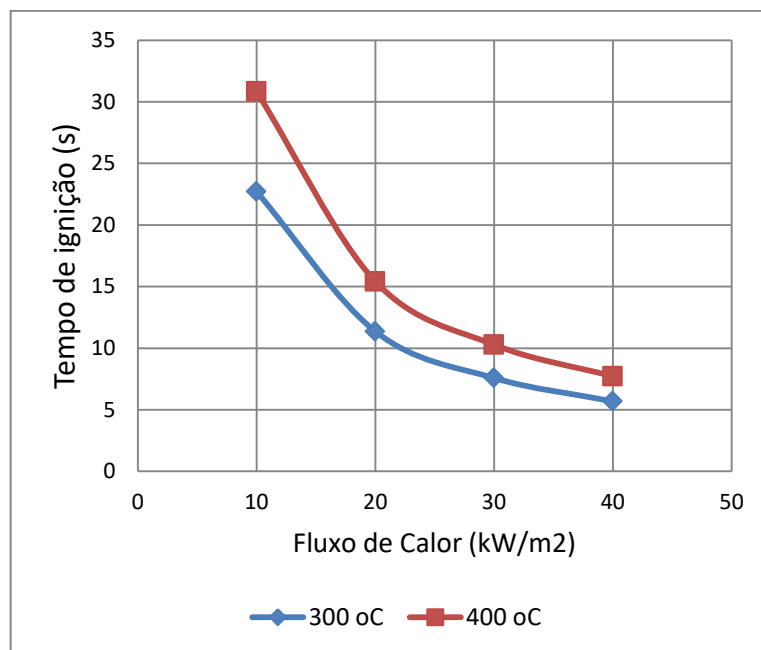
Faça o mesmo cálculo do exercício anterior, mas agora considerando que a temperatura de ignição do material é de 400 °C. Ou seja, considere o mesmo material, com temperatura de ignição diferente e submetido a diferentes fluxos de calor de 10, 30 e 40 kW/m².

Exercício 3 - Tempo de Ignição

Compare os resultados obtidos no Exercício 1, com os do Exercício 2. Quão diferentes são os valores do tempo de ignição na situação de fluxo de calor mais baixo? E na situação de fluxo de calor mais elevado? Faça um gráfico com os dois conjuntos de dados.

Com os cálculos do exemplo e dos exercícios anteriores, pode-se analisar o tempo de ignição em uma cortina de algodão nas situações de temperatura de ignição e fluxo de calor diferentes. Nesses exercícios é importante salientar a diferença que faz a temperatura de ignição dos materiais no tempo de ignição quando o fluxo de calor é baixo. Na medida em que o fluxo de calor incidente aumenta, além do tempo de ignição diminuir significativamente, a diferença do tempo de ignição para materiais com diferentes temperaturas de ignição também diminui enormemente. A diferença era de 23 e 31 segundos, em 300 °C e 400 °C respectivamente, a 10 kW/m², e passa a 6 e 8 segundos, em 300 °C e 400 °C respectivamente, a 40 kW/m²). Isso ajuda explicar como ocorre a generalização do incêndio (*flashover*) em ambiente quando o fluxo de calor atinge altos valores. Quanto maior o fluxo de calor incidindo sobre um material, menores e mais próximo ficam os tempos de ignição dos materiais com temperaturas de ignição diferentes. Na medida em que os tempos ficam mais próximos, eles tendem a entrar em ignição quase que ao mesmo tempo, ocorrendo assim a generalização do incêndio (*flashover*).

Isto pode ser verificado no gráfico a seguir, onde se pode notar que os tempos de ignição de dois materiais com temperatura de ignição diferente se aproximam na medida em que o fluxo de calor incidente aumenta.

Figura 19 - Gráfico do tempo de ignição (Exercício 3)

Exemplo 2 - Tempo de ignição

Determine quando um compensado com 1,27 cm de espessura e temperatura de ignição de 350 °C, submetido a um fluxo de calor de 25 kW/m², entrará em ignição. Se apenas um lâmina fina do compensado, com espessura de 0,5 mm, também for aquecida com o mesmo fluxo de calor, quanto tempo levará para entrar em ignição? Considere: $T_{ig}=350^{\circ}\text{C}$, $k=0,15 \times 10^{-3}$ kW/m-K, $\rho=640$ kg/m³, $c=2,9$ kJ/kg-K.

RESPOSTA

Para o primeiro material (caso espesso), temos que:

$$tig = \frac{\pi}{4} (k\rho c) \left[\frac{T_{ig} - T_0}{\dot{q}''} \right]^2$$

$$tig = \frac{3.14}{4} 0,15 \times 10^{-3} \cdot 640 \cdot 2,9 \left[\frac{623 - 293}{25} \right]^2$$

$$tig \approx 38 \text{ s}$$

No segundo material (caso fino), temos que:

$$tig = \rho c l \frac{(T_{ig} - T_0)}{\dot{q}''}$$

$$tig = 640 \cdot 2,9 \cdot 0,5 \times 10^{-3} \cdot \frac{623 - 293}{25}$$

$$tig \approx 12 \text{ s}$$

Ou seja, o material espesso irá demorar quase três vezes mais tempo para entrar em ignição.

Exercício 4 - Tempo de Ignição

Considere o exemplo anterior, mas agora com temperatura de ignição de 390°C . Ou seja, considere $T_{ig}=390^{\circ}\text{C}$, $k=0,15 \times 10^{-3} \text{ kW/m-K}$, $\rho=640 \text{ kg/m}^3$, $c=2,9 \text{ kJ/kg-K}$.

Verifique o quanto esses valores se diferenciam do exemplo anterior, quando a temperatura de ignição era menor (350°C). Os tempos são muito diferentes com o aumento de 50°C na temperatura de ignição do material no caso espesso e no fino? Qual apresenta maior diferença absoluta?

3.4. Processo de propagação da chama

Após a ignição que acontece com a mistura ar e combustível (chama difusa), o próximo passo sobre o crescimento no incêndio é a propagação superficial da chama. Ele é o processo pelo qual o perímetro do fogo cresce, ou seja, o aumento na extensão da região de queima. A área de propagação da chama não é a extensão dela, mas da área que está pirolisando/vaporizando e assim fornecendo gás combustível para a queima.

A propagação das chamas está intimamente relacionada ao aumento da região de vaporização ou de pirólise a partir do ponto de ignição. Entender a forma como uma chama se propaga é essencial para o perito, uma vez que permite um melhor entendimento de como os incêndios se comportam quantitativa e qualitativamente. Caso não haja um aumento na região de vaporização ou pirólise, o incêndio não irá se propagar, fazendo com que o material seja autoextinguível. Obviamente, não é porque um material foi considerável autoextinguível em determinado teste ou situação, que ele será em condições ou testes diferentes.

Para combustíveis sólidos, as temperaturas essenciais no processo de propagação das chamas são o ponto de ignição (ao contrário do ponto de fulgor uma vez que sempre existirá uma chama próxima para manter a combustão) e a temperatura do sólido na região que ainda não foi afetada pela chama.

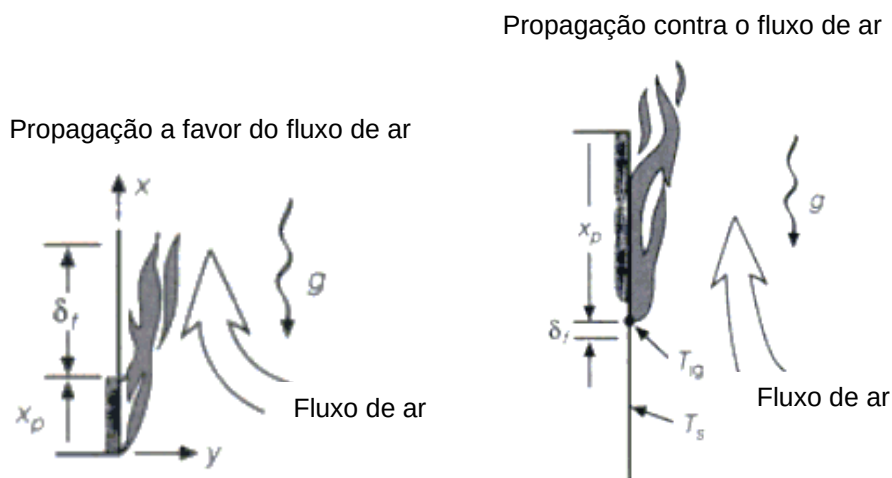
A chama transfere calor de diversas formas para a região próxima a ela, essa região afetada pelo fluxo de calor proveniente da chama é indicada por δf . Em geral o fluxo de calor nessa região é influenciado por diversos fatores, como orientação, vento e a própria natureza do combustível sólido ou líquido.

No caso de uma superfície, a velocidade de propagação da frente de chama pode ser dada por:

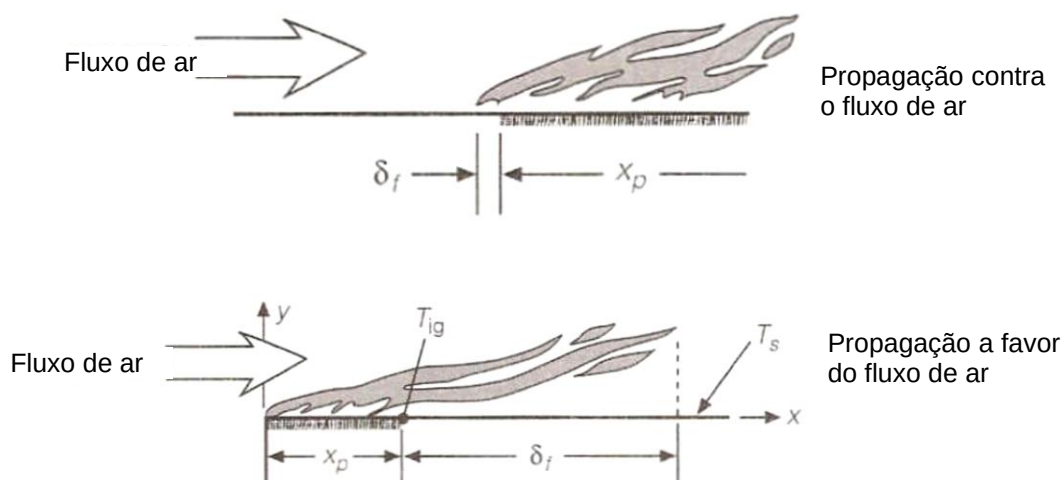
$$v_f = \frac{\delta f}{t_{ig}}$$

Onde: δf é a região de influência da chama e t_{ig} o tempo de ignição.

Nas figuras a seguir se pode verificar a região de pirólise (X_p) e a região de influência a favor e contra o fluxo de ar da chama quando da propagação dela em uma superfície vertical (Figura 20) ou em uma superfície horizontal (Figura 21). Fica claro que a região de influência (δf) contra o fluxo de ar é bem menor que na região a favor.

Figura 20 - Propagação vertical da chama a favor e contra o fluxo de ar

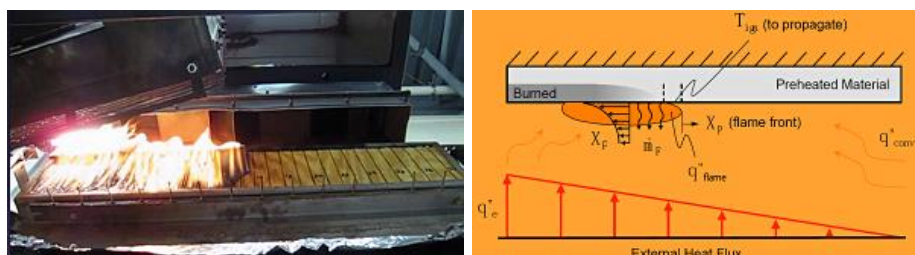
Fonte: QUINTIERE, 1997

Figura 21 - Propagação lateral da chama a favor e contra o fluxo de ar

Fonte: QUINTIERE, 1997

Encontrar a região de influência (δ_f) não é trivial. Por conta disso, são realizados teste com base em norma (ASTM E 1321 - Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties⁴) e encontrados parâmetros que permitam a determinação da velocidade de propagação.

⁴ Método de teste padrão para determinar as propriedades de ignição de materiais e propagação de chamas. Tradução do autor.

Figura 22 - Aparato de teste da ASTM E 1321

Fonte: <http://www.swri.org/4org/d01/fire/firetech/images/de129727.jpg>

Como visto anteriormente, para materiais espessos o tempo de ignição é dado por:

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} (k\rho c) \left[\frac{T_{ig} - T_s}{q''} \right]^2$$

Para a propagação lateral ou para baixo e não considerando o fluxo de ar, é verificado que a propagação depende apenas do combustível, ou seja, do q'' . Temos então que:

$$v_f = \frac{\frac{4}{\pi} q''^2 \delta f}{k\rho c (T_{ig} - T_s)^2}$$

Logo:

$$v_f = \frac{\Phi}{k\rho c (T_{ig} - T_s)^2}$$

Onde: $T_s >$ Temperatura crítica e Φ é propriedade apenas do combustível, pois não é considerado movimento de ar.

Tabela 8 - Dados de propagação lateral da chama pela ASTM E 1321

Material	T_{ig} [°C]	$k\rho c$ $\left[\left(\frac{kW}{m^2K}\right)^2 s\right]$	Φ $\left[\frac{kW^2}{m^3}\right]$	$T_{s,min}$ [°C]
Chapa de fibra de madeira (MDF)	355	0.46	2.3	210
Chapa de madeira	365	0.88	11.0	40
Compensado	390	0.54	13.0	120
Acrílico (Polimetilmetacrilato - PMMA)	380	1.0	14.4	<90
Espuma plástica rígida	390	0.32	11.7	120
Espuma plástica flexível	435	0.03	4.1	215
Carpete acrílico	300	0.42	9.9	165
Papel de parede	412	0.57	0.8	240
Telha asfáltica	378	0.70	5.4	140
Vidro reforçado de poliéster (1,14mm)	390	0.32	10.0	80

Fonte: QUINTIERE, 1997

Diferentemente da propagação para baixo, onde δf é pequena e praticamente constante (~ 1 mm), a zona de influência na propagação para cima ou a favor do fluxo pode aumentar ou diminuir fortemente devido às propriedades de combustão e do fluxo, afetando o comprimento da chama. Dessa forma, calcular a propagação para cima ou influenciada pelo fluxo de ar de forma simples ainda não é possível.

Exemplo 3 – Velocidade de propagação lateral

Calcular a velocidade de propagação lateral da chama sem ação do vento em uma placa de espuma rígida (PU) submetida a uma temperatura $T_s=225^\circ\text{C}$, dados: $T_{ig}=435^\circ\text{C}$, $\Phi=4,1\text{kW}^2/\text{m}^3$, $T_{cr}=215^\circ\text{C}$, $k\rho c=0,03(\text{kW}/\text{m}^2\text{K})^2\text{s}$

RESPOSTA

Pela aplicação direta da fórmula, a velocidade de propagação é dada por:

$$v_f = \frac{\Phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2} = \frac{4,1}{0,03 \cdot (708 - 488)^2}$$

$$v_f \approx 3 \text{ mm/s}$$

Exercício 5 – Velocidade de propagação da chama

Calcule a velocidade de propagação lateral considerando os seguintes materiais:

- a) madeirite (plywood),
- b) acrílico (PMMA), e
- c) carpete acrílico

Considere os dados da tabela acima.

O cálculo da velocidade de propagação pode ser uma excelente ferramenta de avaliação no tempo de queima, em especial para incêndios que não propagaram completamente, seja pelo combate, seja por falta de oxigênio. Dessa forma, se souber as propriedades do material, poderá se estimar o momento do início da ignição do objeto.

Na tabela a seguir (Tabela 9) são listados alguns valores típicos na velocidade de propagação da chama que pode ser útil durante uma investigação de incêndio.

Tabela 9 - Valores típicos na velocidade de propagação da chama

Propagação	Velocidade de propagação (cm/s)
Combustão lenta (<i>smoldering</i>)	0,001 a 0,01
Lateral ou para baixo em sólido espesso	0,1
Influenciada pelo vento em gramíneas ou detritos de vegetação	1 a 30
Para cima em sólido espesso	1 a 100
Horizontal em líquidos	1 a 100
Chama pré-misturada	10 a 100 (laminar) ~10 ⁵ (detonação)

Fonte: QUINTIERE, 1997

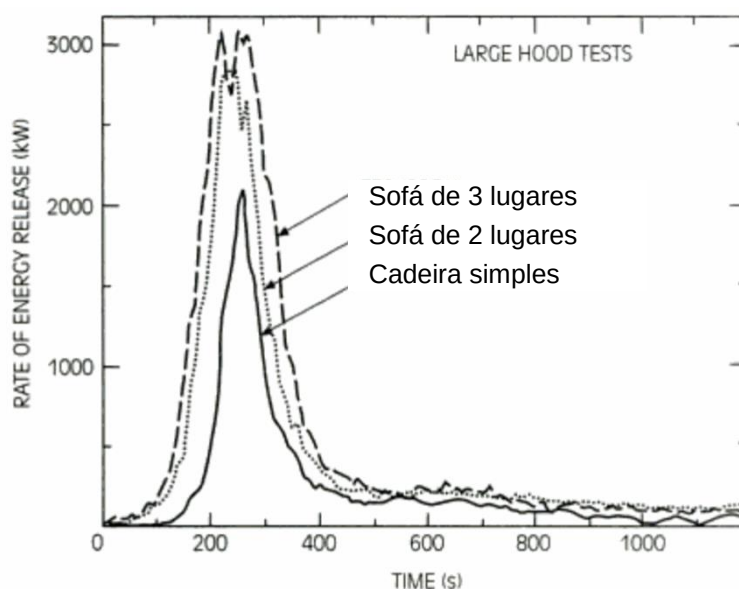
3.5. Taxa de liberação de calor e carga de incêndio

A carga de incêndio de um determinado local, como bem descrita no Módulo I do Manual Básico de Combate a Incêndio, é a quantidade de energia (calor) liberada pela combustão completa de todos os materiais combustíveis do ambiente. Mas a carga de incêndio, mesmo sendo bem definida e tabelada na literatura, e por vezes utilizada como referência à análise de risco, ela não consegue representar a realidade de como será o comportamento de um incêndio. A energia devida à queima de todos os materiais nunca será liberada ao mesmo tempo, pois, além da combustão não necessariamente ser completa em cada material, os materiais não entram em ignição necessariamente ao mesmo tempo. Dessa forma, dois sinistros com cargas de incêndio semelhantes poderão ter comportamento completamente diferente, representando, de fato, riscos diferentes.

A grandeza que melhor representa o comportamento do incêndio e o desenvolvimento é a taxa de liberação de calor, $\dot{Q}$ dado em kW (*Heat Release Rate* – HRR), sendo esse verdadeiramente o fator principal para caracterizar o risco e severidade em um incêndio.

Em geral, o desenvolvimento de um incêndio é mais bem descrito por uma curva $\dot{Q}$ versus temperatura. Essa curva permite avaliar o momento de maior liberação de energia, se a queima desse material pode ser fonte de ignição para materiais próximos, o tempo de duração da queima, ou até mesmo correlacionar com a quantidade de água necessária para debelar o incêndio em qualquer tempo. Exemplo desse tipo de curva pode ser visto na figura abaixo. Importante notar que a área sob a curva (integral da curva) representa a carga de incêndio no material.

Figura 23 - Curva da Taxa de liberação de calor pelo tempo para diversos tipos de mobiliário.



Fonte: Introduction of Fire Behavior. Quintiere

Vários fatores podem influenciar na taxa de liberação de calor ($\dot{Q}$), sobre as propriedades do combustível, geometria, ventilação, formas de transferência de calor, etc. Sendo assim, para um mesmo objeto podem ser apresentadas diferentes curvas $\dot{Q}$ versus temperatura, dependendo desses fatores, mas as áreas sob cada uma das curvas da taxa de liberação de calor devem ser iguais, na medida em que possuem a mesma carga de incêndio.

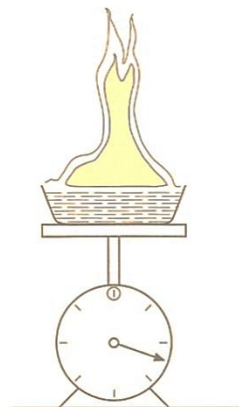
A forma mais simples de calcular a taxa de liberação de calor é por meio de medida na taxa de queima de massa ($\dot{m}$) quando se conhece

o calor de combustão específico (ΔHC). Como nem sempre a taxa de queima de massa é constante e uniforme em toda a área, geralmente é usada a taxa de queima por unidade de área ($\dot{m}''$), ou fluxo de queima de massa. Uma forma de calcular a taxa de liberação de calor é pela fórmula:

$$\dot{Q} = \dot{m}'' A \Delta HC.$$

Onde:

- $\dot{m}''$ é a taxa de queima de massa por unidade de área (massa de combustível vaporizada e consumida por unidade de área superficial);
- A a área envolvida na vaporização;
- ΔHC o calor efetivo de combustão.



Para realizar esse cálculo é importante conhecer a taxa de queima de massa e o calor efetivo de combustão. Alguns desses valores podem ser encontrados em literatura, como os apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 10 – Taxa máxima de queima de massa por unidade de área.

Combustível	$\dot{m}''$ (g/m ² ·s)
Propano liquefeito	100-130
Gás natural liquefeito	80-100
Benzeno	90
Butano	80
Hexano	70-80
Heptano	65-75
Gasolina	50-60
Acetona	40
Metanol	22
Poliestireno granular	38
Acrílico (Polimetilmetacrilato - PMMA) granular	28
Polietileno granular (PE)	26
Polipropileno granular (PP)	24
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	22-25
Espuma flexível de poliuretano	21-27
Policloreto de vinila (PVC)	16
Papelão ondulado	14
Estrado de madeira	11

Fonte: J.G. Quintiere, *Principles of Fire Behavior*

Tabela 11 – Calor efetivo de combustão

Combustível	ΔHC (kJ/g)
Metano	500
Etano	47,5
Propano	46,5
Monóxido de Carbono	10,1
n-Butano	45,7
Heptano	44,6
Gasolina	43,7
Querosene	43,2
Benzeno	40,0
Acetona	30,8
Etanol	26,8
Poliestireno	39,8
Acrílico (Polimetilmetacrilato - PMMA)	24,9
Polietileno (PE)	43,3
Polipropileno (PP)	43,3
Policarbonato	29,7
Nylon 6/6	29,6
Policloreto de vinila (PVC)	16,4
Celulose	16,1
Madeira	13-15

Fonte: QUINTIERE, 1997.

Exemplo 4 – Taxa de liberação de calor

Calcule a taxa de liberação de calor máxima para uma superfície circular de queima de 1m de diâmetro para os seguintes materiais: madeira, poliestireno, heptano e gasolina. Considere a madeira como um estrado (crib). Utilize os valores de queima da massa por unidade de área máximos e do calor de combustão efetivo nas tabelas anteriores.

RESPOSTA

Se fosse para calcular um caso real de estrado de madeira, deveríamos considerar toda a área exposta ao calor, não apenas a face superior. Mas, nesse caso específico, tem-se tabelada a estimativa da taxa de queima do estrado de madeira. Pelas tabelas anteriores, temos que:

- Madeira: $\Delta HC = 14 \text{ kJ/g}$ e $\dot{m}'' = 11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$
- Poliestireno: $\Delta HC = 39.8 \text{ kJ/g}$ e $\dot{m}'' = 38 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$
- Heptano: $\Delta HC = 44.6 \text{ kJ/g}$ e $\dot{m}'' = 70 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$
- Gasolina: $\Delta HC = 43.7 \text{ kJ/g}$ e $\dot{m}'' = 55 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$

E considerando:

- $\dot{Q} = \dot{m}'' A \Delta HC$
- $A = \pi(D/2)^2$ onde $D = 1 \text{ m}$

Logo,

- Madeira: $\dot{Q} = 120 \text{ kW}$
- Poliestireno: $\dot{Q} = 1.187 \text{ kW}$
- Heptano: $\dot{Q} = 2.451 \text{ kW}$
- Gasolina: $\dot{Q} = 1.887 \text{ kW}$

Em geral, devemos considerar o calor efetivo de combustão (ΔHC), não o teórico (ΔHC^0), por vezes dado. Isso decorre do fato de em um incêndio nem todo combustível vaporizado entra em combustão (apenas cerca de 60 a 80%). logo, o calor efetivo de combustão é dado por:

$$\Delta HC = \chi \Delta HC^0,$$

Onde: $\chi = 0,6 - 0,8$.

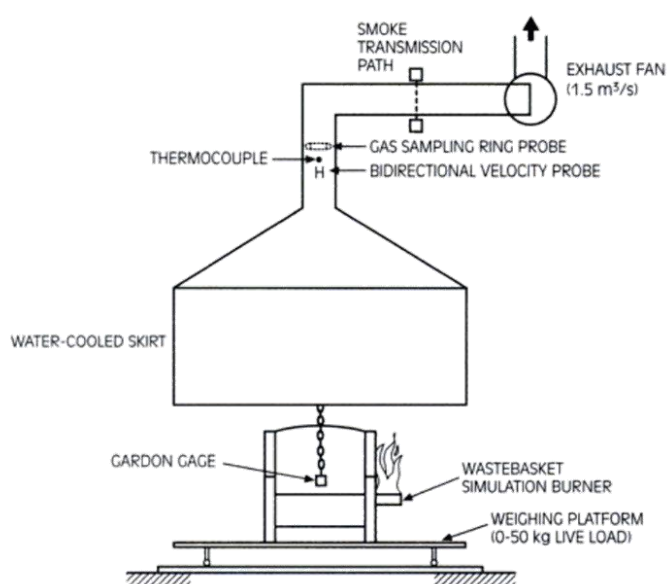
Exercício 6 – Taxa de liberação de calor

Calcule a taxa de liberação de calor de uma amostra de acrílico (PMMA) sendo pesada numa célula de carga enquanto queima. Sabe-se que a leitura da taxa de queima é de $2,5 \text{ g/s}$. Considere o calor de combustão teórico (ΔH_{C°) igual a 25 kJ/g e $\chi = 0,7$.

Com base nos valores tabelados, é possível ter uma estimativa do pico da taxa de liberação de energia de alguns materiais e assim definir se o material teria energia suficiente para fazer com que materiais próximos entrem em ignição.

Outra forma de calcular a taxa de liberação de calor ($\dot{Q}$) é por meio de um cone calorímetro (ver Figura 24). O valor da taxa de calor liberado é obtido por meio da quantidade de O_2 consumido, podendo também ser medido o consumo de CO_2 e CO . Um requisito necessário para o cone calorímetro funcionar é que todos produtos da combustão sejam coletados e retirados a partir de um duto, onde, a certa distância permita uma mistura adequada, o fluxo e os produtos dos gases são medidos.

Figura 24 - Representação esquemática de um cone calorímetro



Fonte: Internet

A taxa de liberação de calor pode ser dada por:

$$\dot{Q} = \dot{m}(\gamma_{O_2}^{Ar} - \gamma_{O_2}^{gases}) \Delta HC^{O_2}$$

Onde:

- $\dot{m}$ é o fluxo, em massa, dos gases coletados
- $\gamma_{O_2}^{Ar}$ é fração da massa de oxigênio no ar
- $\gamma_{O_2}^{gases}$ é fração da massa de oxigênio nos produtos da combustão
- ΔHC^{O_2} é o calor de combustão para o calorímetro de consumo de oxigênio (13,1 kJ/g)

Exemplo 5 – Taxa de liberação de calor por consumo de oxigênio

Calcule a taxa de liberação de calor máxima para uma amostra de acrílico (PMMA) queimando em um calorímetro de consumo de oxigênio. Considerando que para calorímetro de consumo de oxigênio $\Delta HC^{O_2} = 13.100$ kJ/kg e sabendo que a leitura do fluxo em massa dos gases coletados no exaustor é de $0,05$ kg/s , com fração de massa de oxigênio de aproximadamente 15% no duto, determine $\dot{Q}$.

RESPOSTA

Primeiro temos que saber a quantidade de oxigênio, em massa, que existe no ar: A molécula O_2 tem massa molar de 32 kg/kmol, enquanto a massa molar do N_2 é de 28 kg/kmol. Sendo assim, a massa molar no ar de oxigênio é de 6,72 g/mol ($32 \cdot 21\%$), enquanto a de nitrogênio é de 21,12 g/mol ($32 \cdot 79\%$). Logo, a fração em massa no ar de oxigênio é de 23% ($\frac{6,72}{6,72+21,12}$).

Com base neste valor, temos que: $\dot{Q} = \dot{m}(\gamma_{O_2}^{Ar} - \gamma_{O_2}^{gases}) \Delta HC^{O_2}$,

Logo, $\dot{Q} = 0,05(0,23 - 0,15) \times 13.100$,

$$\dot{Q} = 52,4 \text{ kW}$$

4. DINÂMICA DO INCÊNDIO

A compreensão de como o incêndio se comporta permite ao perito entender e teorizar sobre a propagação. Ela é fortemente influenciada pela compartimentação, quantidade, tipo e distribuição do material combustível, e ventilação. É o comportamento do incêndio que leva ao aparecimento dos padrões de queima, pois irá influenciar na velocidade e intensidade da combustão, bem como na movimentação da fumaça e gases aquecidos. Sendo assim, é importante para o perito buscar informações e ferramentas que permitam verificar a direção e sentido de propagação do fogo. O conhecimento básico sobre a dinâmica do incêndio está no capítulo 5 do módulo 1 do Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF e nessa seção iremos estudar um pouco mais desse conhecimento.

Toda combustão é afetada pelo empuxo, que determina o movimento dos materiais no interior da chama e seu comportamento. Esse movimento de materiais determina o crescimento da chama, sua propagação e a entrada de ar.

A pluma é uma coluna de chama e produtos da combustão em movimento ascendente acima da fonte de combustível. O empuxo é uma força influenciada fortemente pela diferença de densidade do fluido. No caso dos gases, a densidade é inversamente proporcional à temperatura. Dessa forma, o aquecimento dos gases resultantes da combustão causa uma força de empuxo para cima. Em chamas naturais, onde as principais forças atuantes são as de empuxo, conforme os gases quentes sobem, o ar frio é forçado para o interior da chama, causando o seu resfriamento. Conforme esses gases são resfriados, a força de empuxo se anula e os gases param de subir. A taxa sobre a entrada de gases determina a altura e as características da chama.

Mesmo que toda combustão seja afetada pelo empuxo, nem sempre ela será a principal força determinante no comportamento ou dinâmica da combustão. Se os gases da combustão são liberados com velocidades elevadas, como no caso dos gases sob pressão, a força de empuxo não será capaz de determinar o comportamento da chama. Exemplo disso são os bicos de Bunsen e os maçaricos. Caso as chamas estejam sob a ação de vento, os gases quentes podem ser deslocados lateralmente, modificando o caminho natural. Dependendo da força do vento, o deslocamento de grande quantidade de gases aquecidos pode até mesmo causar o fim da combustão (retirada de calor), como, por exemplo, o ato de apagar uma vela assoprando.

Conforme os gases aquecidos da pluma sobem, eles são resfriados como resultado da mistura desses gases com o ar ambiente que entra através da borda. A redução da temperatura em função da altura é acompanhada de um aumento do diâmetro da pluma e uma redução na velocidade de ascensão. Esse movimento produz um cone térmico e irá gerar marcas de queima nos objetos que estejam no caminho.

4.1. Fases do incêndio

Conhecer as fases do incêndio permite ao investigador avaliar melhor o comportamento do fogo, comparar com situações semelhantes, e até mesmo buscar indícios do uso de agentes acelerantes.

Na fase inicial o incêndio está restrito ao foco inicial e às condições do ambiente ainda são satisfatórias. Se o incêndio é debelado nesse estágio, o investigador tem muito claro o foco inicial e o primeiro objeto incendiado. Assim sendo, nesse estágio, caso o objeto não esteja próximo a uma superfície, não se veem padrões de queima no ambiente, sejam marcas de fuligem ou de degradação térmica, pois o plano neutro está bem elevado, ocorrendo pouco acúmulo de fumaça e temperatura no

ambiente pouco alterada. Se o objeto incendiado estiver perto de uma superfície vertical, seja uma parede ou outro objeto, pode ocorrer o padrão de queima em V invertido.

Figura 25 - Fase inicial de um incêndio.



Fonte: NIST.

Na fase crescente o incêndio já começa a apresentar padrões de queima bem definidos. Quanto mais no início da fase crescente o incêndio é debelado, mais fácil para o perito encontrar o foco inicial e o primeiro objeto incendiado, podendo apresentar padrões de queima em coluna. É também nessa fase que pode acontecer a generalização do incêndio (flashover) e a explosão da fumaça. Caso esses comportamentos extremos do fogo aconteçam, os padrões de queima normais serão alterados de forma significativa, fazendo com que o investigador tenha mais cuidado quando na análise. Na medida em que o incêndio se desenvolve na fase crescente, é mais provável encontrar o padrão de queima em V, podendo também apresentar marcas da degradação térmica nas superfícies, em especial nas paredes e outros objetos próximos ao foco. Assim como na fase totalmente desenvolvida, ou no final da fase crescente, o incêndio pode começar a ser controlado pela ventilação.

Figura 26 - Fase crescente (início e fim) de um incêndio.

Fonte: NIST.

Se o incêndio atinge a fase totalmente desenvolvida, todo o material combustível disponível estaria fazendo parte do incêndio. Há uma quantidade muito grande de fuligem no ambiente e a temperatura é muito alta, gerando diversas marcas de degradação por calor. Podem aparecer outras marcas de queima que não apenas do foco inicial devido aos diversos objetos que estão contribuindo para o incêndio no ambiente. A ventilação será de grande importância para formação dos padrões de queima, pois as chamas, e conseqüentemente as maiores temperaturas, irão ocorrer apenas onde há oxigênio ou outro comburente, alterando as marcas de fuligem e da degradação térmica (ver item 5.6 - Fatores que podem alterar o padrão de queima).

Figura 27 - Imagem de um incêndio totalmente desenvolvido

Fonte: NIST

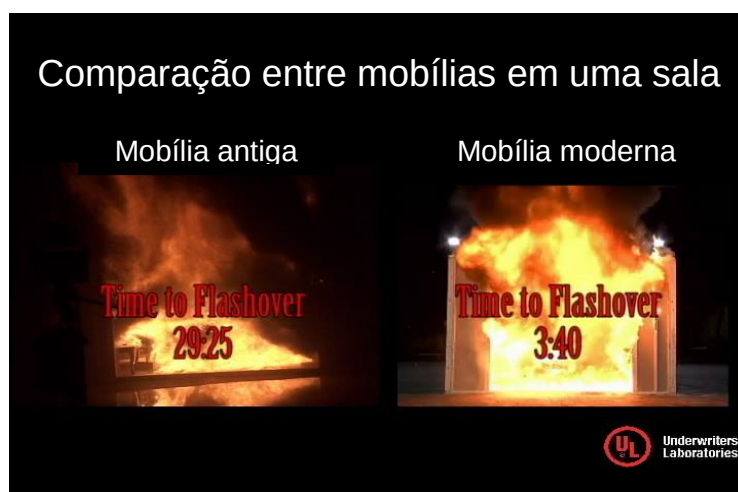
Caso o incêndio chegue à fase final, praticamente todo o material combustível encontrado no local participou do incêndio. Apenas os pontos com pouca disponibilidade de oxigênio tem maior chance de estarem preservados. Os padrões de queima foram consolidados, mas, dependendo da severidade na queima e na disponibilidade de oxigênio no ambiente, eles terão sido fortemente influenciados pela ventilação.

O desenvolvimento das diversas fases no incêndio é fortemente influenciado pelas condições de ventilação no ambiente.

4.2. Incêndio em compartimentos

O comportamento do incêndio vem se transformando durante os últimos anos. A mudança dos materiais mais naturais para os sintéticos, ou mesmo de aglomerados para madeiras de lei, utilizados nos mobiliários e revestimentos, está alterando a velocidade e intensidade na combustão. Em testes realizados pelo *Underwriters Laboratory* em 2009, foi mostrado que, nos EUA, um compartimento com mobiliário e material de revestimento da década de 1950 poderia chegar à fase totalmente desenvolvida em tempo superior a 29 minutos, enquanto no mesmo tipo de ambiente, mas com mobiliário e material de revestimento do século XXI, chegou à generalização do incêndio em menos de 4 minutos (KERBER, 2014).

Figura 28 - Comparação do comportamento do incêndio com mobiliário antigo e com moderno

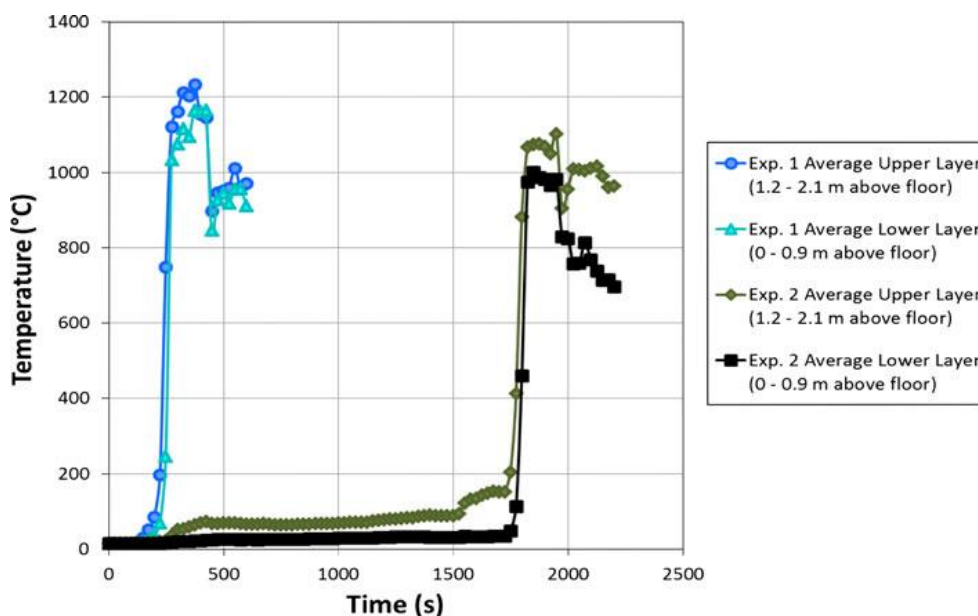


Fonte: UL.

No ensaio com mobiliário moderno, o incêndio começou lentamente até o primeiro minuto na medida em que a chama da vela tocou o estofamento do sofá e a manta de poliéster colocada sobre o sofá. Com 3 minutos, metade do sofá estava envolvida no incêndio, o carpete havia começado a queimar e a camada de gases quentes começava a preencher o terço superior do ambiente. O ambiente chegou à generalização do incêndio em 3 minutos e 40 segundos. No caso com mobiliário antigo, o incêndio também cresceu de forma lenta no primeiro minuto, na medida em que a chama da vela atingiu o estofamento do sofá e a manta de algodão. Com 5 minutos, a chama alcançou o braço do sofá e propagou para a cortina. Com 10 minutos o incêndio havia se propagado para apenas 1/3 do sofá. De 10 a 20 minutos, o incêndio continuou a se propagar no resto do sofá e começou a desenvolver uma camada de gases quentes. Nesse caso, a generalização de incêndio aconteceu com apenas 29 minutos e 30 segundos após a ignição.

Quando a temperatura é analisada dentro do ambiente, é possível verificar quão rápido ela cresceu no mobiliário novo quando comparado com o mobiliário antigo (ver Figura 29).

Figura 29 - Gráfico da média entre a temperatura nas camadas superiores e inferiores nos ambientes com mobiliário novo (experimento 1) e antigo (experimento 2)



Fonte: KERBER, 2009.

Isso também vale para incêndio em veículos, onde estudos (COLLIER, 2011) mostram um aumento na taxa máxima de liberação de calor, de 4 para 8 MW, aumento da temperatura média na camada superior, de 150 para 217 °C, e uma mais rápida perda de visibilidade a 2 m de altura, de 25 para 19 minutos quando comparam carros antigos com modernos.

Obviamente, essa mudança no comportamento acrescenta uma maior dificuldade para os investigadores, pois aumenta a probabilidade de pegarem cada vez mais incêndios em que as fases totalmente desenvolvida ou final tenham sido atingidas, ou mesmo tenham acontecido comportamentos extremos do fogo. Isso pode levar que as marcas de queima devido aos primeiros objetos incendiados possam ficar escondidas, ou mesmo novas marcas de queima venham a ser criadas. Por conta disso, é importante que sejam estudados de forma sistemática os padrões de queima em incêndios totalmente desenvolvidos e naqueles em que ocorreram comportamentos extremos do fogo.

4.3. Comportamento da fumaça

A fumaça, além de exercer grande influência no comportamento do incêndio, permite a criação de padrões de queima. Conhecendo como a fumaça se comporta permite ao investigador compreender a dinâmica do incêndio.

Como a fumaça possui gases aquecidos e, por conseguinte, irradia calor, ela permite a degradação e pirólise de materiais combustíveis. A fumaça pode, por exemplo, ser o fator que irá levar ao derretimento das peças plásticas de um chuveiro, mesmo que o incêndio tenha ocorrido no quarto. Cabe ao investigador analisar se a degradação de um determinado objeto foi consequência do calor gerado pela fumaça ou causa da própria ignição. A degradação do material atingido pela fumaça pode ser um indicativo da temperatura a que ela chegou, refletindo a intensidade do próprio incêndio.

A opacidade da fumaça é principalmente oriunda da quantidade de fuligem. Essa mesma fuligem é que irá gerar os principais padrões de queima observados em um incêndio, permitindo ao investigador notar o caminho percorrido pela fumaça, bem como o local da sua origem. A produção de fuligem está diretamente relacionada ao tipo de material em combustão, mas também a perda de calor nas chamas quando em contato com uma superfície mais fria.

Outra característica importante da fumaça é a sua mobilidade. Por causa da convecção, a fumaça tende a subir e ocupar qualquer espaço disponível no seu caminho. Isso faz com que ela se desloque e carregue calor e fuligem para locais não necessariamente contíguos ao ambiente incendiado. Para o investigador é importante saber o caminho percorrido pela fumaça e os possíveis locais onde ela foi gerada, ajudando

na compreensão dos padrões de queima e apontando a zona de origem ou mesmo o foco.

Como a fumaça carrega gases inflamáveis, ela pode entrar em combustão, dependendo da temperatura e concentração de oxigênio. Mesmo a fumaça sendo quente, quando da sua ignição a taxa de liberação de calor aumenta muito, fazendo com que possa ocorrer a degradação térmica dos materiais que não estivessem necessariamente próximo ao foco. Cabe ao investigador, analisar se essas marcas de degradação térmica, da mesma forma que as marcas de fuligem, foram devidas ao foco ou em consequência da ignição da fumaça (foco secundário).

Para finalizar, a toxicidade da fumaça é um dos principais agentes que levam a morte durante um incêndio, por conta de produtos como o monóxido de carbono ou ácido cianídrico resultantes da combustão, em especial de espumas. É necessário que o investigador, em especial em casos criminais, saiba se esses gases tóxicos levaram ao óbito das vítimas, ou se elas foram intoxicadas antes do incêndio. Além disso, é importante e necessário que o investigador use EPI adequado quando adentrar em um local de incêndio. Como poucas vezes se sabe exatamente o que foi queimado em um local e como não necessariamente tenha havido o perfeito escoamento de todos os gases no ambiente, o perito deve se resguardar dos efeitos adversos da fumaça, em especial quando for ao local logo após ter sido realizado o rescaldo.

5. MARCAS DE QUEIMA

5.1. Introdução

Os padrões de queima são indicadores da degradação ou da ausência de degradação do ambiente, sendo importantes indícios do

comportamento do fogo. Eles são criados pela interação entre materiais e objetos presentes no ambiente com a chama, o calor e a fumaça.

Para compreender como os padrões de queima são criados é essencial que o investigador conheça de comportamento do fogo, transferência de calor e reação dos materiais ao fogo. Os padrões de queima mais comuns em superfícies verticais são (ver Figura 30):

- V invertido ou triângulo
- Coluna; e
- V

Figura 30 - Padrões mais comuns de queima



Fonte: OBACH, 2012.

Neste capítulo serão mostrados como os padrões de queima surgem a partir do desenvolvimento do incêndio, ficando para o capítulo sobre Metodologia o estudo de como essas marcas podem ser utilizadas para ajudar na elucidação da dinâmica do incêndio ou mesmo do foco inicial do incêndio.

5.2. Padrão V invertido ou triângulo

Esse padrão tem como principais características estar associado à baixa liberação de energia (Figura 31) ou indicar que o fogo não se sustentou além da fase inicial. É um padrão mais comum de ser visto em superfícies não combustíveis, pois elas não contribuem para o desenvolvimento do incêndio. Além disso, com esse tipo de padrão não se

espera por marcas no teto acima dele, pois a coluna de gases convectivos até o teto ainda não foi formada (Figura 32).

Figura 31 - Padrão de V invertido ou triângulo



Fonte: NFPA 921/2014.

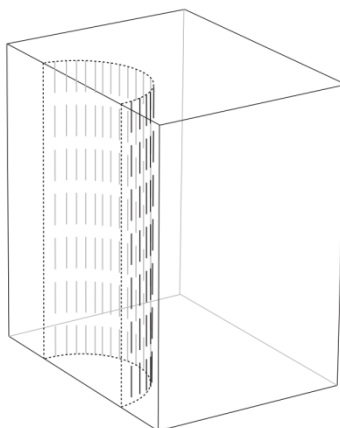
Figura 32 - Queima com pouca liberação de energia gerando um padrão V invertido ou triângulo



Fonte: Site NIST.

5.3. Padrão coluna

Caso o material combustível aumente a sua taxa de liberação de energia, as marcas de queima passam do padrão V invertido para o padrão coluna, pois a coluna de gases convectivos se torna maior e mais consistente. Esse padrão é formado caso não haja uma grande interação da pluma ou da massa de gases aquecidos ascendente a uma superfície horizontal acima do foco (teto, anteparo ou mesmo um móvel).

Figura 33 - Padrão coluna

Fonte: NFPA 921/2014

Figura 34 - Padrão coluna de queima em situação real

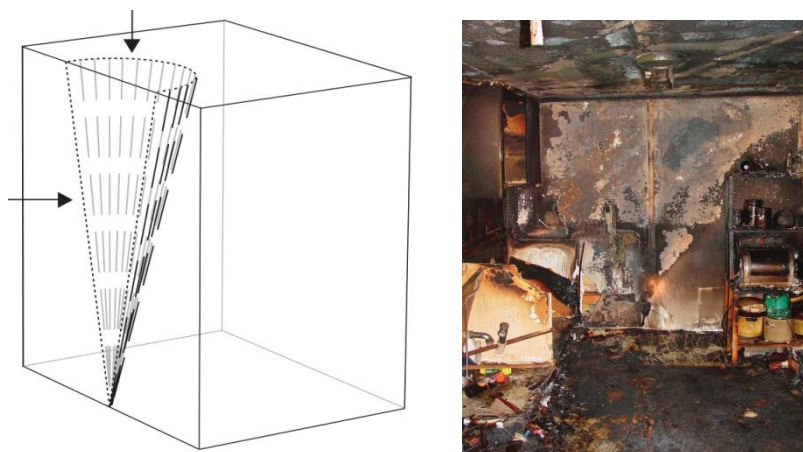
Fonte: OBACH, 2012

5.4. Padrão V ou em Cone

Esse padrão de queima ocorre devido à evolução natural do incêndio. Quanto mais o incêndio se desenvolve, maior a taxa de liberação de energia e também da produção de fumaça. Com a ascensão e difusão da massa gasosa aquecida, ela atinge o teto, e começa a defletir para as laterais, fazendo com que preencha os espaços vazios de cima para baixo devido ao empuxo. Com o objeto próximo à parede, são deixadas, em geral, marcas mostrando exatamente a ascensão e difusão dessa massa aquecida, como pode ser visto na Figura 35. A forma em V é determinada

pelas características da superfície, tamanho e forma da fonte inicial, condições de ventilação, mas não depende de quão rápida foi a ignição da fonte de calor.

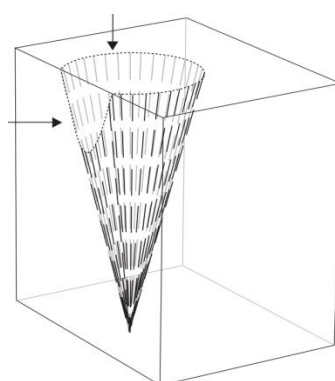
Figura 35 - Padrão de queima em V ou cone



Fonte: NFPA 921/2014

Caso o objeto esteja mais afastado da parede, em geral deixa uma marca mais parecida com um U do que um V, como pode ser visto na representação mostrada na Figura 36, pois o vértice do cone não intercepta a superfície vertical.

Figura 36 - Padrão de queima em U

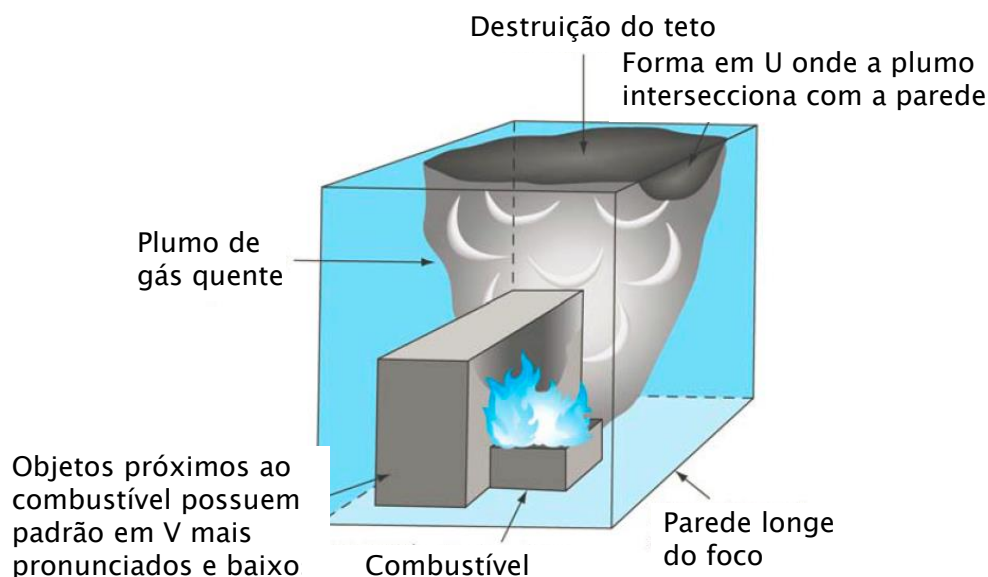


Fonte: NFPA 921/2014

Os padrões de queima em V e em U estão representados na Figura 37. Nela é possível ver a marca de queima em V devido a uma superfície (paralelogramo) próxima ao objeto em chamas, enquanto o

padrão em U acontece devido à interseção do plume de gás aquecido à parede.

Figura 37 - Padrão em V e em U



Fonte: ICOVE e DeHAAN, 2003

5.5. Outros padrões

Além dos padrões citados anteriormente, que estão geralmente associados a superfícies verticais (paredes e divisórias), é possível verificar a existência de marcas circulares em superfícies horizontais (teto ou em mobiliários, por exemplo) devido à degradação imposta pela coluna de gases aquecida e pela própria chama.

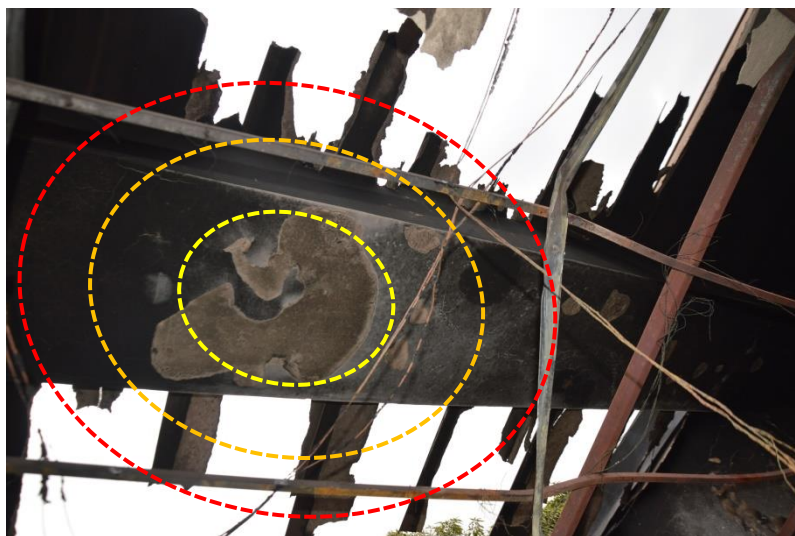
Como o desenho de um alvo de jogos de dardo, a degradação é maior no centro (local de mais alta temperatura) e apresenta anéis de menor destruição na medida em que se afasta do centro (ver representação dos anéis na mesa, Figura 38, e destruição no teto, Figura 39). A destruição na viga foi maior no centro do anel (descascamento do reboco) e menor no distanciamento do centro.

Figura 38 - Degradação da mesa (superfície horizontal)



Fonte: CBMDF

Figura 39 - Marca de queima no teto



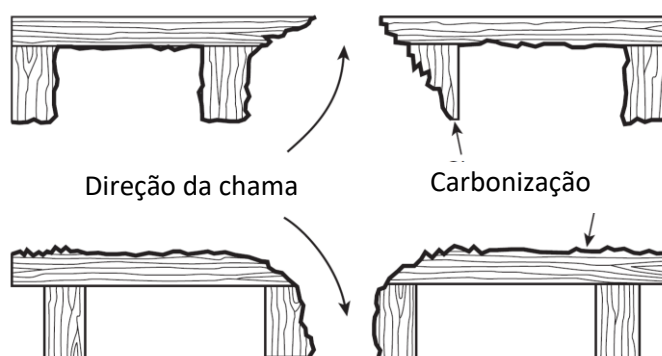
Fonte: CBMDF

Da mesma forma, a degradação nas estruturas de sustentação do forro falso pode também indicar os pontos de maior liberação do calor durante o incêndio, permitindo ao investigador usar esses padrões como referências a busca pelo local de início do incêndio (Figura 40).

Figura 40 - Degradação na estrutura metálica de sustentação do forro

Fonte: CBMDF

Outras marcas de queima são obtidas da carbonização e degradação de materiais. Elas podem indicar a direção de propagação do fogo, bem como a posição da chama ao atingir o objeto. Exemplo disso pode ser visto na Figura 41. Se a degradação foi na parte superior do objeto, a transmissão de calor ocorreu de cima para baixo. O inverso também é verdadeiro. Se a degradação ocorrer na parte inferior, o calor aconteceu de baixo para cima.

Figura 41 - Degradação da superfície horizontal do mobiliário

Fonte: NFPA 921/2014

Podem ocorrer também marcas de “queima limpa” em superfícies não combustíveis (ver Figura 42). Elas ocorrem quando essas

superfícies são suficientemente aquecidas (acima de 500 °C), fazendo com que a fuligem e gases da pirólise condensadas sobre elas queimem.

Figura 42- Marca de queima limpa na parede



Fonte: CBMDF

Dessa forma, as marcas de “queima limpa” ocorrem devido ao contato direto das chamas, durante certo tempo, sobre as superfícies, sendo que essas chamas podem ser originárias da queima de algum material combustível, ou mesmo pela queima dos gases na camada de fumaça, em especial em situação pós-generalização de incêndio (*flashover*). Ver seção 5.6.2 adiante.

Além das marcas de queima, o derretimento de materiais, como polímeros, metais, vidros, etc., podem ser excelente indício da temperatura alcançada no ambiente, bem como na direção e comportamento do fogo. A título de exemplo, temos o derretimento do vidro, cuja temperatura de transição ocorre, para vidro comum de 3 mm, entre 530 e 600 °C, e do policarbonato, com temperatura de transição em torno de 147 °C (Figura 43)

Figura 43 - Vidro derretido após um incêndio

Fonte: <https://www.wfm.co.in/fire-safety-in-facades-myths-realities/>

Além desses materiais, alguns metais, como alumínio (com ponto de fusão 660°C), chumbo (327°C), estanho (232°C) e cobre (1.063°C) também podem ser excelentes referências das condições de temperatura que chegou o ambiente (Figura 44). Outras temperaturas de referência sobre o derretimento de materiais podem ser vistas no Manual Básico de Combate a Incêndio ou nos capítulos anteriores.

Figura 44 - Derretimento do alumínio das rodas de um veículo devido a um incêndio florestal

Fonte: <https://mashable.com/2016/12/01/smoky-mountain-images-car/#EmW6lvPb75qZ>

5.6. Fatores que podem alterar o padrão de queima

5.6.1. Ventilação

A ventilação pode alterar o padrão de queima, pois irá modificar o comportamento das correntes de convecção, levando a uma mudança na chama e no caminho da fuligem (plumo). Ela pode levar a quebra de simetria das marcas de queima, ou mesmo fazer com que marcas de queima se apresentem em pontos mais distantes do local de origem do fogo.

Figura 45 - Plumo de queima sob efeito da ventilação

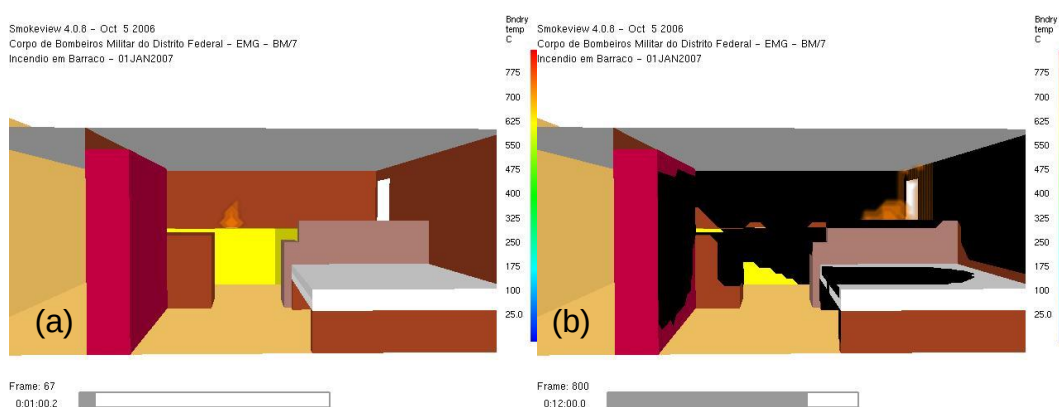


Fonte: CBMDF

Outra forma das marcas de queima serem alteradas pela ventilação decorre da taxa de queima ($\dot{m}$) ser fortemente dependente do tamanho e forma das aberturas. Essa relação é válida até certo limite de abertura. Se a abertura da ventilação for grande o suficiente, a taxa de queima se torna independente do tamanho da abertura, pois dependerá mais das características do combustível e da relação superfície-área. Quando isso ocorre, o incêndio passa a ser controlado pelo combustível, não sendo mais controlado pela ventilação. Um mesmo tipo e quantidade de combustível podem apresentar marcas diferentes caso a queima seja controlada pela ventilação. Caso essa seja deficitária, com pouca quantidade de ar disponível, as marcas de queima terão menor altura.

Um exemplo claro de como a ventilação afeta as marcas de queima pode ser visto na perícia realizada pelo CBMDF. Apesar de o incêndio ter iniciado mais no centro da figura abaixo do lado esquerdo (Figura 46a), as marcas de queima no local do final da queima poderia indicar que o incêndio teriam começado mais próximo à porta (ver padrão em V na Figura 46b) (Braga e Oliveira, 2009).

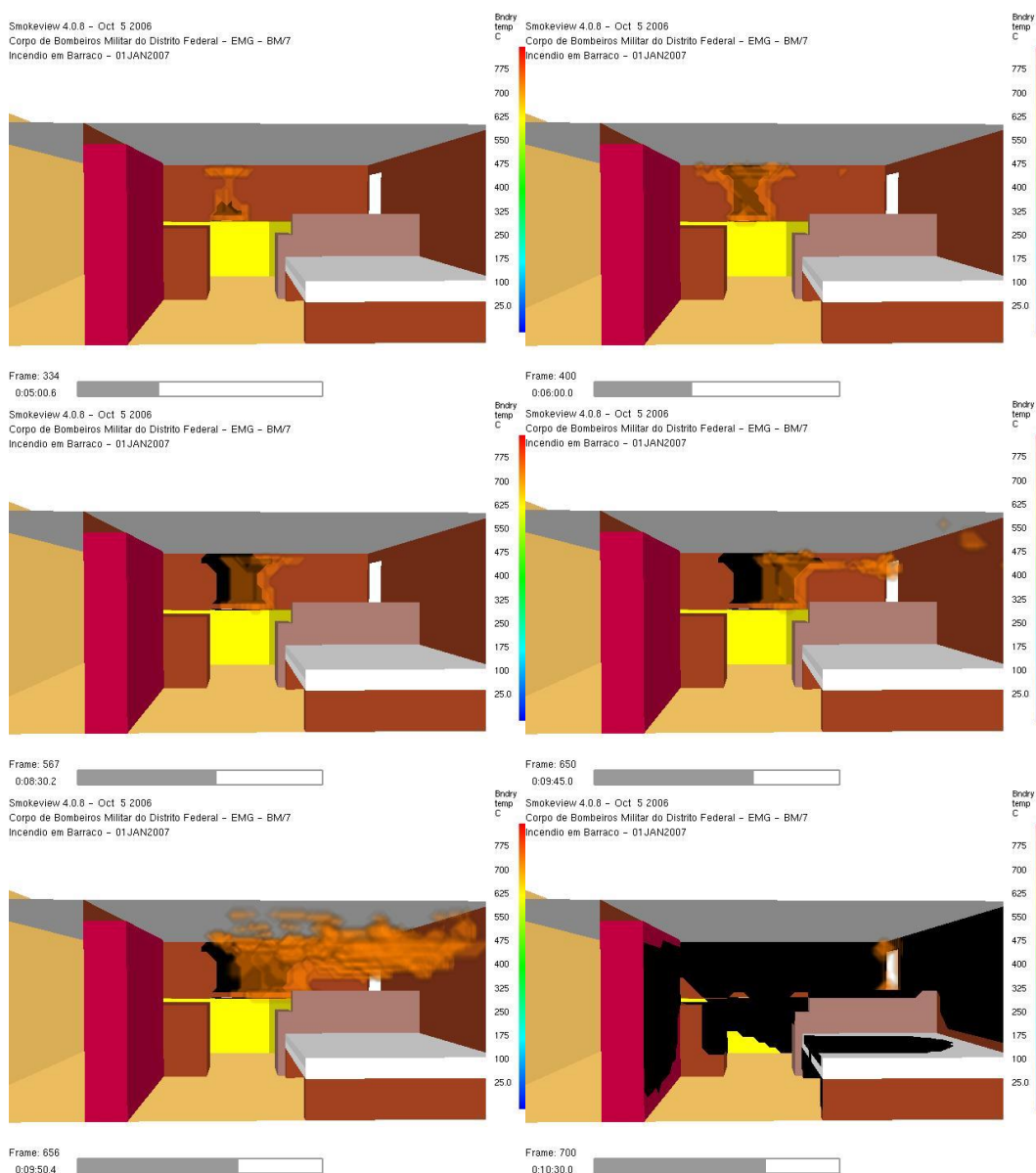
Figura 46 - Influência da ventilação nas marcas de queima. Simulação computacional realizada em um incêndio real periciado pelo CBMDF



Fonte: CBMDF

O que se vê pela simulação computacional de incêndio é que as chamas caminharam em direção à abertura existente no ambiente (porta), buscando mais oxigênio na medida em que o oxigênio existente no local era consumido pela queima. Dessa forma, as chamas, e consequentemente o calor, se deslocaram para o local onde existia mais oxigênio disponível, ou seja, na abertura da porta, fazendo com que as paredes e objetos em volta fossem submetidos a um calor mais intenso e por mais tempo, criando as marcas de queimas vistas ao final. Nas figuras a seguir é possível verificar as chamas e marcas de queima produzidas nesse incêndio, na medida em que o tempo é transcorrido, mostrando de forma clara que a combustão e, assim sendo, as marcas de queima foram fortemente influenciadas pela ventilação (porta aberta no lado esquerdo da figura).

Figura 47 - Influência da criação nas marcas de queima devido à ventilação natural (porta aberta). Simulação computacional realizada em um incêndio real periciado pelo CBMDF



Fonte: CBMDF

Ao final, haverá uma maior liberação de calor no ponto onde existem as chamas difusas, fazendo com que as marcas de queima fiquem concentradas próximas da porta e não do foco inicial.

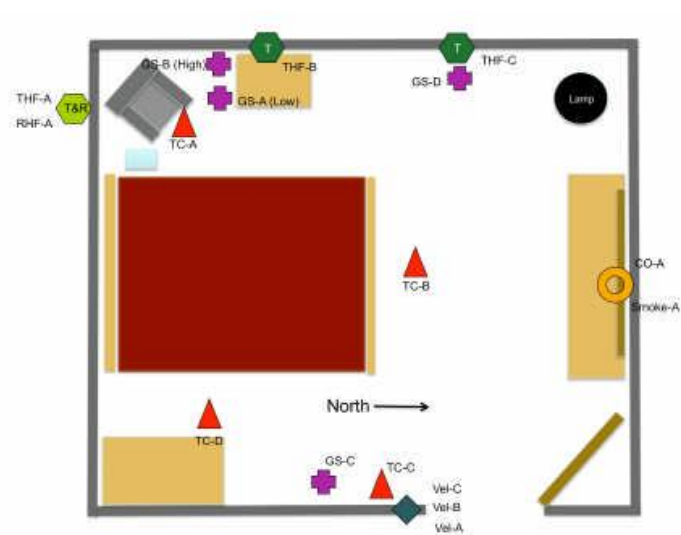
5.6.2. Generalização do incêndio (flashover)

A ocorrência ou não da generalização do incêndio (*flashover*) é também um fator a ser considerado pelos investigadores na análise das

marcas de queima. Estudos realizados pela ATF (*Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives* dos Estados Unidos) mostraram que na situação de pós-generalização do incêndio as marcas iniciais de queima podem ficar escondidas na fuligem ou mesmo serem criadas outras marcas que não necessariamente apontam para o local de origem do incêndio (OBACH, 2012 e CARMAN 2012).

Eles analisaram as marcas de queima após dois tipos de ensaios: No primeiro o incêndio foi suprimido 40 segundos após a generalização do incêndio ter se estabelecido no ambiente e, no segundo caso, 2 minutos e 30 segundos após a generalização ter ocorrido. O foco inicial foi sempre no mesmo lugar, numa lata de lixo entre a poltrona e a cama (ver Figura 48). A porta foi mantida aberta, até mesmo para permitir que a generalização do incêndio viesse a acontecer. Mas, pela porta ter ficado aberta, ela também exerceu uma influência nas marcas de queima (ver influência da ventilação no incêndio).

Figura 48 - Croqui do local



Fonte: CARMAN, 2012

Quando o incêndio foi suprimido 40 segundos após a generalização, foi possível verificar algumas marcas de queima em V logo acima de alguns objetos combustíveis, como a mesinha de cabeceira (marca em V à direita) e no próprio local do foco, lata de lixo, (marca em V

à esquerda), demonstrando a importância de, em situações pós-generalização do incêndio, se analisar outros indícios para que se possa chegar à conclusão de onde era o foco (Figura 49).

Figura 49 - Marcas de queima em incêndio debelado 40 segundos após a generalização do incêndio (*flashover*)



Fonte: OBACH, 2012

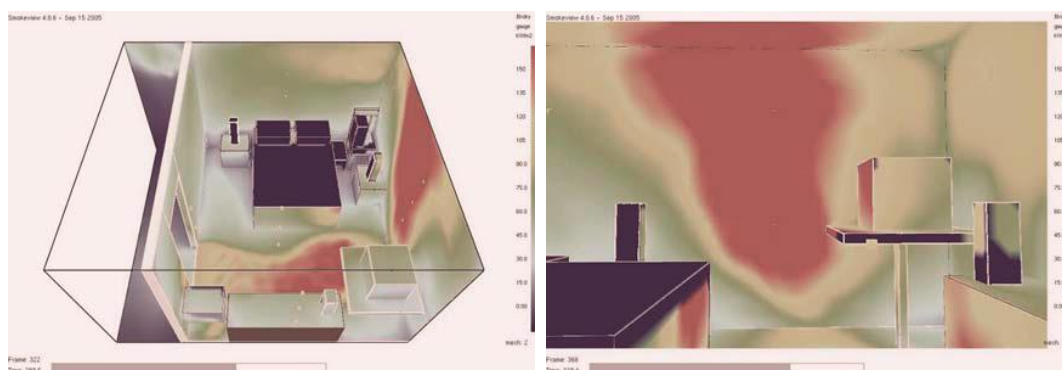
A situação se torna ainda mais complexa quando se são analisadas as marcas de queima no incêndio suprimido 2 minutos e 30 segundos após a generalização do incêndio. Nesse caso foi possível verificar uma marca em V muito pronunciada onde nem mesmo existia algum objeto (Figura 50). Essa marca de queima foi criada pós-generalização do incêndio devido à ventilação proveniente da porta aberta. Ela permitiu que o oxigênio entrasse no ambiente e fosse de encontro aos gases rico em combustível provenientes da fumaça, alcançando a sua mistura ideal na faixa entra a porta e a parede perpendicular ao fluxo de ar, criando chammas nesse local, inclusive próximo à parede. Na Figura 51 é possível verificar a simulação computacional do teste realizado, mostrando claramente a ocorrência de fluxo de calor muito alto na superfície onde foi encontrada a marca de queima vista na Figura 52 (parede contrária à posição da porta), apresentando de forma ainda mais clara o porquê da existência dela, mesmo não estando associada à queima de nenhum objeto.

Figura 50 - Marca de queima no incêndio debelado 2 minutos e 30 segundos após a generalização do incêndio (*flashover*)



Fonte: OBACH, 2012

Figura 51 - Perfil do fluxo de calor nas superfícies 12 segundos após a generalização do incêndio (*flashover*) debelado após 2 minutos e 30 segundos



Fonte: CARMAN, 2008.

Além disso, pode-se verificar que algumas marcas também foram criadas na medida em que o incêndio não foi combatido logo após o início da generalização do incêndio. Nas figuras a seguir é possível observar o local próximo à porta com o incêndio debelado após 40 segundos e depois de 2 minutos e 30 segundos. No incêndio em que a generalização do incêndio permaneceu por mais tempo foi possível notar uma marca limpa numa posição entre a cômoda e a porta. Isso poderia levar o investigador a pensar que havia um objeto naquela posição e que ele foi retirado depois,

mas na verdade essa marca foi deixada pela posição da porta e pelo fluxo de ar que entrou no ambiente.

Figura 52 - Marcas de queima no ambiente nos tempos de 40 segundos (a) e 2 minutos e 30 segundos (b) após a generalização do incêndio (*flashover*)

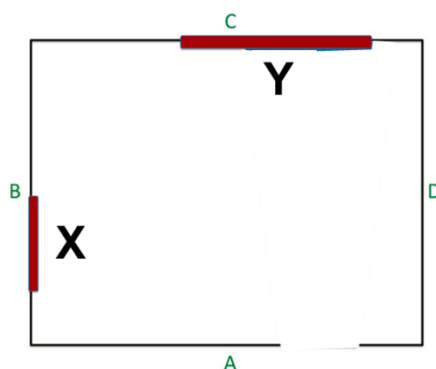


Fonte: OBACH, 2012

Em situações pós-generalização do incêndio é ainda mais importante que o investigador verifique como o ar rico em oxigênio entra no ambiente e para onde se move uma vez lá dentro. Isso ocorre, pois, logo após a generalização do incêndio a concentração de oxigênio no local pode chegar a níveis muito baixos, fazendo com que a ventilação seja um fator ainda mais importante para que haja a combustão e assim sejam criadas as marcas de queima.

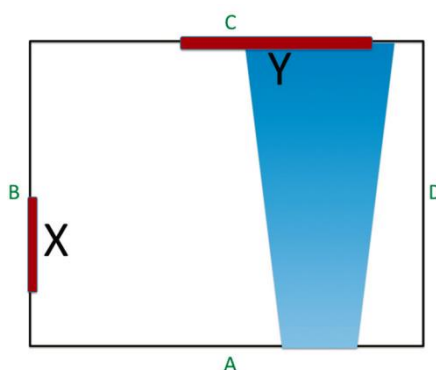
No exemplo a seguir é possível verificar como o investigador pode se beneficiar desse conhecimento quando na análise das marcas de queima em um sinistro. Ao se deparar com um incêndio em uma sala, o investigador pode encontrar 2 marcas de queima no ambiente: um na posição X, na parede perpendicular à porta, e outra na posição Y, na parede paralela à porta.

Figura 53 - Marcas de queima em um ambiente pós-generalização do incêndio



Fonte: CARMAN, 2013

Sabendo que a porta estava aberta durante todo o incêndio e que ocorreu a generalização do incêndio (*flashover*), devido ao fluxo de ar que entra no ambiente pela porta na face A, ocorre a queima dos gases combustíveis naquela posição (ver área em azul da Figura 54). Sendo assim, o mais provável é que a marca de queima na posição Y tenha acontecido após a generalização do incêndio, e não antes dela. Dessa forma, a marca de queima na posição X é mais provável que tenha ocorrido antes da generalização do incêndio, podendo ter sido causado pela queima no foco do incêndio.

Figura 54 - Representação do fluxo de ar que entra pela porta

Fonte: CARMAN, 2013

5.7. Mitos e concepções equivocadas na investigação de incêndios

Pesquisas mais recente têm desmontado teorias e crenças que muitos investigadores ainda possuem. Entre elas podemos citar (HALL, 2011):

- Carbonização profunda
 - Mito: o local de carbonização mais profunda indica a origem, pois é o local onde o incêndio queimou por mais tempo.
 - Realidade: carbonização profunda pode ocorrer fora da área de origem e não deve ser considerada para determinar a duração de queima.
- Trincas em vidros
 - Mito: vidro trincado indica o uso de acelerante
 - Realidade: As trincas irregulares nos vidros podem ter sido causadas apenas pelo rápido resfriamento devido ao combate do incêndio.
- Padrão de queima em V
 - Mito: o local de origem é marcado pelo padrão em V.
 - Realidade: O padrão em V não vem com uma marca de tempo, podendo ser relacionado ou não com a origem do incêndio (ver discussão sobre o efeito da generalização do incêndio nas marcas de queima).
- Marcas do tipo pele de crocodilo na madeira
 - Mito: marcas do tipo pele de crocodilo na madeira podem indicar o uso de agente acelerante.
 - Realidade: Não existe correlação científica entre a presença dessas marcas quebradiças e brilhantes com o uso de acelerantes.



- Marcas de queima irregulares
 - Mito: Queimas com padrões irregulares de queima e linhas finas de demarcação entre as áreas queimadas e não queimadas significa o uso de acelerante.
 - Realidade: As linhas de demarcação ocorrem sem razão aparente.
- Não conseguir provar que foi acidente sugere-se que foi um incêndio criminoso
 - Mito: Incêndio criminoso pode ser determinado descartando todas as causas acidentais na zona de origem
 - Realidade: A inability do perito para provar que o incêndio foi acidental não constitui prova que o incêndio foi criminoso. A falta de comprovação de um acidente não pode ser usado como prova de ocorrência num incêndio criminoso.
- Incêndio de progressão rápida
 - Mito: Incêndios que queimam de forma rápida foram iniciados com uso de agentes acelerantes.
 - Realidade: Testes realizados com ambientes tipicamente mobiliados sem uso de acelerantes atingiram a sua fase totalmente desenvolvida no tempo de 3 minutos e 30 segundos (Nos Estados Unidos).



6. REFERÊNCIAS

BABRAUSKAS, V., *Ignition of gases, vapors, and liquids by hot Surfaces*, International Symposium on Fire Investigation Science and Technology (ISFI), 2008

BRAGA, George Cajaty Barbosa e OLIVEIRA, Helen Ramalho de, **Investigação de incêndio**, In: Seito, A.I.; Gill, A.A.; Pannoni, F.D., Ono, R.; Silva, S.B.; Carlo, U.D.; Silva, V.P.. (Org.). **A segurança contra incêndio no Brasil. A segurança contra incêndio no Brasil**. Barueri - SP: Projeto Editora, 2008. p. 333-345

CARMAN, S. W. **“Clean Burn” Fire Patterns – a New Perspective for Investigators**, *Proceedings of Interflam*, Nottingham, England, 2012.

_____. **Improving the Understanding of Post-Flashover Fire Behavior**, International Symposium on Fire Investigation Science and Technology (ISFI), 2008

_____. **Progressive Burn Pattern Development in Post-Flashover Fires**, Proceedings of the Conference on Fire and Materials 2009, San Francisco, California

_____. **The Impact of Ventilation in Fire Investigation**, Fire Science and Litigation Seminar, 2013

CBMDF, **Manual Básico de Combate a Incêndio**, Módulo I, 2009

COLLIER, P.C.R., **Car Parks – Fires involving modern cars and stacking systems**, 2011

COLWELL, J. D., A. Reza, **Hot surface ignition of automotive and aviation fluids**, Fire Technol. 41 (2), 2005, 105–123.

DeHAAN, J., e LCOVE, D. J., **Kirk's Fire Investigation**, Pearson, 7ª Edição, 2011.

DILLON, S. HAMINS, A. P., **Ignition Propensity and Heat Flux Profiles of Candle Flames for Fire Investigation**, Fire and Materials Conference, 2003

DRYSDALE, D., **Introduction on Fire Dynamics**, Wiley, 2ª Edição, 1999.

GOBERTT, G. E., HICKS, W., KENNEDY, P. M., HOPKINS, R. L., KENNEDY, K. C., **Full-Scale Room Burn Pattern Study**, International Symposium on Fire Investigation Science and Technology (ISFI), 2006

GORBETT, G. E., MEACHAM, B. J., WOOD, C.B, DEMBSEY, N. A., **Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction**, Fire Science Reviews, 4:4, 2015.

GRIMWOOD, P. **Tactical Firefighting**, Firetactics, Cemac, 2003

HALL, D. J., **Burning questions: Old assumptions hard to put out**, 2011 site http://host.madison.com/wsj/news/local/crime_and_courts/burning-questions-old-assumptions-hard-to-put-out/article_86bf8be2-8138-11e0-af5f-001cc4c002e0.html, acessado em 10 de agosto de 2015

ICOVE, D. J. e DeHAAN, J., **Forensic Fire Scene Reconstruction**, Prentice Hall, 1ª Edição, 2003.

_____. **Hourglass” burn patterns: a scientific explanation for their formation**, International Symposium on Fire Investigation Science and Technology (ISFI), 2006

KERBER, S., **Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operational Timeframes**, UL News Science, Vol. 4, 2014

_____. ***Analysis of One and Two-Story Single Family Home Fire Dynamics and the Impact of Firefighter Horizontal Ventilation***, Fire Technology, Volume 49, Issue 4, pp 857–889, 2013

MARK, P., SANDERCOCK, L, ***Fire investigation and ignitable liquid residue analysis—A review: 2001–2007***, Forensic Science International 176, 93–110, 2008

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), ***NFPA 921-2014 - Guide for Fire and Explosion Investigations***, Quincy, 2014

OBACH, M., ***Ventilation Effects on Fire Patterns during Post Flashover Burning.***, 2012. Obtido em http://www.cl.cognita.co.uk/news/Ventilation%20Effects%20on%20Fire%20Patterns_MObach_12-11-2012.pdf

QUINTIERE, J. G, ***Principles on Fire Behavior***, Delmar Publishers, 1ª Edição, 1997.

TROITZSCH, Juergen H., ***Fires, Statistics, Ignition Sources, and Passive Fire Protection Measures***, Journal of Fire Science, Vol. 34(3), 2016, 171–198

V. ESTRUTURAS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

1. MORFOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES CIVIS

A morfologia das construções civis pode ser dividida em três grandes grupos:

- Estrutura;
- Vedações;
- Acabamento ou revestimentos.

Esses grupos que formam a edificação são responsáveis pela estabilidade, divisões de ambientes, proteção contra intempéries, durabilidade e estética.

1.1. Estrutura

É responsável por absorver as ações das edificações e mantê-la estável, obedecendo a dois critérios básicos: o Estado Limite Último (ELU), que garante a não ruptura dos elementos estruturais e o Estado Limite de Serviço (ELS), garante que a edificação deverá se comportar dentro de certos limites de fissuração, deslocamentos e vibrações.

As ações podem ser classificadas em:

- Forças - como o vento atuando na fachada de uma edificação, o solo atuando com o empuxo sobre uma contenção e o carregamento que uma laje suporta devido ao uso de uma edificação;

- Deslocamentos - como o recalque de um pilar devido ao deslocamento de uma fundação, a protensão aplicada em um elemento estrutural e a variação de temperatura.

Os esforços são a resposta de um elemento estrutural para uma ação, podendo ser: Momento Fletor, Esforço Cortante, Esforço Normal de Tração ou Compressão e Momento Torsor.

Dentre os elementos estruturais pode-se citar:

a) Lajes

- São elementos laminares onde uma dimensão é muito menor que as outras duas.
- A espessura é muito menor do que a largura e comprimento.
- Função: receber os carregamentos do pavimento e transmiti-los às vigas ou aos pilares.
- Os principais esforços resistidos são: Momento Fletor (M), podendo ocorrer também o Esforço Cortante (Q) e o Esforço Normal (N) podendo ser de compressão ou de tração a depender das ações combatidas por elas.
- Os principais materiais utilizados são:
- Concreto armado ou protendido;
 - Aço
 - Mista: parte que sofre tração de aço e a parte que sofre compressão de concreto;
 - Madeira
- Tipologia: maciças, nervuradas, treliçadas (EPS⁵ ou Cerâmico), vigotas pré-moldadas, laje lisa, laje cogumelo e laje nervurada.

b) Vigas

⁵ Poliestireno Expandido (Isopor)

- São elementos lineares onde uma dimensão é muito maior que as outras duas.
- O comprimento é muito maior que as dimensões da seção transversal, da base e da altura.
- Função: receber os carregamentos das lajes e transmiti-los aos pilares.
- Os principais esforços resistidos são: Momento Fletor (M) e o Esforço Cortante (Q), podendo ocorrer também o Momento Torsor (T) e o Esforço Normal (N) podendo ser de compressão ou de tração a depender das ações combatidas por elas.
- Os principais materiais utilizados são:
 - Concreto armado ou protendido;
 - Aço: podendo ser em perfil laminado ou dobrado ou formado por treliça;
 - Mista: podendo ser o perfil de aço revestido com concreto armado ou parte da viga que sofre tração de aço e a parte que sofre compressão de concreto;
 - Madeira

c) Pilares

- São elementos lineares onde uma dimensão é muito maior que as outras duas.
- O comprimento é muito maior que as dimensões da seção transversal, da base e da altura.
- Função: receber os carregamentos das vigas ou lajes e transmiti-los às fundações.
- Os principais esforços resistidos são: Esforço Bormal (N) podendo ser de compressão ou de tração onde recebe o nome de tirante e o Momento Fletor (M), podendo ocorrer também o Esforço Cortante (Q) e o Momento Torsor (T), a depender das ações combatidas por eles.

- Os principais materiais utilizados são:
 - Concreto armado;
 - Aço: podendo ser em perfil laminado ou dobrado ou formado por treliça;
 - Misto: podendo ser o perfil de aço preenchido com concreto armado ou simples ou o perfil de aço revestido com concreto armado ou simples;
 - Madeira

d) Fundações

- Existem dois tipos de fundações, as profundas e as rasas. Fundação profunda é considerada a partir de 3m de profundidade e a fundação rasa é considerada até 3m de profundidade.
- Dentre os tipos de fundação profunda temos as estacas e o tubulão.
- Dentre os tipos de fundação rasa temos as sapatas, os radiers e os blocos de fundação.
- Para ligação entre as fundações e os pilares normalmente existe um elemento de transição chamado de bloco de coroamento.
- Função: receber os carregamentos dos pilares ou paredes estruturais e transmiti-los ao solo.
- Os principais esforços resistidos são: Esforço Normal (N) podendo ser de compressão ou de tração, podendo também ocorrer o Momento Fletor (M) e o Esforço Cortante (Q), a depender das ações combatidas por eles.
- Os principais materiais utilizados são:
 - Concreto simples, armado ou protendido, moldado *in loco* ou pré-fabricado;
 - Aço: normalmente perfil de trilho de trem;
 - Solo cimento e;
 - Madeira.

e) Contenções

- Função: Conter um volume de terra para escavações ou para construção de subsolos em edificações.
- Podem ser muros de arrimo ou cortinas.
- Os principais esforços resistidos são: Momento Fletor (M) e o Esforço Cortante (Q), podendo também ocorrer o Esforço Normal (N), a depender das ações combatidas por eles.
- Os principais materiais utilizados são:
 - Concreto simples ou armado, moldado in loco ou pré-fabricado;
 - Aço: podendo ser perfil laminado ou dobrado;

1.1.1. Sistemas Estruturais

Os Sistemas Estruturais são composições que utilizam os elementos estruturais. O exemplo mais simples que existe é o pórtico formado pela composição de uma viga e dois pilares.

Pode-se classificar os sistemas estruturais em:

1. Hipostático: onde o número de graus de liberdade é superior ao número de graus de restrição, por consequência temos uma estrutura instável.
2. Isostática: onde o número de graus de liberdade é igual ao número de graus de restrição, por consequência temos uma estrutura estável.
3. Hiperestática: onde o número de graus de liberdade é inferior ao número de graus de restrição, por consequência temos uma estrutura estável e redundante.

Figura 55 - Graus de liberdade

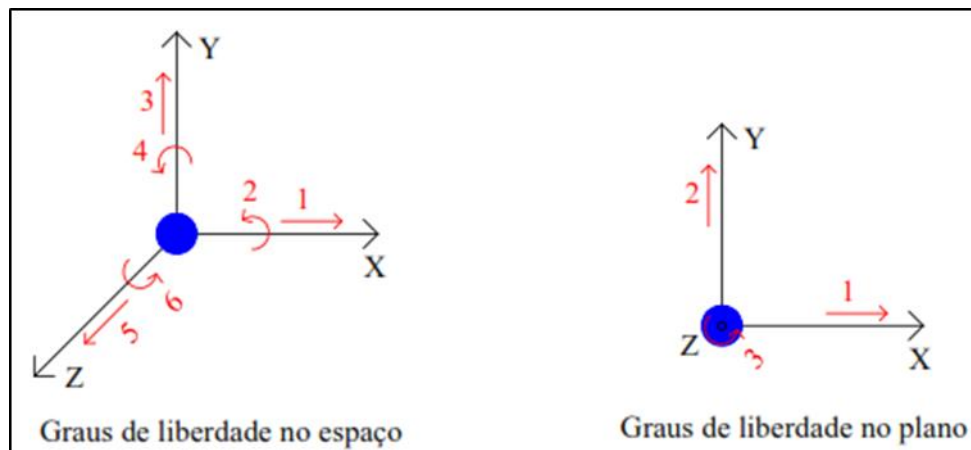
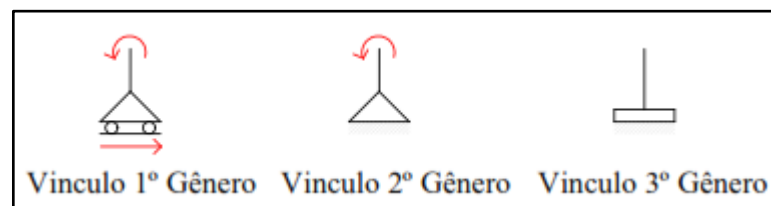
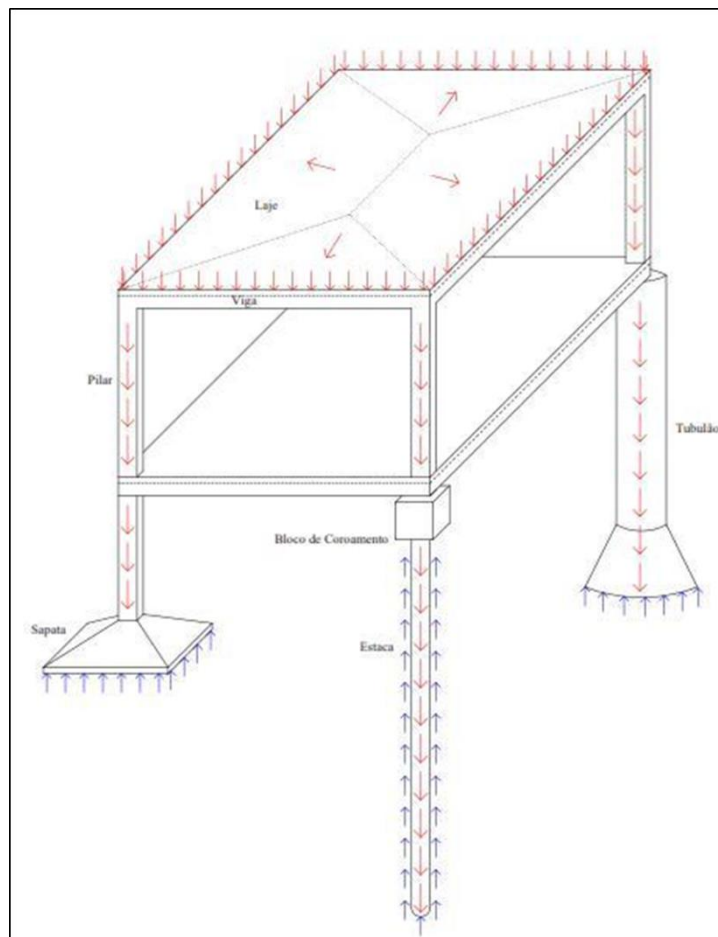


Figura 56 - Vínculos de apoio



Caminho simplificado do carregamento:

Figura 57 - Caminho do carregamento



Tipos mais comuns de sistemas estruturais:

- Estrutura convencional (lajes, vigas e pilares);
- Estrutura metálica;
- Estrutura mista (*steel deck*⁶);
- Alvenaria estrutural - bloco de concreto ou bloco cerâmico;
- Parede armada;
- *Steel frame*⁷.

⁶ Laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto.

⁷ Sistema estrutural formado por perfis leves de aço galvanizado, onde são fixados os painéis de gesso ou madeira.

1.1.2. Acidentes Estruturais

Colapso Progressivo

É a propagação de uma ruptura inicial e localizada, semelhante a uma reação em cadeia que conduz a ruptura parcial ou total do edifício, causadas, principalmente, por:

- Erro de projeto;
- Erro de construção;
- Ações variáveis abusivas: extrapolam as envoltórias de ações e combinações consideradas ou que não foram adotadas em projeto;
- Ações excepcionais: explosões de gás, explosão de bombas, colisão de veículos, colisão de aviões, ações ambientais extremas (tornados).

Figura 58 - Colapso progressivo



Fonte: Internet

Queda de marquise

Marquise é uma laje em balanço, normalmente engastada, que avança para fora da projeção da edificação, cujo colapso é causado, principalmente, por:

- Erro de projeto;
- Erro de execução;
- Má utilização;
- Falta de manutenção.

Figura 59 - Colapso de marquise



Fonte: Internet

1.2. Vedações

São responsáveis por dividir os ambientes, compartimentar e proteger as edificações e seus ocupantes contra intempéries, como vento e chuva. Quando atuam como elemento de compartimentação podem agir como retardante na propagação do incêndio. Além das características anteriores, eles podem ter características estruturais, que garantem a estabilidade da edificação.

Dentre os elementos de vedação pode-se citar:

a) Paredes

São formadas por tijolos ou blocos ligados entre si por argamassa de assentamento. Essa argamassa é formada de cimento, areia e água, podendo ter em sua composição cal e outros aditivos para melhorar a trabalhabilidade e impermeabilidade.

Podem ser encontrados pilares utilizados apenas para enrijecer o pano de alvenaria, que normalmente tem até 5 metros de comprimento. A partir dessa distância se faz necessária a colocação de um pilar. Outro caso em que pode ocorrer a presença de pilares sem função estrutural em paredes é nos encontros de paredes ortogonais.

Nas aberturas de paredes, como portas e janelas são encontradas as vergas na parte superior das portas e janelas e as contravergas na parte inferior das janelas, também conhecida como peitoril.

As vergas e contravergas têm a função de enrijecer as aberturas das paredes, para evitar o aparecimento de fissuras na paredes e distorções nas aberturas. Esse enrijecimento é necessário porque as tensões que atravessam as paredes ao encontrarem um obstáculo como as aberturas mudam de direção para contorná-las e nesse momento surgem tensões de tração na alvenaria, que não suporta esse tipo de esforço, sendo então combatidas pelas vergas e contravergas. Estes elementos pilares, vergas e contravergas são feitos normalmente de concreto armado.

b) Divisórias

As divisórias são encontradas em edifícios residenciais, comerciais e industriais.

Os perfis que estruturam as divisórias podem ser de alumínio, aço ou madeira.

Já as chapas de fechamento podem ser de madeira, gesso ou plástico. Essas divisórias podem ocupar todo pé direito da edificação ou parcialmente, podendo ter vidro na metade superior. Quando as divisórias são feitas por perfis de alumínio e chapas de gesso acartonados recebem o nome de drywall.

c) Telhados

A estrutura do telhado também é conhecida como trama, que é composta por ripas, caibros, terças, vigas base e tesouras. Podem ser feitas de madeira, aço ou alumínio.

As telhas que formam a cobertura do telhado podem ser de cerâmica, fibrocimento, concreto, aço, zinco e material reciclado.

1.3. Elementos de acabamento ou revestimento

São os elementos responsáveis pela durabilidade e estética das edificações. São também grandes responsáveis por proteger a estrutura e as vedações contra os efeitos do fogo. Além de responsáveis pela propagação ou não do incêndio, dependendo do material utilizado.

Dentre os elementos de acabamento ou revestimentos pode-se citar:

a) Reboco

Revestimento utilizado sobre a alvenaria, após o chapisco, para receber o acabamento, seja ele tinta ou cerâmica. É feito com uso de argamassa, que consiste na mistura de cimento, areia e água, podendo ser adicionado o cal para economia de cimento e também pode ser industrializado, onde são adicionados alguns aditivos químicos para melhorar a qualidade.

b) Pintura

Acabamento que é feito após o reboco, com objetivo estético e de impermeabilizar a parede. A pintura é feita após a aplicação de uma camada de massa corrida ou gesso para melhor uniformizar a parede. Existem diversos tipos de pintura, dentre eles: PVA, acrílica, epóxi, verniz e esmalte. Ainda existem as texturas, utilizadas como elementos decorativos ou em fachadas.

c) Contrapiso

Camada de argamassa aplicada sobre a laje com objetivo de nivelá-la para posterior aplicação do piso (revestimento), nas áreas molhadas da edificação como banheiros e cozinha

O objetivo do contrapiso, além de preparar a laje para receber o piso, é em de dar o caimento necessário à condução da água para os ralos.

d) Piso

Revestimento aplicado sobre o contrapiso com objetivo estético e funcional, dependendo do ambiente.

Os pisos podem ser: cerâmicos, de madeira, de plástico e carpetes.

2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

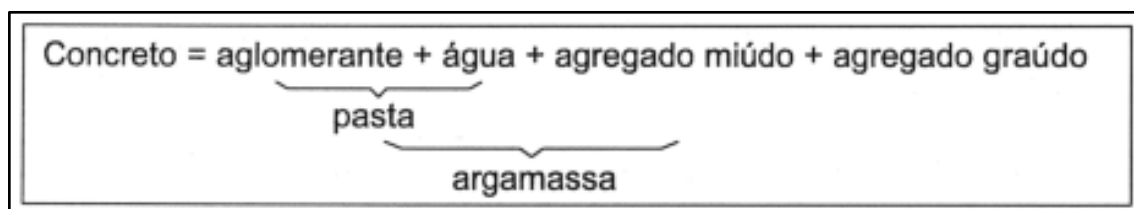
Dentre os diversos materiais de construção utilizados no Brasil, pode-se citar:

2.1. Concreto

É o material composto de aglomerantes que na presença de água endurecem, formando uma pedra artificial, além do aglomerante (no caso o cimento), está presente o agregado miúdo (areia) e o agregado graúdo (pedra natural), na maioria das vezes a brita.

A proporção entre esses materiais que fazem parte do concreto denomina-se traço ou dosagem, apresentado da seguinte forma:

Figura 60 - Traço de concreto



Fonte: Estruturas de concreto armado fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. Teatini

A relação água/cimento (a/c) é o principal fator que determina a resistência e durabilidade do concreto, sendo ainda importante a variação granulométrica sobre os agregados, a fim de se preencher todos os vazios presentes na mistura. Nessa mistura ainda é possível acrescentar aditivos para melhorar as características do concreto requerido em cada situação.

Propriedades mecânicas do concreto:

- Módulo de Elasticidade: E_{cs} ;
- Coeficiente de poisson: $\nu = 0,2$;
- Coeficiente de Dilatação Térmica: $\beta = 0,9 \text{ a } 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Concreto Armado: $\beta = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Peso específico: $\gamma = 2.500 \text{ Kg/m}^3$

Tipos de concreto:

- a) Concreto simples - Material estrutural feito apenas com o concreto, sem qualquer tipo de armadura;
- b) Concreto armado - Material estrutural composto de associação do concreto com barras de aço (armadura passiva) nele inseridos, que depende da aderência entre si, de modo que constituam um sólido único, do ponto de vista mecânico, quando submetido às ações externas;
- c) Concreto Protendido - Material estrutural constituído pela associação do concreto simples ou armado com uma armadura ativa, resistindo solidariamente aos esforços que a peça estiver submetida.

A armadura ativa é constituída por cabos ou cordoalhas, submetidas a uma força de tração, aplicada por meio de macacos hidráulicos, antes de ser aplicado o carregamento previsto na estrutura.

Ao serem retirados os macacos, estando as cordoalhas firmemente ligadas a um sistema de ancoragem, serão induzidas tensões de compressão na peça. Essa armadura ativa atua para reduzir, ou até mesmo eliminar, as tensões de tração que serão produzidas no concreto quando for aplicado o carregamento definitivo, eliminando ou diminuindo fissuras e deslocamentos.

A protensão pode ser aderente ou não aderente e ainda ser feita antes ou após a concretagem, dependendo do tipo de obra.

Vantagens

- Fácil adaptação às fôrmas, por ser lançado em estado semifluido, o que abre enormes possibilidades para a concepção arquitetônica;

- Com o uso de aditivos plastificantes e fluidificantes, usados para aumentar a trabalhabilidade e a fluidez do concreto, possibilitam o uso do concreto bombeado, que permite lançar o concreto pelas mangueiras sob pressão, em grandes alturas, com redução significativa dos custos e prazos para tarefas de transporte e lançamento;
- Economia nas construções pela possibilidade de obtenção de materiais nas proximidades da obra. Vale observar que toda cidade de porte médio ou grande tem hoje uma ou mais fábricas de cimento no seu entorno;
- Facilidade e rapidez na construção com o uso de peças pré-moldadas, estruturais ou não;
- Boa resistência ao fogo, desde que obedecida a NBR 15.200;
- Durabilidade elevada - os custos de manutenção das estruturas de concreto são baixos, quando atendidos os requisitos das normas técnicas pertinentes; no entanto, deve-se ressaltar que a manutenção preventiva é essencial, especialmente em edificações de exposição contínua a agentes agressivos (ambiente marinho, poluição atmosférica, umidade excessiva), ou de emprego do concreto aparente (sem argamassa de revestimento);
- Boa resistência a choques, vibrações e altas temperaturas;
- A resistência à compressão do concreto aumenta com a idade;
- Não requer mão de obra especializada;

Desvantagens:

- Peso próprio elevado (massa específica = 2.500kg/m^3);
- Fissuração inerente à baixa resistência à tração;

- Consumo elevado de fôrmas e escoramento, além de execução lenta, quando utilizados processos convencionais de montagem de fôrmas e concretagem;
- Dificuldade em adaptações posteriores - alterações significativas na edificação exigem revisão do projeto estrutural, o que implica, muitas vezes, na necessidade de reforço na estrutura;
- O concreto não é um material inerte e interage com o ambiente - as condições de agressividade ambiental vão determinar, em cada caso, a espessura da camada de concreto com cobrimento e proteção das armaduras.

2.2. Aço

É o material formado pela combinação do ferro com alguns elementos químicos como: carbono, silício, manganês, fósforo, enxofre, cobre e cromo, a fim de proporcionar características específicas a depender da utilização a ser dada ao aço.

Segue alguns tipos de aço:

Figura 61 - Alguns tipos de aço e suas composições químicas

Norma*	Grau	Faixa de Espessura (mm)	Composição Química (% p/p)					
			C	Mn	Si	P	S	Outros
USIFIRE	350	2,0 ~ 12,70	0,15 máx.	1,60máx.	0,60 máx.	0,030 máx.	0,020 máx.	Pcm 0,26 máx. (1)
	300	1,50 ~ 16,00		1,30máx.				
USISAC			0,18 máx.		0,50~1,50	0,010 ~ 0,060	0,030 máx.	Cu 0,05~0,40
	350	2,00 ~ 16,00		1,40máx.				
ASTM A242 (2013)	1	4,57 ~ 12,70	0,15	1,00máx.	-	0,15 máx.	0,05 máx.	Cu 0,20 mín. I ≥ 6,0 (2)
ASTM A606 (2009)	4	2,00 ~ 5,84	0,22 máx.	1,25máx. (4)	-	-	0,040 máx.	I ≥ 6,0 (2)

Fonte: Catálogo da Usiminas, 2015

Propriedades Mecânicas:

- Módulo de Elasticidade: $E = 210 \text{ Gpa}$;
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$;
- Coeficiente de Dilatação Térmica: $\beta = 1,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Peso específico: $\gamma = 7.850 \text{ Kg/m}^3$

Propriedades Físicas:

- Ductibilidade - capacidade do material se deformar sob ação de cargas;
- Fragilidade - oposto de ductibilidade. Os aços podem apresentar características de elementos frágeis em baixas temperaturas ambientes;
- Resiliência - capacidade do material absorver energia mecânica em regime elástico;
- Tenacidade - capacidade do material absorver energia mecânica em deformações elásticas e plásticas;
- Dureza - resistência ao risco ou abrasão;
- Fadiga - resistência nos carregamentos repetitivos.

Produtos:

- Produtos siderúrgicos - produzidos em siderúrgicas, laminados ou conformados a quente, sendo perfis, barras e chapas exemplos desses produtos;
- Produtos metalúrgicos - produzidos em metalúrgicas sendo perfis compostos por chapas dobradas ou chapas soldadas exemplos desses produtos.

Algumas aplicações:

- Telhados, edifícios industriais e comerciais, residências, hangares, pontes e viadutos, pontes rolantes e equipamentos de transporte, reservatórios, torres,

guindastes, postes, passarelas, indústria naval, escadas e mezaninos.

Vantagens:

- Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando assim um alto controle sobre a qualidade do produto acabado;
- Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- Material resistente a vibrações e choques;
- Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;
- Possibilidade de desmontagem e posterior montagem das estruturas em outro local;
- Alta resistência estrutural, possibilitando execução de estruturas mais leves capazes de vencer maiores vãos;
- Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque ou mesmo sobra de obras;
- Diminui as cargas para as fundações.

Desvantagens:

- Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local da montagem fina;
- Necessidade de tratamento superficial para as peças contra oxidação, exceto aço patináveis;
- Requer mão de obra especializada;
- Material não resistente ao fogo, sendo necessário revestimento para protegê-lo contra essa ação - existem aços resistentes ao fogo, mas não elimina a proteção feita por meio do revestimento.

2.3. Madeira

É um material natural, encontrado na natureza e muito utilizado na construção civil. É muito empregada em estrutura de telhados, divisórias, revestimentos, paredes, fôrma para estruturas de concreto, móveis, esquadrias como portas e janelas, escadas, estruturas de barracos e de edificações de médio porte, como casas e igrejas.

Existem dois tipos de madeira:

- **Duras, também conhecidas como madeira de lei:**
 - Provenientes de árvores frondosas;
 - Dicotiledôneas, da classe angiosperma, folhas achatadas e largas;
 - Crescimento lento;
 - Exemplos: peroba, ipê aroeira, etc.
- **Macias:**
 - Provenientes de árvores coníferas;
 - Classe gimnosperma, folhas agulhas ou escamas;
 - Crescimento rápido
 - Exemplos: pinho do Paraná, pinus, etc.

As madeiras utilizadas nas construções podem se classificar em duas categorias:

- **Madeiras Maciças:**
 - Madeira bruta ou roliça;
 - Madeira falquejada;
 - Madeira serrada;
- **Madeiras industrializadas:**
 - Madeira compensada;
 - Madeira laminada e colada
 - Madeira recomposta.

2.4. Cerâmica

É a denominação de todos os artigos ou objetos produzidos de argila e submetidos ao fogo.

É utilizada na alvenaria estrutural, como tijolo estrutural, nas paredes (como tijolo maciço ou furado), nos telhados (telhas), nos revestimentos de pisos e paredes (como porcelanatos, pastilhas e cerâmicas em geral).

No processo de fabricação, a transformação do barro em cerâmica acontece durante a queima. Na primeira queima, a água que existe na argila se evapora, aproximadamente em torno dos 400 °C. Em seguida ocorre a eliminação da água química, entre os 450 °C e 700 °C. A argila torna-se anidra, comumente chamada de metacaulim. Aos 830 °C transforma-se em gama-alumina e aos 1.050 °C em mulita.

A diferença entre o revestimento cerâmico e o porcelanato está na tecnologia da manufatura desses produtos. O porcelanato possui um processo tecnologicamente mais complicado e um resultado mais controlado do que a cerâmica comum.

O porcelanato é feito com uma mistura de porcelana e diversos minerais, passando por uma queima de temperatura superior a 1.200°C. O resultado é mais homogêneo, muito denso, vitrificado e mais resistente do que as cerâmicas convencionais, além de ser menos poroso e, portanto, ter um índice de absorção de água muito baixo.

Resistência à abrasão das cerâmicas:

Figura 62 - Classificação das cerâmicas quanto à resistência à abrasão

PEI	TRÁFEGO	PROVÁVEIS LOCAIS DE USO
PEI 0	-	Paredes (desaconselhável para pisos)
PEI 1	BAIXO	Banheiros residenciais, quartos de dormir etc.
PEI 2	MÉDIO	Cômodos sem portas para o exterior e banheiros.
PEI 3	MÉDIO ALTO	Cozinhas, corredores, halls e sacadas residenciais e quintais.
PEI 4	ALTO	Residências, garagens, lojas, bares, bancos, restaurantes, hospitais, hotéis e escritórios.
PEI 5	ALTÍSSIMO	Residência, áreas públicas, shoppings, aeroportos, padarias e <i>fast-foods</i> .

Fonte: Guia da ANFACER, 2009

2.5. Tintas

A tinta é uma composição química formada pela dispersão de pigmentos numa solução de um ou mais polímeros, que, ao ser aplicada na forma de uma película fina sobre uma superfície, se transforma num revestimento.

Quando a composição não contém pigmentos, é denominada verniz.

São utilizadas em revestimentos de pisos, paredes e tetos e podem ser do tipo PVA⁸, acrílica, epóxi, poliuretano, verniz ou esmalte sintético.

De acordo com a superfície na qual vai ser aplicada, a pintura tem finalidades diferentes:

- Alvenaria - a pintura evita o esfarelamento do material, a absorção de água da chuva e da sujeira, o desenvolvimento de mofo entre outros;

⁸ Acetato de Polivinila: nome da substância usada para fabricar a tinta látex.

- Madeira - além do embelezamento, a tinta na madeira contribui para impedir a absorção de água e umidade pelo material, o que leva a maior durabilidade;
- Metal ferroso (aço-carbono) - atualmente a pintura é a solução mais utilizada para o combate à corrosão nesses materiais;
- Metal não ferroso - assim como em todos os outros, a pintura é utilizada para colorir e decorar esses materiais.

Componentes básicos:

- Resinas - são responsáveis pela formação da película protetora na qual se converte a tinta depois de seca;
- Pigmentos - são partículas sólidas e insolúveis, podendo ser divididos em dois grupos: ativos e inertes. Os pigmentos ativos conferem cor e poder de cobertura à tinta, enquanto que os outros se encarregam de proporcionar lixabilidade, dureza, consistência e outras características;
- Diluentes - também chamados de solventes, são líquidos voláteis que possibilitam a tinta apresentar sempre a mesma viscosidade e forma líquida;
- Aditivos - são compostos que geralmente estão em pequena quantidade na tinta e conferem a ela características especiais, como secantes, fungicidas, bactericidas, aromas, entre outras.

2.6. Vidro

O vidro é 100% reciclável. Além das matérias-primas naturais, são utilizados também cacos de vidro, o que permite reduzir além do consumo das matérias-primas, o de energia, fazendo dele um material sustentável. O principal atributo natural do vidro é a estabilidade, que o permite resistir tanto ao calor quanto ao frio extremo. O vidro é completamente inerte e

imutável, resistente aos agentes atmosféricos e químicos, não transmitindo nada aos produtos que estão envoltos nele.

É utilizado em guarda corpos, coberturas, paredes, janelas e portas, podendo ser liso (comum), aramado, temperado ou laminado.

É formado essencialmente de matérias-primas naturais e abundantes :

- Areia - compõe a maior parte da composição e tem capacidade vitrificante;
- Barrilha - auxilia na fusão da areia e controla a viscosidade;
- Calcário - auxilia na estabilidade do vidro.

2.7. Plásticos

São materiais orgânicos poliméricos sintéticos, de constituição macromolecular, dotadas de grande maleabilidade, facilmente transformável mediante o emprego de calor e pressão. A matéria-prima dos plásticos geralmente é o petróleo.

São utilizados em forros, pisos, coberturas, paredes, janelas, portas, instalações elétricas e hidráulicas e podem ser de PVC⁹, PET¹⁰, EPS, PU¹¹, PPR¹² ou policarbonato.

Podem ser subdivididos em:

- Termoplásticos - derretem e são recicláveis (PET , PVC e EPS);

⁹ Policloreto de Vinila

¹⁰ Poli Teftalato de Etila

¹¹ Poliuretano

¹² Polipropileno Copolímero Random

- Termofixos - não derretem e não são recicláveis (baquelite, PU-Poliuretanos).

2.8. Alumínio

O processo de formação do alumínio se dá a partir da matéria-prima bauxita que é triturada e lavada, então é extraído por meio do refinamento a alumina ou óxido de alumínio.

Com a combinação da alumina, eletricidade e carbono gera-se o alumínio líquido, que pode ser fundido em lingotes de extrusão, laminação ou ligas de fundição, dependendo do uso do alumínio.

É muito utilizado na construção civil (em estruturas, esquadrias, fios elétricos), nos automóveis, em componentes eletrônicos, em embalagens, entre outros.

Possui como principais características ser leve, resistente, maleável, reciclável, supercondutor de calor e eletricidade, incombustível, de alta durabilidade, resistente à corrosão e excelente refletor de luz e calor.

O alumínio é 100% reciclável e pode ser combinado a outros elementos para formar uma liga mais adequada para cada uso, tais como o cobre, o magnésio e o silício.

2.9. Cobre

O processo de formação do cobre se dá a partir da extração do minério, conhecido como calcosite ou calcosita (Cu_2S) que é moído, aquecido e na presença de oxigênio (O_2) libera o cobre (2Cu) e o dióxido de enxofre (SO_2).

É utilizado na construção civil (tubulações de água e gás), bem como em fios elétricos, componentes eletrônicos, entre outros.

Possui como principais características ser maleável, reciclável, supercondutor de calor e eletricidade, incombustível, de alta durabilidade, resistente à corrosão e antibacteriano.

2.10. Gesso

O gesso é um mineral aglomerante produzido a partir do aquecimento da gipsita, um mineral abundante na natureza. É composto de sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e com a calcinação deste.

O processo de produção do gesso, por meio da calcinação, necessita de elevadas temperaturas, sendo utilizada como fonte energética a queima de madeira, como consequência, devastando a flora, a fauna e a resiliência do lugar.

Durante o processo é liberada grande quantidade de água e de resíduos da combustão, como os óxidos de enxofre, que, reagindo com a água, produzem o ácido sulfídrico e sulfúrico possibilitando assim ocorrência de chuvas ácidas.

É muito utilizado na construção civil como forro, divisórias e revestimento de parede e de teto.

Possui como principais características ser isolante térmico e acústico, facilmente moldado, de endurecimento rápido, excelente isolante contra propagação de fogo e com boa aderência.

3. COMPORTAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Edificações especiais, tais como edifícios altos, grandes depósitos, centros de compras, instalações industriais, necessitam de projetos diferenciados, pois envolvem grandes riscos.

Essas construções podem não ter obedecido a todas as exigências, falhando em algum ponto do projeto, da construção, da operação e da manutenção, colocando em risco os ocupantes e bombeiros envolvidos no caso de sinistro.

Já as edificações subnormais, foram construídas em locais onde ocorrem crescimento e alastramento de favelas e cortiços, devido às condições econômicas e a migração em massa para as cidades, criando assim, ambientes de risco.

São edificações não controladas pelo Estado e portanto não seguem normas de segurança. Além disso, o CBMDF não realiza fiscalização e vistoria em residência unifamiliar, o que aumenta a exposição ao risco por, muitas vezes, tratar-se de construções precárias, feitas com materiais combustíveis ou instalações e equipamentos em péssimas condições.

Qualquer pequeno incêndio pode se transformar em uma tragédia num curto espaço de tempo, sobrando para os bombeiros apenas o rescaldo e o atendimento às vítimas.

As ações adotadas para se alcançar uma segurança adequada em um edifício devem ser coerentes e implantadas de maneira conjunta.

Essas ações constituem o sistema global de segurança contra incêndio, o qual é particular a cada edifício e a concepção e o desenvolvimento cabem a uma equipe multidisciplinar de profissionais, devido ao grande número de aspectos abordados.

Os requisitos funcionais a serem atendidos por um edifício seguro estão diretamente ligados à sequência de etapas de um incêndio.

As etapas são:

- a) Início do incêndio;
- b) Crescimento do incêndio no local de origem;

- c) Combate;
- d) Propagação para outros ambientes;
- e) Evacuação do edifício;
- f) Propagação para outros edifícios;
- g) Ruína parcial ou total do edifício;
- h) Operações de natureza de combate ao fogo e de resgate/salvamento de vítimas.

Estabelecidas as etapas de um incêndio, os requisitos funcionais a serem atendidos pelos edifícios consistem respectivamente em:

- a) Dificultar a ocorrência do princípio de incêndio;
- b) Ocorrido o princípio de incêndio, dificultar a ocorrência da inflamação generalizada do ambiente;
- c) Possibilitar a extinção do incêndio no ambiente de origem, antes que a inflamação generalizada ocorra;
- d) Instalada a inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, dificultar a propagação para outros ambientes;
- e) Permitir a fuga dos usuários do edifício;
- f) Dificultar a propagação do incêndio para edifícios adjacentes;
- g) Manter o edifício íntegro, sem danos, sem ruína parcial ou total;
- h) Permitir operações de natureza de combate ao fogo, de resgate/salvamento de vítimas e de perícia.

O comportamento diante do fogo em materiais combustíveis utilizados nos revestimento e acabamento de paredes, tetos e pisos, bem como daqueles incorporados aos sistemas construtivos, podem ser conhecidos mediante ensaios laboratoriais, de modo isolado, e mediante condições padronizadas que visam reproduzir determinados momentos de um incêndio.

Esses ensaios permitem um controle das características de reação ao fogo desses materiais, tais como: a facilidade de ignição e capacidade de sustentar a combustão. Isso possibilita uma melhor seleção dos materiais, a fim de obter níveis aceitáveis de segurança contra incêndio, já no processo construtivo do edifício e reduzindo assim a probabilidade de o incêndio ter início nos materiais que compõem os edifícios.

A Instrução Técnica de São Paulo Nº 10 – Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento, estabelece diretrizes para o uso de materiais combustíveis atreladas às respectivas finalidades.

As características que determinam a intensidade e o desenvolvimento do incêndio são:

- Facilidade de ignição;
- Capacidade de sustentar a combustão;
- Rapidez com que as chamas se propagam pelas superfícies;
- Quantidade e taxa de desenvolvimento de calor liberados no processo de combustão;
- Desprendimento de partículas em chama e/ou brasa;
- Desenvolvimento de fumaça e gases nocivos.

Os objetivos fundamentais da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e reduzir a perda patrimonial.

O risco à vida humana é determinado pela exposição severa à fumaça e ao calor, bem como ao desabamento de elementos construtivos sobre os usuários ou na equipe de combate.

A principal causa de óbitos por incêndio é a exposição à fumaça tóxica ou asfixiante, que ocorre nos primeiros momentos do sinistro, sendo assim é prioridade a rápida desocupação do ambiente em chamas.

Edifícios de pequeno porte e de fácil desocupação exigem menos dispositivos de segurança e a verificação da estrutura em situação de incêndio pode ser dispensada.

Edifícios de maior porte, em que há dificuldade de se avaliar o tempo para desocupação ou que um eventual desabamento pode afetar a vizinhança ou a equipe de combate, exigem maior segurança e verificação das estruturas em incêndio.

Um sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de meios ativos (extintores, hidrantes, detecção de calor ou fumaça, brigada contra incêndio, entre outros) e passivos (resistência ao fogo das estruturas, escadas de segurança, compartimentação, entre outros).

Como visto anteriormente, um incêndio pode ser dividido basicamente em quatro fases:

Na primeira fase, de início do incêndio, a reação dos materiais ao fogo é a grande protagonista do sinistro, tendo como consequência a liberação de odor, desenvolvimento da fumaça e solicitação de socorro aos bombeiros, estando o incêndio restrito a um local.

Na segunda fase e terceira fases, de crescimento e desenvolvimento total do incêndio, tanto a reação como a resistência ao fogo desempenham papéis importantes, devido à propagação de chamas para os ambientes do edifício de origem e aos edifícios adjacentes, por meio de: portas, janelas, *shafts* ou qualquer outra abertura constante nas paredes e tetos.

Na quarta fase, de extinção do incêndio, a reação dos materiais ao fogo já produziu seus efeitos, o local incendiado depende decisivamente da resistência ao fogo dos elementos que constituem o edifício (elementos

estruturais e elementos de compartimentação horizontal e vertical), desempenhando um papel decisivo ao salvamento de bens e pessoas.

Em resumo: as chamas, a fumaça, o calor desenvolvido, o número de vítimas, o pânico dos usuários e a severidade do incêndio, estão relacionados com a reação ao fogo diante dos materiais combustíveis contidos no edifício e agregados ao sistema construtivo.

A integridade dos elementos construtivos e estruturais, a dificuldade de propagação do fogo entre compartimentos, a eficácia na atuação dos sistemas de extinção e as possíveis vidas resgatadas e bens salvados dependem da resistência ao fogo dos elementos que compõem o edifício e os da própria estrutura.

Resistência ao fogo é a propriedade sobre um elemento de construção em não ceder à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo a segurança estrutural (estabilidade e integridade), estanqueidade a gases e chamas, e isolamento térmico.

Figura 63 - Resistência ao fogo



Fonte: A segurança contra incêndio no Brasil

Com respeito ao estudo sobre segurança nas estruturas, o incêndio pode ser caracterizado por uma curva que fornece a temperatura dos gases em função ao tempo de incêndio.

Figura 64 - Curva da Temperatura versus tempo em um incêndio real

Fonte: SEITO e outros, 2008

Essa curva apresenta três regiões. Uma região inicial com baixas temperaturas, em que o incêndio é considerado de pequenas proporções. A combustão pode gerar gases tóxicos ou asfixiantes, mas o risco de dano à estrutura é baixo.

Uma segunda região, com aumento brusco da inclinação na curva da temperatura versus tempo é conhecido como fase de aquecimento. Nessa fase pode ocorrer o *flashover* (generalização do incêndio), ou seja, quando toda a carga combustível do ambiente entra em ignição quase que instantaneamente.

O incêndio torna-se de grandes proporções tomando todo o compartimento. A temperatura dos gases se eleva rapidamente até todo material combustível extinguir-se.

Após essa fase existe uma terceira região onde há redução gradativa na temperatura dos gases.

Segundo o Manual de Combate a Incêndio – Módulo 1 do CBMDF, o incêndio é dividido em quatro fases e não três, como apresentado no gráfico da figura anterior. As quatro fases do manual são:

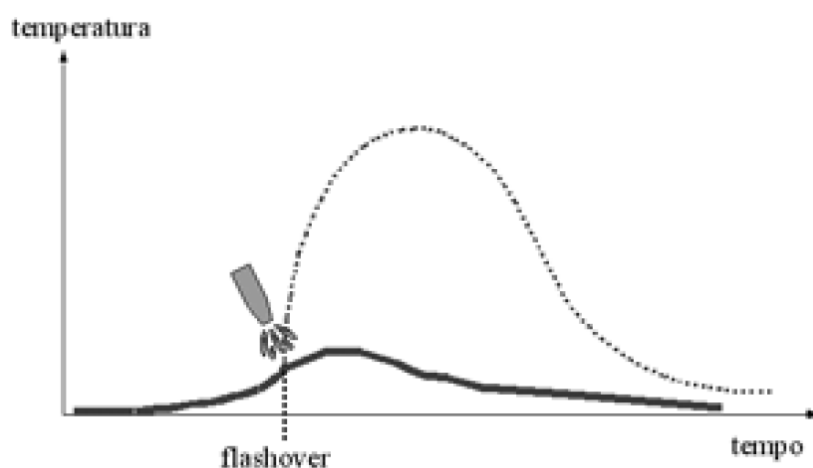
- fase inicial;

- fase crescente;
- fase totalmente desenvolvida;
- fase final.

As duas curvas possuem o mesmo comportamento, porém na curva da Figura 64, o autor juntou as fases crescente e totalmente desenvolvida na fase de aquecimento, tendo em vista que o foco não é o combate ao incêndio, como no caso do manual, sendo portanto um gráfico mais simplificado. Para a análise das estruturas em situação de incêndio a curva é mais simplificada ainda, sendo considerado o incêndio a partir da segunda fase, como pode ser visto na Figura 66.

Caso a edificação tenha medidas para o combate a incêndio, proteção ativa eficiente para extinguir o fogo antes do *flashover*, a segurança na estrutura será pouco afetada em situação de incêndio.

Figura 65 - Efeito sobre o chuveiro automático no desenvolvimento do incêndio



Fonte: SEITO e outros, 2008

Visto a dificuldade em determinar a curva com precisão, é comum verificar as estruturas dos edifícios de maior risco para a situação *pós-flashover*.

Por ser de difícil determinação, a curva real é comumente substituída por curvas temperatura versus tempo naturais, onde o cenário do

incêndio é modelado de forma simplificada. As curvas são parametrizados por meio da carga de incêndio, grau de ventilação e inércia térmica dos elementos de compartimentação.

Admite-se que a temperatura é uniforme no compartimento, tendo essa hipótese com base no regime turbulento de um incêndio.

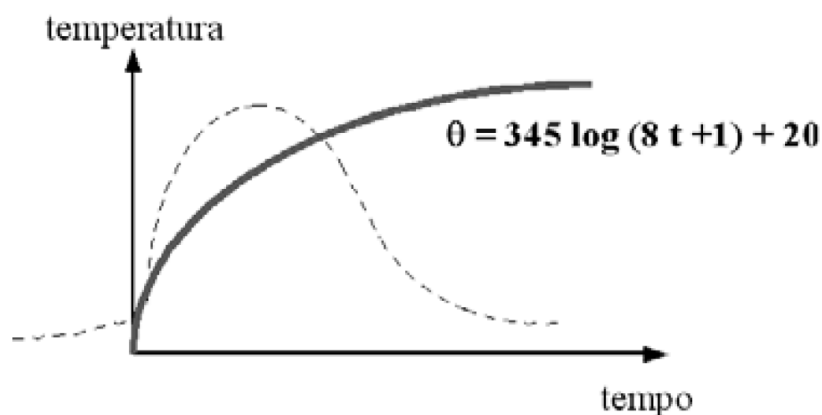
Modelos mais precisos podem ser obtidos empregando-se simulações computacionais, utilizando a modelagem de incêndio, nos quais pode-se considerar duas ou mais zonas de temperaturas, sendo mais adequado ao *pré-flashover*, ou uma distribuição mais realística de temperaturas no compartimento.

A curva temperatura versus tempo do incêndio se altera para cada situação.

Na falta de estudos mais realísticos, uma curva padronizada de temperatura versus tempo dos gases é adotada como modelo e utilizada para os ensaios com fornos de institutos de pesquisa, para a análise experimental de estruturas, materiais de revestimento contra-fogo, portas corta-fogo, entre outros.

A curva padrão é de fácil uso, porém quaisquer conclusões com base nessa curva devem ser analisadas com cuidado, pois o incêndio padrão pode não corresponder ao incêndio real. Para o emprego dela há necessidade de se utilizar artifícios, tal qual o TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo).

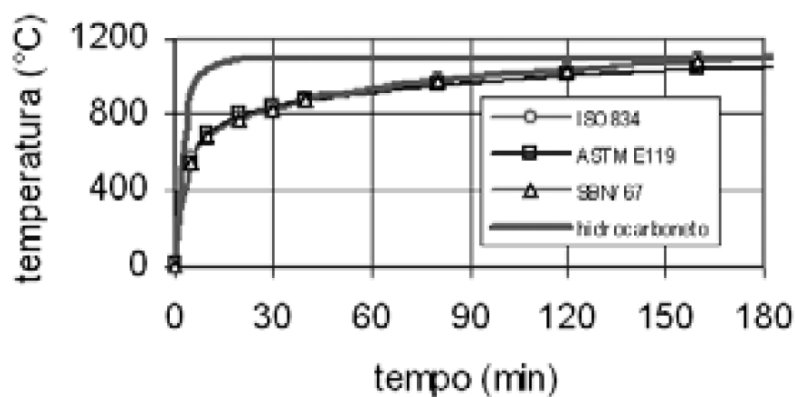
O modelo da curva é conhecido como modelo do incêndio padrão, sendo a mais difundida internacionalmente e recomendada pela ISO 834 (1994), conforme curva e equação contidas no gráfico a seguir.

Figura 66 - Curva modelo para o Incêndio Padrão

Fonte: SEITO e outros, 2008

A curva padrão é empregada em incêndios em ambientes com material combustível formado predominantemente de materiais celulósicos.

Para incêndios em ambientes com material combustível formado por hidrocarbonetos o EC1 (2002) padroniza a seguinte curva:

Figura 67 - Curva padrão de hidrocarbonetos

Fonte: SEITO e outros, 2008

Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

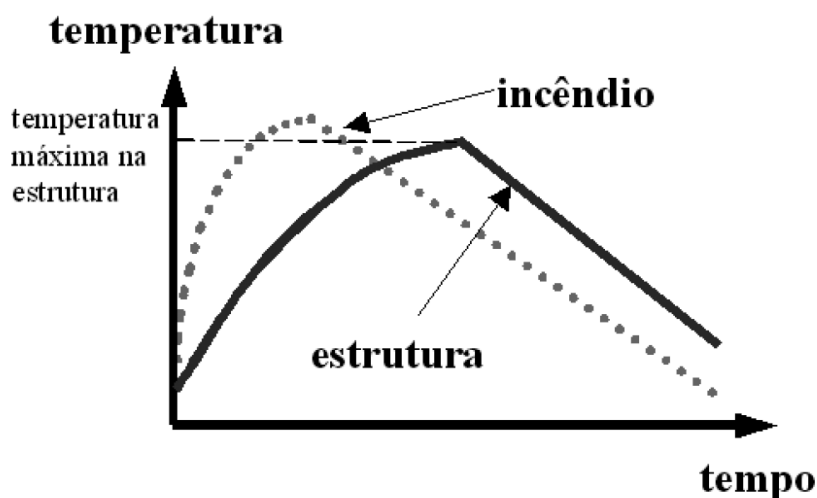
É o tempo mínimo, em minutos, que os elementos construtivos devem resistir mantendo a integridade, estanqueidade e isolamento, quando sujeitos a uma ação térmica padronizada, em um ensaio laboratorial.

Na engenharia de estruturas, em situação de incêndio, o que determina a ruína de um elemento estrutural é o campo de temperaturas no qual o elemento está submetido e o tempo sobre o qual ficou exposto a essas temperaturas.

Dessa forma, deve-se seguir uma maneira mais precisa para conceituar o TRRF. O incêndio real ou natural atinge uma temperatura máxima, se essa temperatura for uniformemente distribuída no elemento estrutural, sendo possível, a partir de expressões da transferência de calor, determinar a curva temperatura versus tempo no elemento.

O dimensionamento da estrutura para essa temperatura assegura uma resistência ao fogo adequada durante a vida útil da estrutura.

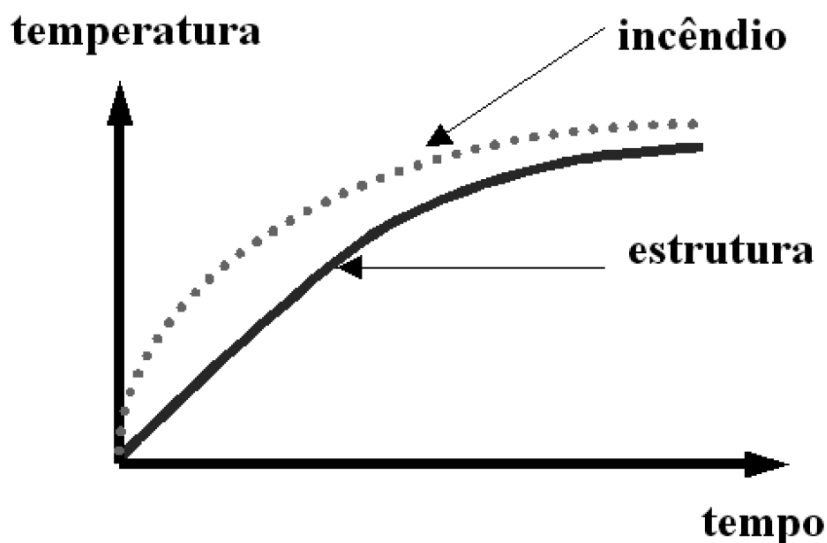
Figura 68 - Temperatura máxima na estrutura



Fonte: SEITO e outros, 2008

No entanto, na prática emprega-se a curva padrão, surgindo assim uma dificuldade operacional. Nesse caso, a curva temperatura versus tempo do elemento estrutural não apresenta ponto máximo.

Normalmente, esse problema é solucionado admitindo-se o valor de um tempo, em função do risco de incêndio, tipo de ocupação e altura, avaliado nas edificações.

Figura 69 - Curva modelo no incêndio padrão de uma estrutura

Fonte: SEITO e outros, 2008

Esse tempo é conhecido por tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) das estruturas e é estabelecido em normas ou códigos. A partir desse tempo, é possível determinar a temperatura na estrutura e assim dimensioná-la.

O TRRF é um tempo fictício que, associado à curva padrão, também fictícia, conduz à máxima temperatura no elemento estrutural no incêndio real. Geralmente, esse tempo é pré-estabelecido por consenso em cada sociedade, sem cálculos mais precisos. (SEITO e outros, 2008, p.147)

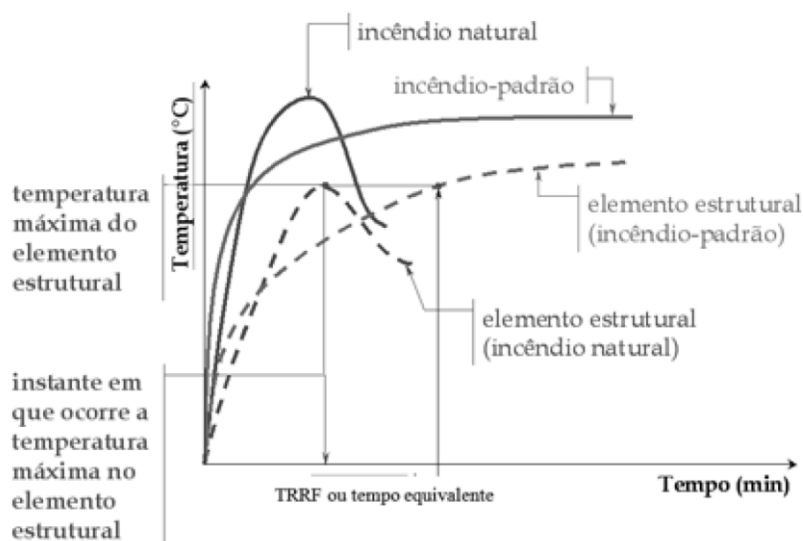
Figura 70 - Valores de TRRF

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR 14432:2001

Existe ainda outro método de cálculo que permite atenuar o TRRF de uma edificação em até 30 minutos, caso essa possua condições favoráveis de ventilação e sistemas de proteção contra incêndio, de forma a tornar a edificação mais segura.

Esse método é conhecido como tempo equivalente (Teq).

Figura 71 - Comparativo entre as curvas modelo e as curvas reais

Fonte: SEITO e outros, 2008

Carga de incêndio é a soma das energias caloríficas possíveis de serem liberadas da combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço, inclusive os revestimentos das paredes, divisórias, pisos e tetos.

Já a carga de incêndio específica é o valor da carga de incêndio dividido pela área de piso do espaço considerado, expresso em megajoule (MJ) por metro quadrado (m^2);

Seguem abaixo dois métodos de cálculo para determinação da carga de incêndio de uma edificação, que pode ser utilizada tanto para determinar o risco de uma edificação a ser construída ou já existente ou até mesmo para estimar a carga de incêndio em um sinistro e com isso conseguir chegar a uma temperatura no incêndio e tempo.

- Método de cálculo probabilístico - método de cálculo baseado em resultados estatísticos do tipo de atividade exercida na edificação em estudo;
- Método de cálculo determinístico - método de cálculo baseado no prévio conhecimento da quantidade e qualidade de materiais existentes na edificação em estudo.

Após o incêndio o perito em incêndios e explosões precisa avaliar os possíveis danos e riscos que a estrutura apresenta, tais como possíveis estalos, deformações excessivas, deslocamento de concreto e fissuração, visando a própria segurança e da equipe. Caso ache necessário, poderá solicitar a presença de um engenheiro estrutural para analisar a situação na estrutura após incêndio e verificar a necessidade de intervenção.

Quando se analisa as consequências do fogo nos elementos de concreto, deve-se tentar definir alguns dados importantes, como a temperatura máxima atingida e a duração em que a peça ficou submetida.

Determinar a temperatura exata de um incêndio é uma tarefa impossível, no entanto pode-se ter uma aproximação por meio do exame de alguns materiais encontrados no local, tendo por base o ponto de fusão em cada material.

Figura 72 - Pontos de fusão de alguns materiais

Material	Temperatura de Fusão (em °C)
Níquel	1455
Aço	1400
Vidro/cristal	1100 a 1400
Fios elétricos (cobre)	1083
Prata	960
Latão	900
Bronze	900
Alumínio	660
Zinco	419
Chumbo	327
Estanho	232
Polietileno	120
Borracha	100
PVC	65
Poliuretano	60

Fonte: METHA, 1994

Após conseguir determinar a temperatura e o tempo que o elemento ficou submetido, é possível avaliar a atual condição do elemento.

Existem algumas bibliografias que relacionam a cor do concreto com a temperatura a qual o elemento estrutural ficou exposto. No caso da perícia em incêndio e explosões isso não se aplica, tendo em vista que essa mudança de cor só é possível verificar quando o concreto é submetido a elevadas temperaturas por meio de painel radiante e não em situação real de incêndio, onde o concreto fica completamente preto devido ao acúmulo de fuligem, de difícil remoção. Os agregados e diferentes tipos de cimento também podem alterar a cor do concreto, o que torna o caso em lide um mito.

É necessária a avaliação em cada elemento utilizando alguns ensaios e procedimentos.

Procedimentos para avaliação na estrutura de concreto:

- Limpar a superfície do concreto com jatos de ar, água ou areia;
- Extrair corpos de prova para ensaios de compressão em laboratório;
- Extrair amostra de concreto para análise química em laboratório;
- Extrair amostras da armadura para ensaio à tração em laboratório;
- Medir deformações com aparelhos de precisão;
- Utilizar aparelhos de ultrassom para avaliar a homogeneidade do concreto;
- Utilizar o pacômetro para localizar as barras de aço no interior do concreto;
- Realizar provas de carga;
- Fazer teste de dureza com esclerômetro.

3.1. Comportamentos Dos Materiais Sob Ação Do Fogo

O comportamento dos materiais sob ação do fogo é um grande indicador da temperatura no incêndio, da zona de origem e do foco inicial, sendo muito importante entender o comportamento deles para se determinar a causa do incêndio.

Pode-se verificar a temperatura aproximada no incêndio tendo como base a temperatura de fusão em alguns materiais, como apresentado anteriormente.

Identifica-se a zona de origem a partir do comportamento dos materiais contidos na edificação, como móveis e elementos construtivos.

Como o efeito da coluna térmica no forro de gesso, na pintura da parede ou no reboco, por exemplo.

No foco inicial é muito comum o deslocamento do reboco e o descolamento dos revestimentos cerâmicos ou do contrapiso onde o fogo ocorreu devido à elevada temperatura.

É possível identificar a coluna térmica em telhas de fibrocimento, ou nas estruturas dos telhados, sejam eles de madeira ou metálicos.

A capacidade resistente do concreto, do aço, das estruturas mistas, da madeira, da alvenaria estrutural e do alumínio em situação de incêndio, é reduzida em vista da degeneração das propriedades mecânicas dos materiais ou na redução da área resistente.

Apesar da redução nas propriedades mecânicas do concreto e da madeira ser mais acentuada, em função da temperatura, quando comparada com a do aço, deve-se lembrar que a temperatura média atingida por um elemento isolado de aço em incêndio é geralmente maior do que a dos outros dois materiais, afinal o aço é um melhor condutor térmico.

No aço e no alumínio, a resistência e o módulo de elasticidade são reduzidos quando submetidos a altas temperaturas.

Os elementos de madeira sofrem carbonização na superfície exposta ao fogo, reduzindo a área resistente e realimentando o incêndio. A região central recebe proteção proporcionada pela camada carbonizada, atingindo baixas temperaturas.

O carvão é um resíduo da combustão incompleta da madeira, que se comporta como isolante térmico. A condutividade térmica do carvão isoladamente da temperatura ambiente, representa cerca de 1/6 da condutividade térmica da madeira em igual condição, o que já poderia ser considerada baixa.

3.1.1. Comportamento do concreto armado no incêndio:

No concreto, além da redução na resistência e no módulo de elasticidade ocorre a perda de área resistente, devido ao *spalling*.

Spalling é um lascamento da superfície do elemento de concreto quando submetido a um incêndio, devido à pressão interna da água ao evaporar-se e ao comportamento diferencial dos materiais componentes do concreto (cimento, areia, brita, água e aço).

Em concretos de alta resistência pode ocorrer o *spalling* explosivo, pela maior dificuldade de percolação da água.

O *spalling* reduz a área resistente do concreto e expõem a armadura ao fogo.

Outro fator que afeta o concreto é o resfriamento brusco provocado pela água de combate ao fogo, que produz um choque térmico no elemento estrutural.

Isso tem sido, em alguns casos, o responsável pelos danos no concreto, pois a água reidrata o hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), inchando o concreto e produzindo fissuras a ponto de deslocar o concreto de cobrimento da armadura.

a) Características da água no concreto aquecido - a água contida no concreto endurecido apresenta-se de três formas:

- Ligada quimicamente - quando realiza a hidratação do cimento;
- Ligada fisicamente - absorvida, água de cristalização;
- No estado livre - ocupa os poros.

Para temperaturas um pouco superiores 100 °C ocorre evaporação da água livre e parte da água ligada fisicamente, o que

implica na retração da peça, gerando microfissuras, alterando-se muito pouco a resistência mecânica do elemento estrutural.

Para temperaturas superiores 400 °C começa existir a perda de água ligada quimicamente; nessa condição ocorre uma queda considerável na resistência do concreto.

b) Características do cimento no concreto aquecido

Em concretos que empregam cimento Portland comum e agregados usuais, nas temperaturas de até 300 °C alteram muito pouco as características mecânicas; para temperaturas mais elevadas é preferível a utilização de cimento aluminoso e pozolânico.

Quando a temperatura atinge em torno de 900 °C, o cimento se encontra em risco de destruição total. Segundo Bauer esse fenômeno é menos grave e ocorre mais lentamente que a dilatação dos agregados, provocando o aparecimento de fissuras.

c) Características do agregado no concreto aquecido

Os agregados se comportam bem até aproximadamente 300 °C; a partir dessa temperatura começam por apresentar uma dilatação excessiva, provocando o fissuramento no concreto.

Os calcários são menos afetados pelo fogo devido ao coeficiente de dilatação $0,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, mais baixo do que o granito $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

O calcário tem reações endotérmicas quando aquecido, porém quando atinge 900 °C se decompõe liberando CO_2 , CaO e MgO .

O granito e o gnaiss fissuram acima de 500 °C.

O basalto não se altera com o calor assemelhando-se ao comportamento da argila expandida e ao da escória.

Concretos com alto teor agregado versus cimento comportam-se melhor em caso de incêndios.

d) Características da armadura no concreto aquecido

Os aços resistem bem até 350 °C, onde ocorre um incremento de resistência à tração até essa temperatura, caindo vertiginosamente para temperaturas superiores.

Outro fator importante a ser avaliado é o cobrimento da armadura. Quando esse aço está muito na superfície, o concreto não consegue protegê-lo tanto da ação do calor, quanto da ação da água de combate ao fogo, sendo, portanto, um elemento menos resistente ao incêndio.

Quando o aço está submetido a temperaturas superiores a 365 °C, pode apresentar o fenômeno da deformação progressiva, fluência. Nessas condições a ruptura do aço se dá por fluência e não a ruptura característica por estrição.

e) Características dos revestimentos no concreto aquecido

As argamassas de cimento, areia e cal, normalmente utilizadas nos revestimentos, não têm se mostrado eficiente como proteção, por se degradarem a temperaturas normalmente atingidas no incêndio.

O gesso por sua vez, constitui uma excelente proteção, uma vez que 3 cm de revestimento é capaz de conferir uma proteção de até quatro horas em caso de incêndios.

3.1.2. Comportamento do aço no incêndio

As estruturas de aço são mais vulneráveis ao fogo do que as de concreto. Em torno de 600 °C o aço perde praticamente 50% de resistência, prejudicando assim sua capacidade de resistir aos esforços de tração e compressão.

Na maioria das vezes as estruturas metálicas não são adequadamente protegidas e sofrem colapso total ou parcial em um incêndio. Quando isso não ocorre elas apresentam deformações excessivas implicando na necessidade de refazê-la.

O aumento de temperatura nas estruturas de aço provoca grandes dilatações, gerando assim deformações excessivas e conseqüentemente elevações de tensões para os nós das ligações, comprometendo assim a estabilidade do conjunto estrutural.

Diante disso, caso a estrutura resista, é importante avaliar as condições das ligações, trincas em solda e parafusos. Deve-se verificar também a integridade dos elementos que formam a estrutura, quanto à flambagem (se sofreram deformação ou redução de seção).

Aços resistentes ao fogo são os aços derivados de alta resistência, onde são adicionados outros elementos químicos, como níquel, titânio, vanádio e molibidênio, com a finalidade de aumentar o tempo de início na deformação da estrutura.

Ensaio de tração do USI-FIRE-40, a uma temperatura de 600°C, mostram uma perda de resistência de 25% enquanto o ASTM A-36 tem uma redução de 50%. A Usiminas desenvolveu, com base no USI-SAC-41 e USI-SAC-50, os USI-FIRE-40 e o USI-FIRE-49.

O aço é constituído, basicamente, por uma liga de ferro e carbono. Parte das propriedades é determinada pela proporção entre esses elementos, sendo de grande importância a forma como eles combinam quando tratados com calor.

Quanto à dureza o aço pode variar de bem macio a bem duro, dependendo do tratamento térmico a que for submetido. Isso é importante quando se quer um formato específico e que ao mesmo tempo tenha dureza elevada.

Resumidamente, quando o aço com 0,6% de Carbono é aquecido a 800°C surge a austenita:

- Se deixá-lo resfriar naturalmente a 648 °C, tem-se a perlita de dureza Brinell 200;
- Se resfriar rapidamente de 800°C até 315 °C, tem-se outro cristal, a bainita de dureza Brinell 550.
- Se resfriar rapidamente de 800 °C até 125 °C, sem dar tempo de surgir a perlita ou a bainita, tem-se outro cristal, a martensita de dureza Brinell 650.

O aquecimento elevado do aço e seu resfriamento brusco é o tratamento de têmpera, que aumenta a dureza, o limite de elasticidade, a resistência à tração, porém diminuindo o alongamento e a tenacidade.

Normalmente a perlita, a bainita e a martensita são estruturas muito quebradiças e para o uso estrutural necessita-se de aços mais maleáveis. Isso pode ser conseguido aquecendo-se novamente a perlita, por exemplo, a altas temperaturas e a resfriando de forma controlada, obtendo-se, assim, um aço de mesma resistência que a perlita e muito menos quebradiço.

O sistema de proteção das estruturas metálicas é formado por materiais de sacrifício, proteção passiva, utilizados como revestimento, com o único objetivo de retardar a evolução da temperatura no elemento de aço em caso de incêndio.

São considerados materiais de sacrifício:

- Elementos de argila ou cerâmicos;
- Concreto;
- Argamassa projetada;
- Gesso;
- Gesso e fibras;

- Argamassa com vermiculita;
- Argamassa com fibra de amianto;
- Manta de fibra cerâmica;
- Manta de lã de rocha;
- Tintas intumescentes.

3.1.3. Comportamento das estruturas sob ação do fogo

O aço começa a perder resistência a partir de 550 °C, mas quão rapidamente a estrutura irá colapsar depende de vários fatores. Um pilar ou uma viga pode continuar funcionando sob altas temperaturas, dependendo do carregamento, das condições de apoio e dos graus de restrições, da relação das propriedades do material com a temperatura e do gradiente de temperatura na seção (*British Standards Institution*, 1990).

O que determina a resistência ao fogo de um elemento em concreto é a relação entre o volume da peça e o cobrimento da armadura.

Para o caso das estruturas metálicas, o que determina a resistência ao fogo do elemento estrutural é o índice de massividade, que relaciona o volume da peça com a sua espessura.

Nas estruturas de concreto armado, o efeito da variação de temperatura quando expostas ao fogo causa o aparecimento de tensões devido à diferença do coeficiente de dilatação térmico.

Na temperatura ambiente, cerca de 20 °C, os coeficientes do aço e do concreto são praticamente iguais, motivo pelo qual eles trabalham bem juntos no concreto armado, porém ocorrendo elevação da temperatura, a diferença entre os coeficientes aumenta, podendo ser 30 vezes superior o coeficiente do aço em relação ao do concreto.

Nas lajes de concreto armado, com a face inferior exposta ao fogo, além da diferença de dilatação térmica que ocasiona o arqueamento das barras, ocorre também o *spalling*, gerando assim grandes deformações das lajes. Um dos sintomas que irão surgir além do deslocamento do cobrimento de concreto é o descolamento dos revestimentos cerâmicos da parte superior da laje.

Essas deformações das lajes, quando possuem vãos muito grandes, podem gerar esforços de torção em vigas e em caso de lajes cogumelos, o aparecimento de momentos fletores nos topos dos pilares. Essas alterações nas estruturas se não forem absorvidas pelo restante da estrutura circunvizinha, ou se não houver uma folga no dimensionamento dos elementos ou até mesmo se esses elementos não forem dimensionados para essa situação, pode ocasionar o colapso da estrutura, seja ele local ou total.

A redistribuição dos esforços ocorre apenas nas edificações hiperestáticas, que são a maioria.

No caso das lajes contínuas, a primeira redistribuição de esforços que ocorre é a do momento positivo resistente, que será reduzido devido à ação do fogo, sendo essa parcela restante absorvida pelo momento negativo resistente, que se encontra preservado devido às armaduras que os combatem se encontrarem na parte superior da laje.

Já nas lajes simplesmente apoiadas, como no caso de lajes pré-moldadas e algumas treliçadas, essa redistribuição não ocorre, visto que não existe armadura negativa, apenas positiva.

No caso de marquises, o mais prejudicial é um incêndio na parte superior da laje, tendo em vista que a armadura principal, armadura negativa, encontra-se na porção superior da laje, protegida pelo piso e pelo contrapiso.

Caso o incêndio ocorra na parte inferior da marquise, apesar das temperaturas serem mais elevadas, existe uma camada maior até alcançar as barras de aço. Porém, a parte inferior do concreto da marquise, que funciona à compressão, ao perder sua capacidade resistente, poderá também vir a colapsar.

Nas vigas, quando submetidas à ação do fogo, ocorre situação semelhante à das lajes, porém a transmissão dos esforços aos pilares é mais relevante.

Segue abaixo as deformações sofridas pela viga de concreto armado e protendido submetida a diversas temperaturas. Esses valores são apenas para proporcionar a noção de grandeza com as deformações das vigas quando submetidas a elevadas temperaturas.

A pré-determinação de uma flecha é um processo complexo e depende de diversas variáveis como a resistência do concreto, o módulo de elasticidade, tempo de escoramento quando foi construída, vínculos de apoio desses elementos, flecha inicial, dimensão das peças, fissuração, entre outras.

As deformações em vigas e lajes recebem o nome de flecha (f), como exemplo para entendimento da tabela abaixo:

Ex: Para um vão livre com uma viga de 5 m ou 500 cm (L), tem-se, a 545°C, uma flecha de:

$$f = L/50 = 500/50 = 10 \text{ cm.}$$

Figura 73 - Flechas em vigas de concreto submetidas a elevadas temperaturas

Flecha	Temperatura do Aço (°C)	
	Concreto Armado	Concreto Protendido
L/200	180	180
L/100	345	345
L/50	545	445
L/30	670	550

Fonte: MARCELLI, 2007

Nos pilares de concreto armado, essa diferença de dilatação dos materiais ocasiona o arqueamento das barras de aço, expulsando o cobrimento de concreto e expondo as armaduras, além da própria flambagem das barras; com isso, a resistência do pilar é prejudicada, podendo ocorrer o colapso.

Nas hiperestáticas, caso ocorra o colapso de um pilar, dependendo de sua importância, podem sofrer apenas um colapso parcial ou um colapso progressivo.

4. REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de Estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

- BAUER, L.A. Falcão, **Materiais de Construção**, 5ª edição, Rio de Janeiro, 2008.
- CLIMACO, João Carlos Teatini de Souza, **Estruturas de concreto armado: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**, Brasília, 2005.
- DEHAAN, John D., **Kirk's Fire Investigation**. Sixth Edition, California, 2007.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-2: EUROCODE 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire**. Bruxelas: CEN, 2002
- ISO/TR 834, **Fire-resistance tests -- Elements of building construction**, 1994,
- MARCELLI, Maurício, **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**, São Paulo, 2007.
- MEHTA, Povindar Kumar, **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, São Paulo, 1994.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), **NFPA 921-2014 - Guide for Fire and Explosion Investigations**, Quincy, 2014
- POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Instrução Técnica Nº 14 – Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco**. Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.
- QUINTIERE, James G., **Principles of Fire Behavior**, 1997
- SEITO, A.I. e outros (coordenação). **A segurança contra incêndio no Brasil**, São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- SILVA, Valdir Pignatta, **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012**, São Paulo, 2012.

VI. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO

1. LEGISLAÇÃO RELACIONADA AO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO (SPCIP)

De acordo com o Decreto nº 21.361, de 20 de julho de 2000, Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal (RSCIP-DF):

Art. 4º- Ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, por intermédio de seu órgão próprio, compete estudar, elaborar normas técnicas, analisar, planejar, fiscalizar e fazer cumprir as atividades atinentes à segurança contra incêndio e pânico, bem como realizar vistorias e emitir pareceres técnicos com possíveis consequências de penalidades por infração ao Regulamento, na forma da legislação específica

Ainda de acordo com o mesmo decreto, em seu artigo 9º, as proteções contra incêndio e pânico são classificadas em dois grupos, conforme descrição a seguir:

I – PASSIVAS

a. Meios de prevenção contra incêndio e pânico:

- Correto dimensionamento e isolamento das instalações elétricas;
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA);
- Sinalização de segurança;
- Sistema de iluminação de emergência;
- Uso adequado de fontes de ignição;
- Uso adequado de produtos perigosos.

b. Meios de controle do crescimento e da propagação do incêndio e pânico:

- Controle de quantidade de materiais combustíveis incorporados aos elementos construtivos;
- Controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos;
- Compartimentação horizontal e vertical;
- Resistência ao fogo de elementos decorativos e de acabamentos;
- Isolamentos;
- Afastamentos;
- Aceiros;
- Limitação ao uso de materiais que emitam produtos nocivos sob a ação do calor ou fogo;
- Controle da fumaça e dos produtos da combustão.

c. Meios de detecção e alarme:

- Sistema de alarme;
- Sistema de detecção de incêndio;
- Sistema de comunicação de emergência;
- Sistema de observação / vigilância.

d. Meios de Escape:

- Provisão de vias de escape;
- Saídas de emergência;
- Aparelhos especiais para escape;
- Elevador de emergência.

e. Meios de acesso e facilidade para operação de socorro:

- Vias de acesso;
- Acesso à edificação;
- Dispositivos de fixação de cabos para resgate e salvamento;
- Hidrantes urbanos;
- Mananciais;

- Provisão de meios para o acesso dos equipamentos de combate nas proximidades do edifício sinistrado.
- f. Meios de proteção contra colapso estrutural:
 - Correto dimensionamento das estruturas;
 - Resistência ao fogo dos elementos estruturais;
 - Revestimento de estruturas metálicas.
- g. Meios para administração da proteção contra incêndio e pânico:
 - Supervisor de segurança contra incêndio e Pânico;
 - Brigada de incêndio.

II – ATIVAS

- a. Meios de extinção de incêndio:
 - Sistema de proteção por extintores de incêndio;
 - Sistema de proteção por hidrantes;
 - Sistema de chuveiros automáticos, comumente denominados *sprinklers*;
 - Sistema fixo de espuma;
 - Sistema fixo de gás carbônico (CO₂);
 - Sistema fixo de Pó Químico Seco;
 - Sistema fixo de água nebulizada;
 - Sistema fixo de gases especiais;
 - Abafadores;
 - Bombas costais.

2. IMPORTÂNCIA DA INTER-RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DO CBMDF

O Sistema de Segurança Contra Incêndio e Pânico no âmbito do Distrito Federal é executado por meio do Ciclo Operacional de Incêndio e compreende as missões fins da corporação voltadas para a área de incêndio.

Figura 74 - Ciclo Operacional Completo do CBMDF

A fase normativa está relacionada à Diretoria de Análise de Projetos (DIEAP), tendo como função a elaboração e atualização das normas técnicas, de acordo com o desenvolvimento das tecnologias e a retroalimentação das informações obtidas pela DINVI.

A fase Fiscalizadora está relacionada à Diretoria de Vistorias (DIVIS) e de Análise de Projeto (DIEAP), com funções de consulta prévia, análise de projetos e de fiscalizar o cumprimento das normas do CBMDF nas edificações de acordo com os riscos de cada uma, além de verificar se os sistemas estão funcionando após a liberação de alvará, sendo isso garantido com a correta manutenção do sistema.

A fase combativa está relacionada efetivamente com o trabalho exercido no COMOP, sendo responsável pelo combate direto ao incêndio.

A fase investigativa está relacionada à Diretoria de Investigação de Incêndios (DINVI), sendo de responsabilidade determinar as causas do incêndio e o correto funcionamento dos sistemas preventivos e produzir informações para retroalimentar as outras fases do ciclo operacional.

Diante disso, é possível observar como a ação de uma das fases pode interferir, positiva ou negativamente, nas outras, cabendo a cada órgão a otimização das atividades para alcançar o nível de excelência almejado.

3. EDIFICAÇÕES

A ocorrência de um incêndio é determinada por fatores inerentes a cada edifício e a segurança desejável está diretamente relacionada às categorias de risco.

Os fatores que contribuem para a definição do risco de incêndio são basicamente quatro:

- Características da população do edifício;
- Tipo de ocupação;
- Características construtivas do edifício;
- Localização do edifício.

As variáveis que definem cada uma dessas características são:

a) Características da população do edifício

- população total do edifício;
- composição da população fixa e flutuante;
- condições físicas e psicológicas da população;
- distribuição etária da população.

b) Tipo de ocupação

- natureza das atividades desenvolvidas no edifício;
- materiais combustíveis trazidos para o interior do edifício (carga térmica variável).
- tipos de materiais armazenados e manipulados;

- tipos de equipamentos existentes no edifício.

c) Características construtivas do edifício

- materiais de construção utilizados e técnicas aplicadas;
- tipo de sistema estrutural adotado;
- tipo de instalações de serviço existentes;
- distribuição dos espaços;
- forma do edifício;
- volume do edifício;
- número de pavimentos;
- área total do edifício;
- área de cada pavimento;
- aberturas de ventilação;
- materiais combustíveis destinados ao revestimento/acabamento de paredes, tetos e pisos e/ou incorporados aos sistemas construtivos (carga térmica fixa).

d) Localização do edifício:

- situação em relação às divisas do lote;
- largura das ruas e outras condições de acesso;
- distância do Grupamento de Bombeiros mais próximo;
- abastecimento de água para o combate;
- meios de comunicação com o corpo de bombeiros.

4. A IMPORTÂNCIA DO PROJETO DE ARQUITETURA E DE INCÊNDIO

Um bom projeto arquitetônico, sob o aspecto da segurança contra incêndio e pânico, com a adoção de medidas adequadas de proteção passiva, pode dificultar o surgimento de um princípio de incêndio, bem como restringir o seu desenvolvimento. Porém, o projeto de arquitetura

não é suficiente para garantir a segurança da edificação, sendo necessária a elaboração dos projetos de segurança contra incêndio e pânico - PSCIP.

O PSCIP consiste na elaboração de sistemas preventivos ativos e passivos, que junto a uma arquitetura bem elaborada oferecem segurança na edificação.

Existem quatro sistemas obrigatórios a todos os tipos de edificação, que são:

- Saídas de emergência;
- Sinalização de segurança contra incêndio;
- Iluminação de emergência;
- Extintores de incêndio.

Há ainda outros sistemas que complementam os anteriores, a depender do tipo de ocupação na edificação. Os principais sistemas são:

- Hidrantes;
- Alarme de incêndio;
- Detecção de incêndio;
- Chuveiros automáticos;
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- Central de GLP.

Para o projeto e a instalação das medidas preventivas ativas, é essencial uma boa integração entre o projeto arquitetônico e os projetos de cada sistema, normalmente divididos por especialidade, a saber: elétrica, hidráulica e mecânica. Sendo necessária a compatibilização dos projetos. Também não é suficiente para garantir a segurança da edificação apenas o projeto e a instalação dos preventivos, tendo em vista que sem uma manutenção periódica esses sistemas deixam de ser confiáveis.

O Decreto nº 21.361, de 20 de julho de 2000 (RSCIP-DF) estabelece, quanto aos projetos, que:

Art. 16 – Os projetos de instalação contra incêndio e pânico serão apresentados ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal para análise e aprovação, obedecendo ao disposto em Norma Técnica específica.

§ 1º - A Consulta Prévia, para análise e aprovação de projetos, deverá ser realizada junto ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, devendo ser apresentado o estudo preliminar e os dados necessários à análise.

§ 4º - A análise de projeto tem por objetivo conferir se os parâmetros básicos de segurança contra incêndio e pânico estão sendo obedecidos, sendo de inteira responsabilidade do autor do projeto e do responsável técnico pela execução da obra, os danos advindos do descumprimento das Normas Técnicas do CBMDF.

O objetivo do projeto arquitetônico é transformar a necessidade do cliente em um projeto bem planejado, como estes exemplos:

- a. Definir quantidade e tamanho de cômodos de acordo com a necessidade do cliente;
- b. Elaborar o sistema de ventilação e iluminação natural da edificação;
- c. Dimensionar as saídas de emergência de acordo com a necessidade da edificação;
- d. Definir os materiais de construção a serem utilizados;
- e. Definir o local das passagens das instalações;
- f. Definir pé direito e as compartimentações horizontais e verticais.

No Brasil a arquitetura e o urbanismo ainda não têm a questão da segurança contra incêndio e pânico absorvida plenamente nas práticas de projeto e construção.

Assim sendo, são necessárias mudanças em todos os aspectos que envolvem a construção de novas edificações, tais como:

- no planejamento urbano, para garantir o acesso de viaturas de bombeiros;
- na existência de hidrantes urbanos;
- nas proteções passiva e ativa de cada edificação;
- nas saídas de emergência;
- nas compartimentações;
- na reação ao fogo dos materiais de construção e acabamentos.

5. SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO

5.1. Proteção passiva

As medidas passivas de proteção contra incêndio são aquelas incorporadas diretamente ao sistema construtivo. São funcionais em situação de uso normal do edifício e reagem passivamente ao desenvolvimento do incêndio, além de:

- a. não estabelecer situações propícias para o crescimento e propagação do sinistro;
- b. não permitir o colapso estrutural do edifício;
- c. facilitar a fuga dos usuários;
- d. garantir a aproximação e ingresso dos bombeiros no edifício para o desenvolvimento das ações de combate.

5.2. Proteção ativa

As medidas de proteção ativa complementam as medidas de proteção passiva, sendo compostas basicamente de equipamentos e instalações prediais que serão acionadas em caso de emergência, de forma manual ou automática, usualmente, não exercendo nenhuma função em situação normal de funcionamento da edificação.

6. NORMAS TÉCNICAS DO CBMDF

Como é atribuição do CBMDF elaborar normas relacionadas com a segurança contra incêndio e pânico, foram criadas as Normas Técnicas, com a finalidade de balizar as construções e funcionamento das edificações de acordo com o sistema de proteção contra incêndio e pânico.

A Norma Técnica nº 1 (NT 01) determina os sistemas necessários para cada edificação e seu risco relacionado.

A NT 02 classifica as edificações segundo os riscos;

As NTs 03, 04 e 18 tratam dos sistemas preventivos ativos.

A NT 10 trata do dimensionamento de saídas de emergência.

As NTs 05 e 08 abordam os riscos e cuidados na utilização e armazenamento de GLP e fogos de artifício.

A NT 12 estabelece a padronização gráfica de projetos a serem apresentados para aprovação.

De acordo com o desenvolvimento de tecnologias, da sociedade e com intuito de se manter atualizado, inclusive mundialmente, com relação ao tema, é necessário o contínuo desenvolvimento e atualização das normas, por meio de pesquisas e experimentos, a fim de gerar o conhecimento necessário para a construção de edificações mais seguras.

Alguns temas precisam ser bem avaliados e fiscalizados, por interferirem diretamente no comportamento dos incêndios, sendo eles:

- Resistência ao fogo dos elementos de construção;
- Compartimentação horizontal e vertical;

- Controle dos materiais de acabamento e revestimento das edificações;
- Cargas de incêndio das edificações;
- Controle de fumaça.

7. PRINCIPAIS SISTEMAS A SEREM OBSERVADOS PELO PERITO EM INCÊNDIO E EXPLOSÕES

O perito em incêndio e explosões, ao realizar a investigação de uma ocorrência de incêndio, além das causas e subcausas, zona de origem e foco inicial, deve observar também o funcionamento dos sistemas preventivos, sejam eles ativos ou passivos.

Deverá descrever em laudo, para retroalimentação do sistema:

- O correto dimensionamento de sistemas preventivos, para auxiliar e orientar a DIEAP;
- O correto funcionamento ou ausência de sistemas para auxiliar e orientar a DIVIS e;
- O funcionamento do combate ao incêndio se foi efetivo e eficiente, para auxiliar e orientar o COMOP.

Dentre os sistemas a serem avaliados pode-se ainda verificar:

- se os extintores existiam, se estavam dentro da validade e se foram utilizados;
- a utilização dos hidrantes e se as mangueiras e os esguichos estavam no local;
- se a detecção de fumaça e o alarme de emergência funcionaram corretamente, detectando o início do incêndio e alertando os usuários da edificação além de acionar outros sistemas interligados, como os chuveiros automáticos;

- o funcionamento dos chuveiros automáticos, avaliando sua eficiência;
- o funcionamento das saídas de emergência, avaliando o livre acesso, funcionamento das portas corta fogo e sinalização por toda a rota de fuga;
- se a compartimentação funcionou, diminuindo a propagação do incêndio.
- se a iluminação de emergência funcionou, para evacuação da edificação;
- a presença da sinalização de emergência, para auxiliar na evacuação da edificação;
- se os elementos estruturais sofreram ação direta do fogo e presença de fissuras e deslocamentos;
- se os materiais de construção contribuíram ou não com a propagação e desenvolvimento do incêndio.

8. REFERÊNCIAS

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

CBMDF, **Norma Técnica Nº 01 – Exigências de Sistemas de Proteção Contra Incêndio e Pânico das Edificações do DF.** CBMDF, 2002.

_____. **Norma Técnica Nº 02 – Classificação das Edificações de Acordo com os Riscos.** CBMDF, 2009.

_____. **Norma Técnica Nº 03 – Sistemas de Proteção por Extintores de Incêndio.** CBMDF, 2015.

_____. **Norma Técnica Nº 04 – Sistemas de Proteção por Hidrantes.** CBMDF, 2000.

_____. **Norma Técnica Nº 05 – Central Predial de GLP.** CBMDF, 2002.

_____. **Norma Técnica Nº 07 – Brigada de Incêndio.** CBMDF, 2011.

_____. **Norma Técnica Nº 08 – Fogos de Artifício.** CBMDF, 2008.

_____. **Norma Técnica Nº 10 – Saídas de Emergência.** CBMDF, 2015.

_____. **Norma Técnica Nº 18 – Extintores de Incêndio.** CBMDF, 1993.

CBPMSP, **Instrução Técnica de São Paulo Nº 08 – Resistência ao fogo dos elementos de construção.** Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.

_____. **Instrução Técnica de São Paulo Nº 09 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical.** Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.

_____. **Instrução Técnica de São Paulo Nº 10 – Controle de materiais de acabamento e de revestimento.** Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.

_____. **Instrução Técnica de São Paulo Nº 14 – Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco.** Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.

_____. **Instrução Técnica de São Paulo Nº 15 – Controle de fumaça Parte 1- Regras gerais.** Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011.

DISTRITO FEDERAL, **Decreto nº21.361, Aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal e dá outras providências,,** 2000.

SEITO, A.I, e outros (coordenação). **A segurança contra incêndio no Brasil,** São Paulo: Projeto Editora, 2008.

VII. METODOLOGIA CIENTÍFICA PARA INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO

1. INTRODUÇÃO

Um incêndio é um fenômeno que ocorre quando o fogo está sem nenhum tipo de controle. Ele pode ter consequências, desde pequenas proporções, como a queima acidental de papel em um cesto de lixo, até grandes proporções, como a queima completa de uma residência ou, ainda, envolver mortes.

No intuito de prevenir a ocorrência de incêndios, cabe ao perito em incêndios e explosões planejar, coordenar e concluir uma investigação com o objetivo de elucidar as causas que determinaram o surgimento do incêndio.

Em um cenário de incêndio, o investigador inicialmente irá se deparar com vários atores e uma série de variáveis para elucidação da investigação.

Normalmente, um incêndio envolve a atuação do Corpo de Bombeiros, a participação dos moradores ou, ainda, de vizinhos. Paralelamente, um incêndio pode conter diversos tipos de materiais combustíveis, bem como diferentes tipos de fontes de calor.

Durante a perícia em incêndio, o perito precisará executar e coordenar diferentes etapas, tais como documentação do bem sinistrado, registros fotográficos de padrões de queima, coleta de amostras, entrevista, dentre outras.

Para tanto, o perito necessitará de conhecimentos que vão além daqueles voltados especificamente ao comportamento e dinâmica do fogo.

De acordo com a NFPA (2011, p. 14), uma investigação de incêndio é definida como "o processo de determinação da origem, da

causa e do desenvolvimento de um incêndio ou explosão". Dessa forma, a investigação de incêndio tem por objetivo determinar a origem e a causa de um incêndio, bem como descrever a dinâmica do fogo, do surgimento à propagação.

Portanto, de forma geral, os objetivos da perícia em incêndio e explosões incluem os seguintes propósitos:

- Determinar a origem do incêndio;
- Determinar a causa – a natureza do combustível, da fonte de calor e como o material ignizou;
- Descrever as circunstâncias que contribuíram para ignição e propagação do incêndio;
- Determinar se o incêndio foi acidental ou deliberado;
- Em caso de feridos ou mortos, verificar o que contribuiu para o dano.

Dessa forma, para obter êxito na investigação, o perito em incêndio e explosões deve seguir um regramento lógico e sistemático de todas as etapas de uma investigação, desde a coleta de dados no cenário sinistrado até a definição da origem e causa do incêndio.

Portanto, este manual visa apresentar uma metodologia científica para investigação de incêndio, cujo objetivo é estabelecer uma série de procedimentos protocolares os quais, necessariamente, estão alinhados a um método científico, o qual permitirá a correta coleta de dados, bem como o desenvolvimento, teste e seleção das hipóteses para fins de determinação da origem e da causa de um incêndio.

2. DEFINIÇÃO DE TERMOS

Acelerante: líquido inflamável usado para iniciar e aumentar a taxa de crescimento ou de propagação do fogo.

Causa: condições, circunstâncias e danos decorrentes da combinação de um material combustível, com uma fonte de ignição e com um agente oxidante que resultou em um incêndio.

Combustão incandescente: queima luminosa de um material sólido sem a presença de uma chama visível.

Foco inicial: menor área dentro da zona de origem onde a fonte de ignição e o primeiro material combustível se interagiram para produzir o incêndio.

Fonte de ignição competente: fonte de calor capaz de transferir a um material combustível uma quantidade de energia suficiente ao ponto que a sua temperatura atinja a temperatura de ignição.

Investigação de incêndio: processo que visa determinar a origem, a causa, bem como descrever a propagação de um incêndio.

Linha do tempo: representação dos eventos relacionados com o incêndio mostrados em ordem cronológica.

Multifocos: incêndio caracterizado pela existência de mais de um foco inicial.

Objeto causador: equipamento ou dispositivo que deu início ao incêndio.

Padrão de queima: mudança física visível ou mensurável ou forma identificável produzida por um ou mais efeitos do fogo.

Primeiro material combustível: material combustível que, ao ser submetido à fonte de ignição competente e na presença de um agente oxidante, deu origem ao fogo inicial.

Propagação de incêndio: movimento do fogo de um lugar para outro.

Queima limpa: padrão de queima sobre superfícies caracterizado pelo consumo da própria fuligem produzida pelo fogo.

Reconstrução: processo de recriação das condições de pré-incêndio no cenário investigado com a utilização de materiais ou elementos estruturais comburidos, removidos ou deslocados encontrados durante a coleta de dados na cena do incêndio.

Segundo material combustível: material combustível atingido tão logo surgiu o fogo inicial que deu origem ao incêndio.

Sequência de ignição: fase da investigação que se refere à sucessão de eventos e circunstâncias que permitiram a interação dentre a fonte de ignição, o primeiro material combustível e o oxidante, produzindo assim o fogo inicial.

Zona de origem: região, ambiente ou cômodo, em parte ou por completo, do local do incêndio no qual o foco inicial estava localizado.

3. MÉTODO CIENTÍFICO

Assim como ocorre nas diferentes áreas do conhecimento, a aplicação de um método científico se faz necessário para o desenvolvimento de pesquisas e investigações, afastando do estudo qualquer tipo de falácias ou conclusões meramente especulativas. Dessa forma, o método científico tem por objetivo fornecer um processo analítico e organizado necessário para o sucesso da investigação de incêndio.

Nesse contexto, a NFPA 921 (2011) estabelece que a abordagem sistemática para investigação de incêndio é o método científico. A Figura 75 apresenta todas as etapas do método científico.

Figura 75 - O método científico

Fonte: NFPA (2011)

As atividades e os aspectos principais a serem estabelecidos e verificados em cada etapa do método científico podem ser descritos da seguinte maneira:

1.Reconhecer a necessidade.

- O problema existe?
- O incêndio ocorreu?

2.Definir o problema.

- Determinar a origem do incêndio;
- Determinar a causa do incêndio.

3. Coletar dados.

- Os dados são empíricos;
- Os dados podem ser obtidos de observações e outras formas de coleta direta.

4. Analisar os dados.

- É uma etapa essencial antes de se formular uma hipótese;
- Todos os dados coletados deverão ser analisados;
- Caso necessário, o perito deverá solicitar auxílio técnico.

5. Desenvolver as hipóteses.

- As hipóteses serão desenvolvidas com base na experiência, conhecimento, expertise e treinamento do perito;
- As hipóteses serão desenvolvidas somente com base nos dados empíricos já analisados;
- A abordagem adotada é o método indutivo;
- A hipótese desenvolvida não tem validade, somente probabilidade.

6. Testar as hipóteses.

- A abordagem adotada é o método dedutivo;
- Esta etapa pode utilizar “experimentos mentais”;
- A hipótese testada tem validade.

7. Selecionar a hipótese final.

- A hipótese final tem que passar no teste de hipótese. Caso contrário ela deverá ser descartada;
- Hipóteses alternativas precisam ser desenvolvidas;
- Caso nenhuma hipótese passe no teste ou, ainda, se mais de uma hipótese seja selecionada, a causa do incêndio é dita indeterminada.

No método científico estabelecido, verifica-se que se o perito usar só o método dedutivo, ele ignora a experiência. Por outro lado, se o perito usar só o método indutivo, ele ignora a relação entre os fatos (premissas).

Portanto, após a análise dos dados, a metodologia científica para investigação de incêndio adotará uma abordagem indutiva (desenvolvimento de hipóteses) seguida de uma abordagem dedutiva (teste de hipóteses).

A seguir, o presente manual apresentará os procedimentos envolvidos em cada etapa do método científico aplicado na determinação da origem como, por conseguinte, na resolução da causa do incêndio.

4. DETERMINAÇÃO DA ORIGEM

Um dos principais propósitos da investigação é determinar a origem do incêndio, ou seja, o local onde o fogo teve início. A identificação da origem é fundamental porque somente a partir da descoberta de onde o incêndio começou que o perito poderá encontrar todos os elementos que interagiram para produzir o fogo inicial e, a partir de então, compreender como o fogo se propagou para os demais materiais combustíveis presentes no cenário sinistrado.

Dessa forma, salvo em raras situações, a determinação da origem é o primeiro e grande passo da perícia em incêndio.

Inicialmente, a localização da origem do incêndio é dividida em duas etapas que se referem a uma região macro e, dentro desta, uma delimitação mais específica.

Para tanto, ficam estabelecidos dois conceitos fundamentais para determinação da origem denominados zona de origem e foco inicial.

Adicionalmente, cabe destacar que ao final de toda e qualquer investigação, o perito deverá apresentar a zona de origem e o foco inicial do incêndio.

O primeiro passo na determinação da origem é identificar a zona de origem do incêndio.

Com base na NFPA (2004, p. 14), o CBMDF adotou até então como metodologia para investigação o entendimento que a zona de origem se referia ao cômodo da edificação onde o incêndio teve início. Entretanto, conforme a NFPA (2011, p. 12), a zona de origem passou a ser definida como “uma estrutura, parte de uma estrutura ou localização geográfica geral dentro do cenário de incêndio onde se acredita que o foco inicial estava localizado”.

Essa definição mais recente mostra que, ao se estabelecer a zona de origem, então, o perito deve se certificar que nela está a origem do incêndio.

Dessa forma, a zona de origem é definida como a área ou o cômodo da edificação estabelecidos pelo perito, dentro do cenário de incêndio, onde necessariamente o fogo teve início.

O segundo passo para determinação da origem é identificar o foco inicial. Assim como a definição de zona de origem, o conceito de foco inicial também foi alterado pela NFPA (2011), para “localização física exata dentro da zona de origem onde a fonte de calor e o combustível reagiram e causaram um incêndio ou uma explosão”.

Portanto, dentro dos limites da zona de origem, o perito deve localizar o ponto exato onde o fogo começou, ou seja, o foco inicial.

Por outro lado, conforme NFPA (2011, p. 157), o foco inicial pode ser também entendido como o menor local dentro da zona de origem no qual a fonte de calor, o material combustível e o oxidante reagiram entre si gerando o fogo.

Esse conceito é mais próximo das situações práticas, visto que o perito encontra muitas dificuldades, pelos mais variados motivos, em ser tão preciso na identificação da localização física exata do ponto onde o fogo começou.

Dessa forma, o foco inicial é definido como o menor local dentro da zona de origem no qual a fonte de calor, o material combustível e o oxidante reagiram entre si produzindo o fogo.

Para fins de elucidação da origem do incêndio, o investigador deverá coordenar as informações e observações que envolvem os seguintes aspectos:

- A análise das declarações das pessoas que testemunharam ou estavam presentes no momento do incêndio;
- A análise dos efeitos e dos padrões de queima deixados pelo fogo;
- A análise dos locais onde um arco elétrico causou danos aos circuitos elétricos envolvidos;
- A análise da dinâmica e do comportamento do fogo, isto é, a forma de surgimento do fogo até a sua interação com o sistema construtivo.

Nesse contexto, conclui-se que a origem do incêndio pode ser determinada pelo exame dos padrões de queima e efeitos do fogo. Cabe lembrar, então, que as superfícies tanto da estrutura como dos objetos da edificação registraram toda a duração do incêndio, desde o surgimento até a sua extinção.

O passo fundamental na determinação da origem do incêndio é determinar a sequência que esses padrões de queima foram produzidos.

Para fins de ilustração, a Figura 76 descreve o resultado de uma investigação que determinou a origem de um incêndio que ocorreu em um apartamento.

Figura 76 - O investigador concluiu que a zona de origem foi a sala de um apartamento. A partir do padrão de queima na parede, o foco inicial foi definido como a região sobre o sofá



Fonte: DINVI

A perícia mostrou que a zona de origem foi a sala de TV de um apartamento. Essa conclusão está coerente com a definição de zona de origem, uma vez que o perito realizou um exame no exterior de um prédio residencial multifamiliar e identificou a unidade onde o incêndio começou. Ainda, o perito conseguiu identificar no apartamento o cômodo onde o fogo começou.

Na determinação do foco inicial, as marcas de combustão nas paredes da zona de origem permitiram ao investigador verificar que o incêndio teve início no local onde o sofá estava posicionado.

Caso o perito não tivesse mais evidências, ele já teria elementos para definir o foco inicial como o local da sala onde estava situado o sofá.

Entretanto, a análise dos dados coletados, como a verificação das marcas de queima no emadeiramento e no tecido do sofá, permitiram ao perito concluir que o fogo teve início sobre o sofá.

Nesse ponto, o perito não conseguiu mais avançar nas conclusões como, por exemplo, se o fogo teve início no encosto ou no assento.

Dessa forma, o perito concluiu que o foco inicial do incêndio foi em determinada região sobre o sofá e que neste local ocorreu a interação entre o material combustível, o oxidante e agente ígneo que deu início ao incêndio.

A Figura 77 mostra um segundo exemplo de apresentação para determinação da origem de um incêndio. Nesse caso, o perito concluiu que a zona de origem foi a cozinha de um apartamento e o foco inicial na região extrema da bancada onde foram identificados a fonte de ignição e o primeiro material combustível.

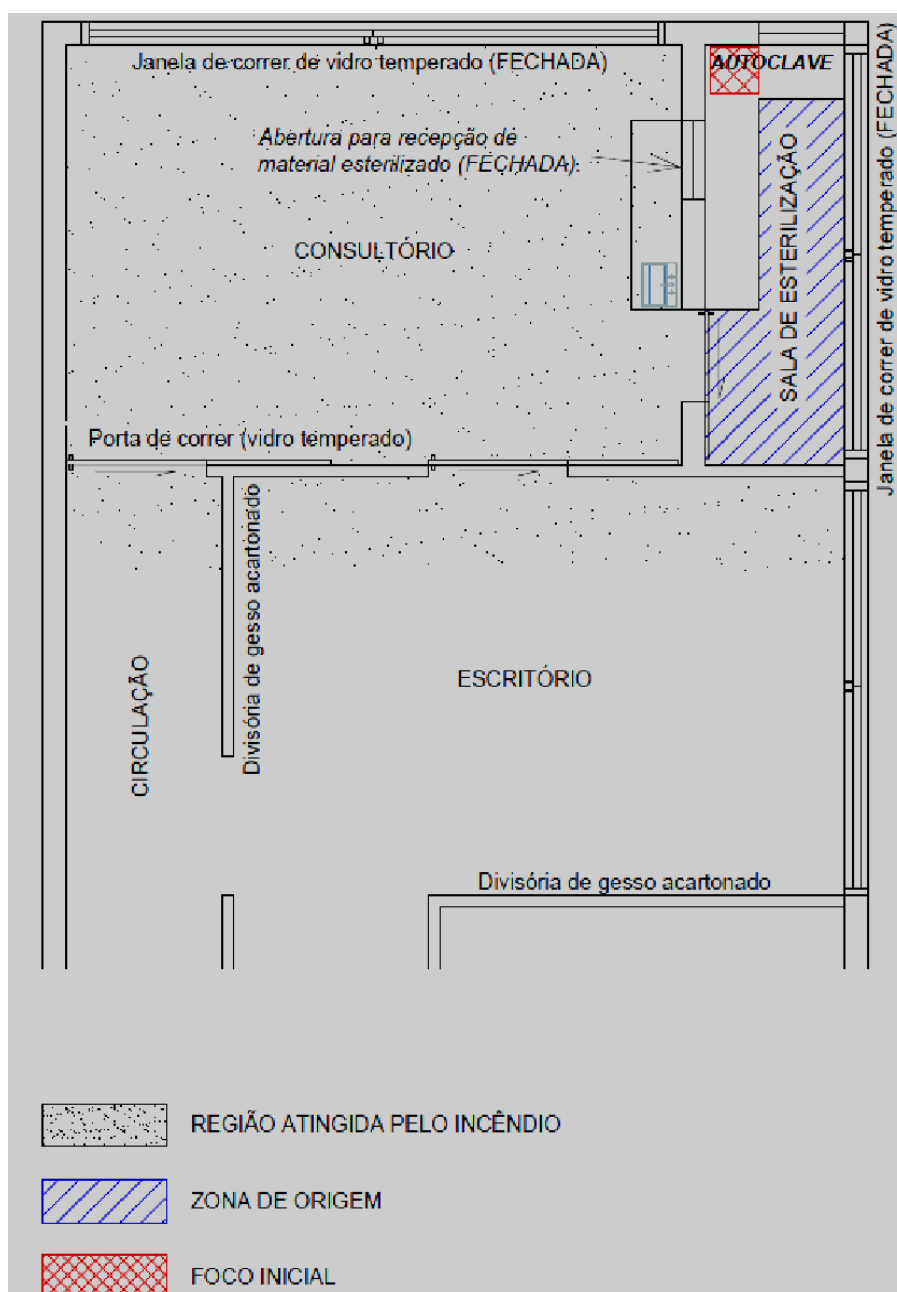
Figura 77 - A zona de origem foi a cozinha de um apartamento. O foco inicial situado sobre a bancada foi determinado a partir do padrão de queima na parede (cone truncado)



Fonte: DINVI

Por fim, vale destacar que a confecção de um croqui pode ser muito útil para identificação da zona de origem e do foco inicial. A Figura 78 apresenta um croqui do incêndio ocorrido em um consultório odontológico.

Figura 78 - Croqui do incêndio ocorrido em uma clínica odontológica. Nele, verifica-se que fogo começou na sala de esterilização



Fonte: DINVI

A seguir será apresentada a metodologia para investigação sobre a determinação do local de onde o fogo teve início.

4.1. Metodologia

A determinação da origem na investigação de incêndio é estabelecida a partir da aplicação do método científico já mencionado. Portanto, a metodologia adotada envolve o reconhecimento e a definição do problema a ser resolvido, a coleta de dados, a análise dos dados, o desenvolvimento e teste de uma ou mais hipóteses. Dessa forma, caberá ao perito cumprir as etapas descritas a seguir.

4.1.1. Reconhecimento da necessidade e definição do problema

Nesta primeira fase, o perito deve certificar-se da necessidade para determinação da origem e se de fato esse problema existe. Aparentemente evidente, não raras as vezes que uma investigação teve início sem mesmo um incêndio ter ocorrido ou ter acontecido em locais definidos como de desinteresse por autoridade competente.

Incêndios que ocorrem em entulhos, pequenos gramados ou mesmo aqueles que se limitaram ao fogo inicial podem ser considerados exemplos dos quais a perícia pode ser dispensada.

Portanto, o perito deve reconhecer a necessidade da perícia para o local, ou seja, que de fato um incêndio ocorreu. Para isso, o investigador deve observar as informações iniciais que constam no relatório de acionamento de ocorrência, antes de se deslocar ao cenário do incêndio. Essas informações devem ser novamente verificadas quando da chegada ao local da perícia.

Em seguida, após a confirmação da existência do incêndio, segue-se a definição do problema, ou seja, a etapa na qual o perito deverá estabelecer que a investigação deverá determinar a origem, caso até então ela seja considerada desconhecida.

Portanto, fundamentalmente, a investigação de incêndio terá início tão logo o perito em incêndio e explosões certifique-se que um incêndio ocorreu e que sua origem é desconhecida.

4.1.2. Coleta dos dados

A coleta de dados corresponde, primordialmente, à etapa de campo da investigação. Essa fase só pode ser realizada por profissionais capacitados e treinados, pois, além das habilidades, envolve o conhecimento e a expertise dos integrantes da equipe pericial.

Para ressaltar a importância, vale destacar que todas as etapas subsequentes da perícia dependem da qualidade dos dados coletados, tanto na forma quanto na quantidade.

Diante da quantidade de dados e informações disponíveis, o perito facilmente pode se confundir e, por efeito, sair do cenário com dados de baixa qualidade ou até mesmo em quantidade insuficiente. Portanto, o perito deve acautelar-se e adotar os procedimentos estabelecidos nas fases previstas neste manual de metodologia para investigação de incêndio.

De maneira geral, na etapa de coleta de dados a equipe de perícia deverá colher dados que envolvem os seguintes aspectos do incêndio: dados básicos do cenário, condições de pré-incêndio, condições de pós-incêndio, escavação, exame e reconstrução do cenário, declarações de testemunha, informações do Corpo de Bombeiros, dados do sistema de segurança, alarme e detectores, dentre outros.

A seguir, o presente manual mostra os procedimentos que devem ser adotados em cada fase da investigação para a correta coleta de dados.

4.1.2.1. Avaliação inicial

Antes de entrar no cenário do incêndio, o perito deverá fazer uma avaliação inicial da investigação a fim de verificar a complexidade, extensão, necessidade de logística, ainda, a segurança do local para realização da perícia.

O primeiro aspecto a ser verificado refere-se às condições de segurança do local a ser periciado, O perito deverá adotar inicialmente todas as medidas preventivas que evitem qualquer tipo de acidente que venha a colocar em risco a equipe de investigação.

Dentre outros aspectos, ele deve certificar-se que toda a equipe fará uso de equipamento de proteção individual (EPI), que o local não oferece risco estrutural ou queda de material e, ainda, que não haverá risco de choque elétrico. Neste caso, o investigador deverá certificar-se do desligamento do fornecimento de energia elétrica, principalmente nas edificações que fazem uso de gerador ou de uma subestação de energia.

Em muitas situações, o perito deverá solicitar o apoio de órgãos como a Polícia Militar, Defesa Civil, Companhia Energética para garantir as condições de isolamento e segurança do local. Adicionalmente, o acionamento de órgãos como a Polícia Civil ou o Conselho Tutelar também podem ser necessários para casos em que a equipe verificou sinais evidentes de crime.

A Figura 79 apresenta uma situação de morte no local a ser periciado que demandou a presença do órgão competente antes do início da perícia no incêndio.

Figura 79 - Durante a avaliação inicial o perito solicitou apoio do órgão competente ao verificar há presença de uma vítima morta



Fonte: DINVI

Ainda na avaliação inicial, o investigador deverá coletar informações de pessoas envolvidas com o incêndio como o proprietário, pessoas que realizaram o combate e os militares do Corpo de Bombeiros. Vale ressaltar que nessa fase é importante o perito confirmar os dados de registro da ocorrência com as informações coletadas, tais como dados da edificação, dados de vítimas, viaturas de combate utilizadas, dentre outras.

No local, o perito também poderá avaliar se os recursos materiais e humanos trazidos são suficientes para dar início ao processo de investigação. A perícia deverá ser iniciada somente com todo o suporte que se fizer necessário à realização do trabalho. Em situações práticas, a falta de uma lanterna ou de um alicate pode comprometer a coleta de dados.

A última etapa da avaliação inicial compreende uma análise das áreas ao redor da edificação. O perito deverá observar se a edificação foi, na verdade, atingida pela propagação de outro incêndio, se existem

edificações adjacentes que possuem chaminés ou fornos, se o portão encontrava-se aberto, ou até, se existia alguma fonte ou dispositivo de ignição ao redor da edificação.

Resumidamente, portanto, durante a avaliação inicial caberá ao perito em incêndio avaliar os seguintes aspectos:

- Condições de segurança e isolamento da edificação;
- Necessidade de apoio de outros órgãos;
- Informações iniciais da ocorrência;
- Recursos materiais e humanos;
- Áreas ao redor da edificação.

4.1.2.2. Exame do exterior da edificação

Nesta fase, o investigador deverá realizar um exame do exterior da edificação por meio de uma inspeção em todo o perímetro. Esse procedimento permitirá avaliar a extensão e a localização do dano, além de ajudar a definir o tamanho e a complexidade do incêndio.

Paralelamente, o perito deverá levantar as informações sobre os detalhes construtivos e os materiais empregados do exterior da edificação.

A presença de brises ou varandas, assim como detalhes dos materiais empregados no revestimento externo, são exemplos de aspectos que devem ser considerados durante a inspeção no exterior do bem sinistrado.

Um ponto importante a ser verificado na avaliação do exterior é conferir a situação de portas e janelas. Essa análise fornecerá informações importantes quanto à origem do incêndio, uma vez que as marcas de combustão poderão indicar se o fogo começou dentro ou fora da

edificação e, ainda, fornecer indícios de quais pavimentos ou ambientes foram mais danificados.

Para fins de coleta de dados, a equipe pericial deverá, minimamente, realizar registro fotográfico das fachadas e confeccionar ou apresentar planta de localização da edificação sinistrada. Nesse caso, o perito poderá utilizar uma imagem aérea produzida por aeronaves ou satélites.

De tudo exposto, na fase de exame do exterior da edificação, o investigador de incêndio deverá avaliar os seguintes aspectos:

- Extensão e o dano do incêndio no perímetro da edificação;
- Falhas estruturais/arquitetônicas;
- Materiais empregados e os detalhes construtivos;
- Situação de portas e janelas;
- Localização da edificação em relação às edificações vizinhas;
- Situação das edificações vizinhas.

4.1.2.3. Exame do interior

A fase de exame do interior é realizada somente após o exame do exterior da edificação e ocorre dentro da edificação incendiada. Nela, a perícia deverá avaliar os ambientes que foram atingidos pelo incêndio, inclusive aqueles que não foram atingidos diretamente pela ação das chamas mas que possam ter relação com a investigação.

Os dados coletados durante o exame do interior permitirão ao investigador determinar a zona de origem do incêndio.

No interior da edificação, o perito deverá, de início, confeccionar um croqui com a apresentação dos ambientes que foram atingidos pelo incêndio. Ainda, a investigação pericial deverá identificar o mobiliário e os objetos presentes nas áreas atingidas pelo incêndio.

Durante o exame, a equipe de perícia deverá documentar o dano e o padrão de queima provocado pela transferência de calor, os níveis de estratificação do calor e da fumaça e, ainda, os danos nos elementos estruturais de todos os ambientes atingidos pelo incêndio. Nesse contexto, o perito deverá verificar a posição e o dano das portas, janelas e escadas.

Em seguida, o perito deverá verificar o tipo e os materiais utilizados na construção. Dessa forma, o uso de carpete ou porcelanato no piso ou se o teto possui forro ou não são aspectos que o investigador deverá observar durante a inspeção do interior da edificação.

Adicionalmente, em situações práticas, muitos incêndios estão relacionados à alteração no uso da edificação por conta do proprietário. Para exemplificar, considere que o proprietário possui uma autorização ou uma licença para funcionar como restaurante mas que, por razões diversas, começa a estocar botijões de GLP no subsolo para revenda.

Portanto, caberá ao perito observar se o proprietário do imóvel realiza alguma atividade divergente daquela aprovada na destinação da edificação. Essa verificação pode ser realizada mediante a análise documental da licença de funcionamento expedida pela administração regional.

Cabe ressaltar, ainda, que o registro do layout e da compartimentação são informações fundamentais para compreensão da propagação do incêndio. Nesse contexto, é importante a verificação da presença de *shafts*, poços, dutos, canais ou assemelhados no pavimento ou na interligação entre eles.

Outro aspecto importante dessa fase da investigação é a coleta de informações (declarações, imagens ou vídeos) sobre os sistemas de alarme de segurança, as quais podem ser de grande utilidade para identificação de incendiários e para elaboração da linha sobre o tempo do incêndio.

Por fim, o perito deverá coletar todos os dados relativos ao sistema de segurança contra incêndio e pânico e, caso julgue necessário, acionar de imediato a fiscalização do CBMDF para as providências cabíveis.

A Figura 80 mostra que, durante o exame do interior de uma residência, a marca de queima encontrada na geladeira indicava que o incêndio havia começado em um dos quartos ou, a princípio, não havia iniciado na cozinha.

A Figura 81 mostra as marcas de queima e os danos provocados pelas chamas na porta e no teto de uma sala de jantar no interior de uma residência. Elas permitiram ao investigador concluir que o fogo começou na cozinha da edificação.

A Figura 82 mostra padrões de queima limpa no teto e altura da camada de fumaça nas paredes no hall. O perito também documentou os padrões de queima nos portais dos quartos. Esses registros no interior da edificação permitiram ao investigador concluir que a zona de origem do incêndio foi de um quarto (na foto, à direita).

Figura 80 - A marca de queima na geladeira permitiu ao perito concluir que o quarto foi a zona de origem do incêndio



Fonte: DINVI

Figura 81 - O queima da porta e as marcas encontradas no teto indicaram ao perito que a zona de origem foi o ambiente situado atrás da porta (cozinha da residência)



Fonte: DINVI

Figura 82 - Os padrões de queima coletados permitiram ao investigador concluir que a zona de origem foi o quarto da residência (seta à direita)



Fonte: DINVI

Diante do exposto, resumidamente, do exame do interior da edificação, o investigador de incêndio deverá observar os seguintes aspectos:

- Croqui dos ambientes atingidos pelo incêndio;
- Mobiliário e objetos de todos os ambientes atingidos pelo incêndio;
- Materiais e peças construtivos;
- Dano e padrões de queima nos materiais e nos elementos estruturais de todos os locais atingidos pelo incêndio;
- Situação de portas, janelas e escadas;
- Destinação e o uso da edificação;
- Situação da utilização e distribuição de energia e de equipamentos que produzem calor;
- Leitura de relógios de medição dos equipamentos;
- Sistema de alarme de segurança;
- Sistema de segurança contra incêndio da edificação.

4.1.2.4. Exame da zona de origem

O exame da zona de origem refere-se à fase investigativa que tem como “universo” o ambiente, cômodo ou área onde o incêndio começou, ou seja, o local onde está necessariamente presente o foco inicial.

A definição da zona de origem é resultado dos exames do exterior e do interior da edificação, os quais já foram descritos. Entretanto, mesmo com a análise dos dados coletados nesses exames, a zona de origem não é tão evidente, como ocorre nos casos em que o incêndio envolve multifocos ou queima total.

Inicialmente, o perito deverá adotar uma postura cautelosa e planejada dentro da zona de origem. A falta de um conjunto de procedimentos básicos e de estratégia na coleta de dados podem produzir sérios prejuízos ao trabalho de investigação, tais como: dados insuficientes e de baixa qualidade, desordem nos registros fotográficos, destruição ou erros de coleta das evidências físicas, dentre outros.

Então, o exame da zona de origem para fins de coleta de dados deverá ser executado em três etapas: dados iniciais, escavação e reconstrução e exames complementares.

4.1.2.4.1. Dados iniciais

O objetivo primordial da coleta de dados inicial é descrever as condições existentes na zona de origem encontradas pela equipe de perícia na situação de pós-incêndio. O perito deverá garantir que os materiais não sejam movimentados e que o cenário se mantenha preservado até o final dessa fase para os devidos registros.

Em situações rotineiras, é comum que pessoas ligadas ao proprietário da edificação sinistrada, como parentes e amigos, bem como o pessoal da imprensa queiram acompanhar o trabalho na zona de origem.

Portanto, inicialmente, o perito deverá certificar-se que estejam no local somente a equipe pericial e pessoas devidamente autorizadas que possam contribuir com a coleta de dados.

Para execução da documentação sobre o cenário de incêndio, as principais ferramentas utilizadas são o registro fotográfico e a elaboração de croqui. Esses serviços poderão ser realizados por integrantes da equipe pericial e supervisionados pelo perito responsável pelo trabalho.

Os primeiros dados a serem coletados referem-se à descrição do ambiente. As principais informações são as dimensões do local, inclusive pé direito, dimensões de esquadrias, existência de forro, altura do entreforro.

Paralelamente, o investigador deverá registrar os materiais construtivos e de acabamento encontrados no local. Por fim, a equipe deverá anotar todas as paredes, piso e teto e, ainda, registrar a condição nas portas e janelas (abertas ou fechadas).

Após a descrição ambiental, a coleta terá como alvo obter informações sobre os materiais combustíveis existentes na zona de origem. O perito deverá identificá-los, principalmente o mobiliário e eletrodomésticos, inclusive os que não foram atingidos pelo incêndio.

Para exemplificar, considere que exista um piano na zona de origem. Ainda que ele não tenha sido atingido pelo fogo ou fumaça, o investigador deverá documentá-lo.

Assim, ao final, caberá ao perito catalogar todos os materiais e objetos existentes no local do incêndio.

Na coleta de dados iniciais do ambiente como nos materiais combustíveis presentes na zona de origem, o investigador deverá verificar os efeitos do incêndio, sendo os principais:

- Padrões de queima;
- Marcas de calor;
- Marcas de fumaça;
- Queimas baixas e de penetração;
- Profundidade de carbonização;
- Aparência de carbonização superficial;
- Efeitos superficiais;
- Desplacamentos;
- Marcas fantasmas;
- Calcinação em placas de gesso;
- Mobiliário com molas;
- Vidro;
- Ponto de fusão dos materiais;

- Queima limpa;
- Áreas protegidas.

Outro dado inicial importante nessa fase investigativa é a documentação das potenciais fontes de ignição. Portanto, o investigador deverá atentar-se a fontes de calor como equipamentos elétricos, fornos, eletrodomésticos, pontos de energia elétrica, extensões, interruptores, dentre outros.

Por fim, a coleta de dados inicial abrange a verificação das instalações existentes no local, sendo que as mais comuns referem-se às instalações elétricas e aos sistemas preventivos, tais como detectores e chuveiros automáticos.

Cabe ressaltar, ainda, que a quantidade de dados iniciais depende do tamanho da zona de origem e da quantidade de materiais combustíveis vistos. Portanto, o investigador pode se deparar em algumas situações com uma quantidade de dados que dificultam a compreensão.

Nesse contexto, para fins de documentação, a elaboração de croqui se apresenta como uma valiosa ferramenta para ilustrar os dados iniciais coletados. Assim, o perito deverá elaborar um desenho esquemático para apresentação dos dados iniciais sempre que possível e necessário a uma fácil compreensão.

De tudo exposto, na fase de coleta de dados iniciais da zona de origem, o perito em incêndios e explosões deverá observar os seguintes aspectos:

- Não realizar movimentação de material do cenário;
- Descrever o ambiente;
- Descrever os materiais construtivos;
- Descrever a situação nas portas e janelas;
- Descrever os materiais combustíveis;

- Documentar os efeitos do incêndio na edificação e nos materiais combustíveis.
- Descrever as potenciais fontes de ignição;
- Descrever a instalação elétrica do ambiente;
- Descrever o sistema de ar condicionado, caso exista;
- Descrever o sistema de prevenção contra incêndio no ambiente, caso exista;
- Confeccionar croqui com as dimensões do ambiente e a disposição dos materiais combustíveis;
- Plotar no croqui o local das potenciais fontes de ignição;
- Catalogar os objetos e materiais existentes no cenário.

4.1.2.4.2. Escavação e reconstrução

A escavação é a fase de exame da zona de origem que envolve a remoção de escombros para elucidação da causa e melhor compreensão do incêndio. Devido à descaracterização do local, o perito deverá acautelar-se que a escavação só pode ser iniciada após certificar-se que a coleta de dados iniciais foi bem executada.

O principal objetivo da escavação é tentar identificar elementos que podem ter contribuído para a produção do fogo inicial e sua propagação. Portanto, o investigador deverá verificar durante a escavação se há presença de potenciais fontes de ignição ou objetos causadores, tais como palitos de fósforo, isqueiros, cigarros, dentre outros.

Paralelamente, o perito poderá encontrar também equipamentos energizados ou eletrodomésticos que produzam calor, como aqueles que utilizam baterias.

Adicionalmente, alguns objetos encontrados também podem inferir em circunstâncias que contribuíram para o incêndio, tais como a identificação de cinzeiros ou latas de bebida alcoólica.

A escavação exigirá do perito uma atenção e um cuidado elevados, pois a remoção ou mesmo a destruição de evidências poderão prejudicar significativamente a elucidação da origem. Dessa forma, é desaconselhável a utilização de equipamentos pesados na execução da escavação.

A reconstrução trata do processo de recriação das condições de pré-incêndio no cenário investigado com a utilização de materiais ou elementos estruturais comburidos, removidos ou deslocados encontrados na zona de origem.

O seu principal objetivo é descrever as condições de pré-incêndio e analisar a dinâmica do fogo a partir das marcas de queima deixadas nos materiais comburidos.

A escavação e a reconstrução são fases primordiais no processo investigativo. Elas permitem ao perito observar os padrões de queima nas superfícies expostas à chama e ao calor do incêndio, tanto da estrutura como dos objetos presentes no cenário. Paralelamente, essas atividades possibilitam a localização das evidências que certamente auxiliarão na determinação mais precisa da origem do incêndio.

Cabe ressaltar que a escavação e a reconstrução exigem do perito um esforço físico e psicológico, uma vez que deverá executar um trabalho “sujo” que envolve a remoção de escombros e a movimentação de materiais ou equipamentos e, paralelamente, um trabalho que exigirá atenção e paciência.

O perito deverá fazer uso de registros fotográficos antes e após qualquer remoção de material ou coleta de evidência, confeccionar croqui

e realizar entrevista para identificar a posição de materiais e objetos antes do incêndio.

Por fim, cabe destacar que o perito obrigatoriamente deverá documentar a reconstrução da zona de origem. Entretanto, a extensão da área a ser reconstruída é definida pelo perito não sendo, portanto, necessário reconstruir a zona de origem por completo. Para fins ilustrativos, a fase de escavação está apresentada nas Figuras 83, 84, 85, 86, 87 e 88.

Figura 83 - Cenário do incêndio antes do início da etapa de escavação



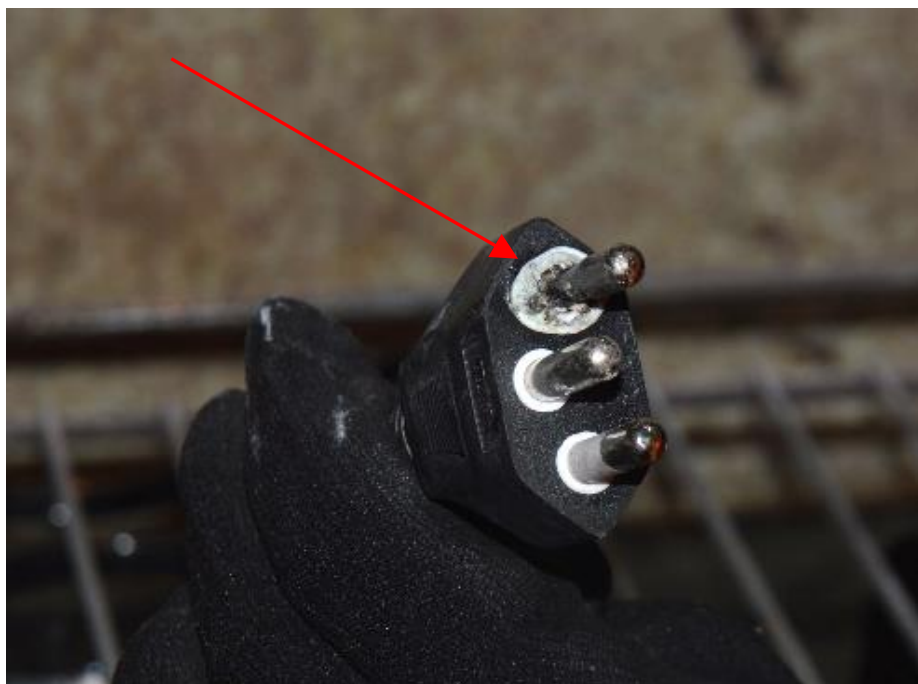
Fonte: DINVI

Figura 84 - Equipamento elétrico encontrado durante uma escavação



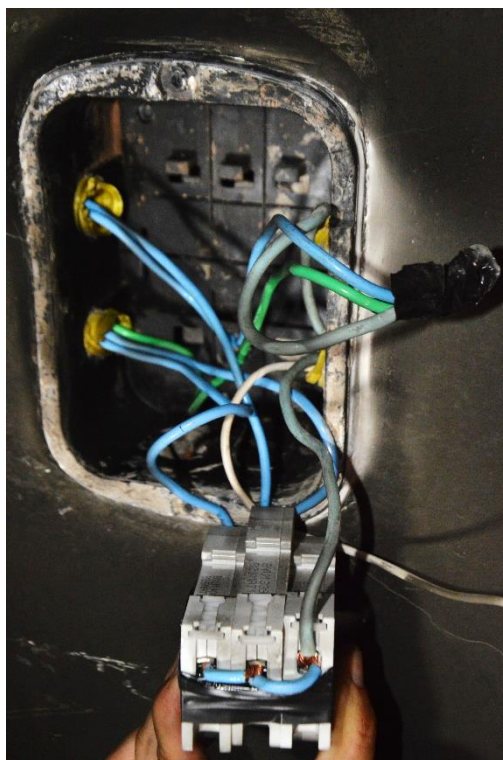
Fonte: DINVI

Figura 85 - A seta indica a ocorrência de um fenômeno termelétrico em um dos plugs da tomada



Fonte: DINVI

Figura 86 - Sistemas de proteção elétrica da edificação



Fonte: DINVI

Figura 87 - Recipiente de líquido inflamável encontrado no quarto de uma residência



Fonte: DINVI

Figura 88 - Ponto de energia elétrica que foi encontrado após a escavação



Fonte: DINVI

A Figura 89 mostra a reconstrução de um armário de cozinha

Figura 89 - A curva mostra que a queima ocorreu da direita para esquerda



Fonte: DINVI

As Figuras 90 e 91 apresentam, respectivamente, uma zona de origem antes e depois da reconstrução do cenário.

Figura 90 - Cenário de uma cozinha antes da reconstrução



Fonte: DINVI

Figura 91 - Cenário após reconstrução total da cozinha



Fonte: DINVI

4.1.2.4.3. Exames complementares

O investigador pode, ainda, verificar outros aspectos na coleta de dados, os quais podem fornecer informações úteis na determinação da origem do incêndio. Dentre eles, destacam-se as seguintes:

- Condições de pré-incêndio;
- Descrição dos materiais combustíveis;
- Dimensões físicas da estrutura;
- Descrição da instalação elétrica;
- Descrição da instalação dos sistemas de ar condicionado;
- Condições climáticas;
- Declaração de testemunhas;
- Instalações complementares da edificação;
- Descrição do sistema de prevenção contra incêndio;
- Localização de interruptores e tomadas;
- Sistema de alarme e câmeras de segurança.

A Figura 92 mostra uma imagem obtida de uma câmera de vídeo do sistema de segurança da edificação.

Figura 92 - A câmera de vídeo do circuito de segurança permitiu ao perito estabelecer a linha de tempo. As setas indicam o local e o horário do início do incêndio



Fonte: DINVI

4.1.3. Análise dos dados

O método científico estabelece que todos os dados coletados sobre a origem do incêndio sejam analisados. A diferença entre a análise e a coleta de dados é que esta última é uma etapa da perícia que trata da identificação, coleta e documentação de dados enquanto a análise produz informação a partir do conhecimento, treinamento, experiência e expertise do perito.

A análise dos dados é uma etapa fundamental e que deve ser executada antes da formulação de qualquer hipótese. Conforme NFPA (2011, p. 163) preconiza “compreender o significado dos dados permitirá que o investigador elabore hipóteses baseadas em evidências, ao invés da especulação ou da crença subjetiva”.

Os dados coletados e devidamente registrados na etapa anterior deverão ser analisados e correlacionados a partir dos padrões de queima, propagação da chama e do calor, dinâmica do fogo, calcinação e profundidade de carbonização dos materiais, mapeamento de arco elétrico (se necessário), sequência da ignição e detalhes construtivos e de uso da edificação, dentre outros.

Os padrões de queima surgem do crescimento e da propagação do fogo e são os indicadores mais utilizados para a determinação da origem do incêndio. Os padrões de queima mais comuns foram apresentados e discutidos no capítulo específico deste manual (página 117).

Inicialmente, cabe ressaltar que a leitura e a interpretação de padrões de queima, os quais são registros de todo o incêndio, exige do perito o domínio de conceitos apresentados no capítulo sobre ciência do fogo, tais como dinâmica do fogo e padrões de queima.

O perito deverá considerar todos os padrões de queima coletados e somente em casos específicos, como em um dano muito limitado, a origem será definida por apenas um padrão de queima.

O principal desafio para o perito nessa fase da investigação é definir a sequência na formação dos padrões. O perito deve se atentar que os padrões variam conforme as condições ambientais e de extinção. Portanto, um padrão de queima vai ser diferente em um ambiente que ocorreu flashover daquele em que o incêndio foi extinto ainda no início.

O perito deve notar que o local mais atingido é resultado de diversos fatores, como tipo, geometria e localização do material combustível, condições de ventilação, dentre outros. Dessa maneira, o investigador não deve assumir que o local que queimou por mais tempo e, portanto, que apresenta intensas marcas de queima foi, necessariamente, a origem do incêndio.

Os dados analisados de materiais comburidos também podem fornecer informações sobre a dinâmica do incêndio, principalmente após a reconstrução. Na Figura 93, a análise de um dado coletado permitiu ao perito determinar o sentido e a direção da propagação de um incêndio.

Figura 93 - Bulbo “estourado” de uma lâmpada. A seta indica o sentido de propagação do calor



Fonte: DINVI

Outra análise muito utilizada é a verificação da profundidade de carbonização nos materiais existentes no cenário do incêndio. Ela fornece informações da intensidade do incêndio, bem como auxilia na inferência da duração.

A Figura 94 mostra, após reconstrução realizada, a intensidade da queima em um armário de madeira existente num escritório. Na análise do dado, o investigador verificou a presença somente de uma das laterais do móvel.

Figura 94 - Análise das marcas de queima em um armário de escritório revelam a intensidade do fogo no local



Fonte: DINVI

A Figura 95 mostra que o tapete existente na sala de TV apresenta marcas de queima intensas cujo padrão sugere que houve a presença de líquido inflamável no incêndio.

Figura 95 - Após reconstrução de um tapete, a análise do dado sugere a utilização de líquido inflamável no incêndio



Fonte: DINVI

4.1.4. Desenvolvimento de hipóteses

Essa etapa tem por objetivo desenvolver as hipóteses sobre a origem do incêndio, uma vez que o perito já realizou a análise dos dados coletados.

Dessa forma, o perito deverá desenvolver uma hipótese inicial sobre a origem. Metodologicamente, é altamente recomendável que o perito também elabore hipóteses alternativas sobre o local do início do fogo.

A elaboração de hipóteses a partir de dados corretamente analisados é uma ferramenta primordial na investigação de incêndio, pois permite ao perito trabalhar com o maior número de possibilidades da origem.

A Figura 96 representa um incêndio ocorrido em um apartamento, cuja zona de origem foi a sala de estar. A análise dos dados

coletados permitiu ao investigador identificar duas marcas de combustão, as quais estão indicadas na figura por duas setas.

Figura 96 - As setas apontam duas marcas de combustão: a queima na parede sugere que o fogo tenha iniciado atrás do sofá, enquanto a marca no teto sugere que a origem do incêndio foi sobre a prateleira



Fonte: DINVI

A primeira indica uma marca de combustão no teto logo acima da prateleira. Portanto, o perito poderia elaborar a seguinte hipótese sobre a origem do incêndio: o fogo teve início na prateleira da sala de estar do apartamento.

Adicionalmente, existe uma marca de combustão na parede, indicada pela segunda seta. Assim, o investigador poderia desenvolver a seguinte hipótese: o fogo teve início atrás do sofá da sala de estar do apartamento.

Cabe ressaltar que essa etapa se encerra com a formulação das hipóteses, as quais serão aceitas ou descartadas conforme descrição na próxima etapa.

4.1.5. Teste das hipóteses

O teste de hipóteses é a etapa mais importante no uso do método científico para determinação da origem do incêndio. O perito deverá desenvolver pelo menos uma hipótese com base nos dados analisados.

Após os testes, essas hipóteses de trabalho poderão ser descartadas, revisadas ou ainda expandidas com mais detalhes assim que novos dados são coletados durante a investigação e novas análises são aplicadas.

O teste de qualquer hipótese sobre a origem requer um entendimento dos eventos associados ao surgimento do fogo, bem como o crescimento e propagação através da edificação.

Dessa maneira, além de identificar a fonte de ignição e o primeiro material combustível que ignizou, caberá ao perito verificar se a hipótese de trabalho também é compatível e consistente com a análise do comportamento e dano do fogo na estrutura.

Para exemplificar, considere a hipótese de que um incêndio teve origem em uma lixeira de um escritório. Nesse caso, não basta identificar a fonte de ignição e o primeiro material combustível ignizado, pois ainda caberá ao perito verificar se a origem é compatível com o resultado do incêndio no escritório.

Portanto, o investigador deverá avaliar se a propagação e dinâmica do incêndio estão compatíveis com a posição da lixeira.

Do exposto acima, o perito deverá, minimamente, testar as hipóteses formuladas com os seguintes questionamentos:

- Na origem existe uma fonte de ignição com energia suficiente?
- A origem explica os dados?
- As contradições estão resolvidas?

No cenário existe alguma origem alternativa que também explica igualmente os dados?

Cabe ressaltar, fundamentalmente, que o teste de hipóteses se caracteriza pela exposição de premissas que invalidem a tese formulada, ou seja, o perito deverá expor argumentações no sentido de refutar a hipótese (e não de confirmá-la!).

Selecionar a hipótese final.

As hipóteses testadas poderão ser aceitas ou descartadas. Portanto, nesta última etapa da investigação da origem, o perito deverá selecionar a hipótese final e identificar a origem do incêndio.

No caso de somente uma hipótese aprovada nos testes ela será dita como a origem do incêndio. Excetuando-se o caso particular de multifocos, se existirem duas ou mais hipóteses que passaram no teste, elas serão classificadas como possíveis origens do fogo.

Por fim, caso nenhuma hipótese formulada passe nos testes, o fogo será classificado como de origem indeterminada.

Cabe lembrar que podem existir incêndios em que nenhuma hipótese sobre a origem consiga ser elaborada, desse modo a origem é classificada também como indeterminada. Isso acontece quando o perito

julga que houve um prejuízo significativo na qualidade e na quantidade dos vestígios deixados no incêndio que, basicamente, ocorre nas seguintes situações:

- Queima total da edificação;
- Remoção de materiais e objetos;
- Limpeza do local.

A Figura 97 apresenta um incêndio em edificação com queima total.

Figura 97 - Queima total de uma residência: origem indeterminada



Fonte: DINVI

De tudo exposto, o perito deverá ser objetivo na apresentação da origem do incêndio após a seleção final da(s) hipótese(s). Então, caberá ao investigador:

- Definir a zona de origem ou classificá-la como indeterminada;
- Definir, especialmente, o foco inicial ou classificá-lo como indeterminado;
- Definir a origem como indeterminada.

5. DETERMINAÇÃO DA CAUSA

A causa do incêndio é uma etapa fundamental na investigação e tem por objetivo descrever a forma e as circunstâncias de surgimento e propagação do fogo, o qual é resultado de uma combinação entre um material combustível, uma fonte de calor e um comburente.

A determinação da causa de um incêndio é definida como um processo metodológico de investigação que tem por finalidade identificar o primeiro material combustível, a fonte de ignição, o agente oxidante e as circunstâncias que resultaram no incêndio.

Adicionalmente, vale ressaltar que a ignição é um processo de iniciação de uma combustão autossustentável. Portanto, os elementos do tetraedro do fogo por si só não produzem chama, sendo necessário apresentar também os fatores que permitiram eles se combinarem e reagirem entre si.

O primeiro material combustível é o elemento que descreve o objeto que foi consumido para produzir o fogo inicial. Na reação de combustão é ele que, na presença de uma fonte de ignição, reage com o agente oxidante para produzir o fogo.

O primeiro material combustível ignizado não deve ser confundido com o material que, porventura, venha constituir a fonte de ignição.

A fonte de ignição é o elemento que descreve o objeto que forneceu energia calorífica em quantidade suficiente para queimar o primeiro material que ignizou. Uma vela ou um palito de fósforo acesos são exemplos de fontes de ignição.

O agente oxidante é o elemento que representa o comburente na reação da combustão sendo, na maioria das vezes, o oxigênio presente no ar atmosférico.

A sequência de ignição é o elemento que descreve os fatores que levaram a fonte de ignição, o primeiro material combustível ignizado e o agente oxidante se misturassem e reagissem produzindo o fogo.

Portanto, a investigação vai além da identificação dos elementos do triângulo do fogo e tem que esclarecer as circunstâncias que contribuíram para a existência do incêndio. Nesse contexto, por exemplo, o perito deverá avaliar se o fogo teve início pelo mau uso de um equipamento ou pelo descarte de um material.

O comportamento humano, a ventilação do ambiente, o uso de agente acelerante, a falha do sistema preventivo de combate a incêndio e o defeito de funcionamento de um equipamento elétrico são exemplos de fatores que devem ser compreendidos e elucidados na determinação da causa do incêndio.

Para ilustrar uma situação que represente aspectos relacionados com a causa de um incêndio, considere que o fogo tenha iniciado em função do contato de um cigarro ainda aceso com o papel que havia no cesto de lixo da seção de uma repartição pública. O perito, ao identificar o papel na cesta de lixo como o primeiro material combustível e o cigarro como a fonte de ignição, constatou que essas informações não eram suficientes para concluir que fora o surgimento do fogo inicial.

Nesse contexto, a investigação deve esclarecer as condições de como houve a interação entre o agente ígneo e o combustível. O perito pode concluir, inclusive, que o incêndio só teve início porque uma pessoa foi negligente ao descartar um cigarro incandescente em local inadequado.

A descrição das condições e circunstâncias envolvidas no surgimento do fogo inicial e na propagação do incêndio são extremamente valiosas para elaboração de medidas preventivas.

Do acima exposto, conclui-se que a causa do incêndio deverá abranger os seguintes aspectos:

- A causa do incêndio: elucida o surgimento do fogo inicial e a propagação;
- O dano ao patrimônio: descrição do prejuízo patrimonial provocado pelo incêndio;
- O dano à vida: descrição das circunstâncias relacionadas às vítimas (feridas ou mortas);
- O comportamento humano: descrição da ação do homem em quaisquer dos itens supramencionados.

Portanto, estabelecidos os elementos que definem a causa do incêndio, o presente manual apresentará a metodologia científica adotada para esse propósito.

5.1. Metodologia

A determinação da causa na investigação de incêndio é estabelecida a partir da aplicação do método científico.

Dessa forma, caberá ao perito cumprir as etapas relacionadas abaixo.

5.1.1. Reconhecer a necessidade e definir o problema

A primeira etapa na determinação da causa é reconhecer a necessidade e defini-la como um problema de investigação de incêndio.

De maneira semelhante à metodologia adotada para determinação da origem, o investigador deve inicialmente coletar

informações sobre a existência do incêndio e que a causa ainda é desconhecida.

Nessa fase da investigação, o perito já determinou o foco inicial e, assim, o local onde o fogo inicial surgiu. Se o fogo que deu origem ao incêndio está dentro do foco inicial, então a causa do surgimento do fogo inicial também está dentro dele.

Portanto, metodologicamente, a investigação da causa só poderá ser iniciada após prévia determinação da origem do incêndio.

Em consequência, a causa será dita como indeterminada para os incêndios cuja origem é indeterminada.

Sendo assim, ressalta-se que o aspecto mais importante dessa etapa é o perito certificar-se que a origem do incêndio já foi determinada. Satisfeita essa condicionante, o perito terá a determinação da causa para um problema a ser solucionado e poderá iniciar o trabalho investigativo.

Do exposto acima, nesta etapa inicial caberá ao perito certificar-se dos seguintes aspectos:

- O incêndio ocorreu;
- A causa é desconhecida;
- A origem do incêndio foi determinada.

5.1.2. Coletar os dados

A etapa de coleta de dados para determinação da causa do incêndio inclui a identificação de materiais combustíveis, fontes de ignição, oxidantes e as circunstâncias.

A partir da região definida como o foco inicial do incêndio, o investigador deverá coletar os dados de todos os potenciais materiais combustíveis e fontes de ignição que estiverem ali presentes.

No caso de coleta de evidências físicas, para fins de comparação, o perito deverá recolher amostras em regiões preservadas e não atingidas pelo fogo e, portanto, fora do foco inicial.

O perito deverá identificar todos os materiais combustíveis presentes na região do foco inicial. Cabe ressaltar que cada material deverá ser descrito quanto ao tipo, quantidade e localização específica. Inicialmente, o perito deverá identificar todas as fontes de ignição presentes na região do foco inicial. Cabe ressaltar que cada fonte de ignição deverá ser descrita quanto ao tipo, quantidade e localização específica.

Em muitas das situações investigadas, o perito não consegue identificar a fonte de ignição, principalmente, em razão de estar exposta à ação do calor e da chama desde o início do incêndio.

Isso ocorre, na maior parte das vezes, quando a fonte de calor produz uma chama aberta, como no caso de palitos de fósforo ou velas. Caso o perito não encontre nenhuma fonte de ignição, ele deverá registrar a indeterminação.

Na terceira fase dessa etapa, o perito deverá certificar-se que o agente oxidante consumido na reação de combustão foi o oxigênio. Caso contrário, caberá ao investigador identificar o gás.

Por fim, o investigador deverá identificar a sequência de ignição. Ela refere-se à sucessão de eventos e circunstâncias que permitiram a interação da fonte de ignição, do primeiro material combustível com oxidante, produzindo assim o fogo inicial.

Essa apresentação é muito útil para inferir de maneira lógica uma explicação da causa, utilizando outros dados nos casos em que a fonte de ignição não é encontrada, como nas explosões difusas e incêndios com multifocos.

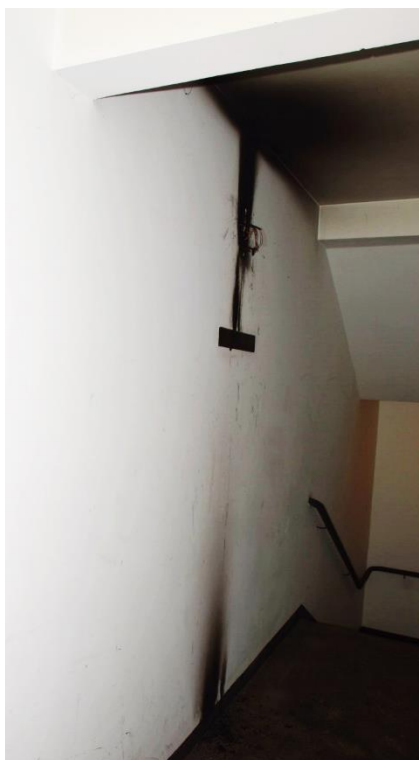
As Figuras 98, 99 e 100 apresentam incêndios distintos em que o investigador identificou, respectivamente, um ar-condicionado, um detector de presença e um palito de fósforo.

Figura 98 - Incêndios no equipamento de ar condicionado



Fonte: DINVI

Figura 99 - Incêndio no detector de presença instalado em uma escada enclausurada protegida



Fonte: DINVI

Figura 100 - Um palito de fósforo utilizado como fonte de ignição



Fonte: DINVI

Portanto, na etapa de coleta de dados, o perito deverá verificar as seguintes tarefas:

- Identificar os materiais combustíveis;
- Identificar as potenciais fontes de ignição;
- Identificar o agente oxidante;
- Identificar as circunstâncias do incêndio.

5.1.3. Analisar os dados

O método científico estabelece que todos os dados coletados na investigação sejam analisados. Assim, o perito deverá examinar e interpretar cada componente dos dados coletados. Dessa forma, a análise dos dados é baseada no conhecimento, treinamento, experiência e expertise do investigador de incêndio.

Cabe destacar, ainda, que a etapa de análise de dados é uma etapa que obrigatoriamente antecede a formulação das hipóteses de causa.

Por fim, o perito deverá compreender o significado dos dados para formular hipóteses baseado nas evidências em vez de especulação ou crença.

Na análise do material combustível identificado na etapa de coleta de dados, o investigador deverá avaliar os seguintes aspectos: geometria e orientação, temperatura de ignição e quantidade.

Na análise da fonte de calor envolvida na combustão, o perito deverá analisar aspectos como tipo, orientação e taxa de liberação de calor.

Na análise da sequência de ignição, caberá ao investigador analisar aspectos da proximidade do primeiro material combustível com a

fonte de ignição, bem como do segundo material combustível com o fogo inicial.

De forma geral, em situações rotineiras, os materiais combustíveis encontrados na origem do incêndio, como móveis de madeira maciça, por exemplo, não entram em combustão quando em contato com fontes de calor com baixa energia, baixa temperatura e de curta duração. Portanto, percebe-se que é primordial ao perito a compreensão dos assuntos apresentados no capítulo que aborda os aspectos da Ciência do Fogo.

Do exposto acima, na etapa de análise de dados caberá ao investigador de incêndio verificar os seguintes aspectos:

- Analisar os materiais combustíveis;
- Analisar as potenciais fontes de ignição;
- Analisar o agente oxidante;
- Analisar a sequência de ignição.

5.1.4. Elaborar as hipóteses

Esta etapa se caracteriza pela elaboração das hipóteses sobre a causa do incêndio. A formulação de uma hipótese só pode ocorrer baseada nos dados analisados.

O perito deverá elaborar necessariamente uma hipótese relacionada à cada fonte de ignição analisada. Cabe ressaltar que o investigador deverá considerar os casos de ausência de fontes de ignição.

Além disso, o perito deverá desenvolver hipóteses sobre o primeiro material ignizado de cada fonte de ignição considerada.

Por fim, vale lembrar que é recomendável o desenvolvimento de hipóteses alternativas uma vez que um maior número delas possibilita, normalmente, ainda mais a descoberta da causa provável do incêndio.

Portanto, resumidamente, na elaboração de hipóteses sobre a causa, o perito deverá avaliar os seguintes aspectos:

- Desenvolver uma hipótese relacionada a cada potencial fonte de ignição;
- Considerar ausência de fontes de ignição;
- Sugerir a indicação do primeiro material combustível ignizado para cada fonte de ignição considerada;
- Considerar hipóteses alternativas.

5.1.5. Testar as hipóteses

Esta etapa tem por objetivo testar as hipóteses já desenvolvidas na etapa anterior da investigação. Toda hipótese elaborada deverá necessariamente ser testada, conforme prescreve o método científico.

O teste de hipótese é realizado com base no raciocínio dedutivo, ou seja, o investigador deverá confrontar as hipóteses elaboradas com todos os fatos e dados conhecidos, bem como do conhecimento científico relacionado ao incêndio.

Cabe enfatizar que os testes, em tese, têm o objetivo de apresentar premissas ou argumentos para descartar as hipóteses elaboradas e não para confirmá-las.

Nesse contexto, o perito deverá trabalhar de forma criteriosa todas as etapas metodológicas apresentadas neste capítulo. Não raras são as vezes que um registro fotográfico, um vídeo ou um dado da literatura científica invalida a conclusão de uma investigação de incêndio.

O processo de eliminação de hipóteses não será abordado com profundidade neste manual. De uma forma geral, o perito sempre deverá avaliar as seguintes questões:

- A fonte de ignição considerada estava localizada no foco inicial?
- A fonte de ignição considerada é capaz de ignizar o primeiro material combustível?
- A fonte de ignição considerada teve tempo suficiente para ignizar o primeiro material combustível?
- A causa considerada está coerente com todos os dados conhecidos?
- As contradições estão resolvidas?
- Existe alguma outra hipótese relacionada à causa que também explica os dados?

Para testar as hipóteses, o perito poderá utilizar as ferramentas citadas abaixo, como referência inicial, a saber:

- Literatura científica;
- Ciência do fogo;
- Experimentos físicos;
- Experimentos cognitivos;
- Modelos computacionais;
- Linhas de tempo;
- Árvore de falhas.

5.1.6. Selecionar a hipótese final.

A última etapa de toda investigação de incêndio é selecionar a hipóteses final.

Os testes de hipóteses resultarão somente em três situações, excludentes entre si, que são classificadas da seguinte forma:

- Causa determinada: quando somente uma das hipóteses passou nos testes. Nesse caso, a causa determinada é dita

como provável (superior a 50% de probabilidade) e é validada como a causa do incêndio;

- Causa possível: quando duas ou mais hipóteses passaram nos testes. Desse modo, cada causa encontrada é considerada como possível (inferior a 50% de probabilidade) e não pode ser validada como causa do incêndio;
- Causa indeterminada: quando nenhuma das hipóteses elaboradas passou nos testes.

No estabelecimento da causa do incêndio, o investigador deverá apresentar de forma objetiva e clara os aspectos abaixo. Ele deverá deixar claros os elementos que se encontram determinados.

- O primeiro material combustível;
- A fonte de ignição;
- O agente oxidante;
- A sequência de ignição;
- O dano ao patrimônio;
- O dano à vida.

Por conseguinte, o perito deverá, ainda, classificar a causa do incêndio encontrada quanto à responsabilidade de pessoas ou instituições, na forma que segue abaixo.

- Causa Acidental: quando não existe a intenção do homem em produzir o incêndio e seus resultados. Ex.: normalmente incêndios de origem elétrica;
- Causa Natural: associada aos fenômenos naturais. Ex.: Incêndios provocados por raio e vendaval;
- Causa Intencional: associada à ação deliberada do homem em produzir o incêndio e seus resultados;

- Causa Indeterminada: quando a causa não pôde ser classificada nos itens anteriores.

6. PROTOCOLO DE CAMPO

6.1. Antes do deslocamento

- Verificar se o incêndio ocorreu;
- Verificar as informações iniciais da ocorrência;
- Verificar se os recursos humanos e materiais estão disponíveis.

6.2. No local

6.2.1. Antes de examinar a edificação

- Anotar o horário do início da perícia;
- Confirmar as informações iniciais da ocorrência;
- Certificar-se de que o incêndio ocorreu;
- Certificar-se da presença do proprietário ou responsável pela edificação;
- Verificar se os recursos humanos e materiais serão suficientes;
- Verificar se há vítimas;
- Verificar se há riscos de desabamento;
- Verificar se há indícios de crime;
- Verificar se há necessidade de apoio de outros órgãos;
- Adotar os procedimentos de isolamento e segurança da edificação;
- Coletar declarações de testemunhas;
- Coletar dados preliminares sobre a atuação de pessoas e do Corpo de Bombeiros no combate ao incêndio.

6.2.2. Exame do exterior à edificação

- Documentar todo o perímetro da edificação;
- Documentar a extensão e o dano do incêndio no exterior à edificação;
- Confeccionar um croqui da edificação em relação à localização e edificações vizinhas;
- Documentar se as edificações vizinhas foram atingidas pelo incêndio;
- Documentar a situação nas portas e janelas;
- Anotar os materiais empregados e os detalhes construtivos da edificação;
- Verificar possíveis falhas estruturais/arquitetônicas.

6.2.3. Exame do interior à edificação

- Fotografar todos os ambientes da edificação;
- Documentar os materiais e peças construtivas da edificação;
- Confeccionar croqui dos ambientes da edificação atingidos pelo incêndio;
- Documentar objetos e materiais de todos os ambientes atingidos pelo incêndio;
- Documentar o dano provocado pela transferência de calor, os níveis de estratificação do calor e da fumaça e, ainda, os danos aos elementos estruturais de todos os ambientes atingidos pelo incêndio;
- Documentar a posição e o dano do incêndio nas portas, janelas e escadas;
- Documentar a situação da utilização e distribuição de energia e de equipamentos que produzem calor como fornos, aquecedores, motores, dentre outros;

- Documentar a leitura realizada em relógios de medição dos equipamentos;
- Coletar informações (declarações, imagens ou vídeos) sobre os sistemas de alarme de segurança;
- Documentar a destinação e o uso da edificação;
- Avaliar o sistema de segurança contra incêndio da edificação e, caso julgue necessário, acionar a fiscalização do CBMDF para as providências cabíveis.

6.2.4. Exame sobre o interior da zona de origem

6.2.4.1. Durante a coleta inicial

- Não realizar qualquer tipo de movimentação de material no cenário investigado;
- Realizar documentação fotográfica do ambiente;
- Confeccionar croqui com as dimensões do ambiente e a disposição dos materiais combustíveis;
- Plotar no croqui o local das potenciais fontes de ignição;
- Descrever os materiais construtivos;
- Documentar a situação nas portas e janelas;
- Documentar os efeitos do incêndio na edificação e nos materiais combustíveis presentes na zona de origem, dentre os quais se destacam:
 - Padrões de queima;
 - Marcas de calor;
 - Marcas de fumaça;
 - Queimas baixas e de penetração;
 - Profundidade de carbonização;
 - Aparência de carbonização superficial;
 - Efeitos superficiais;
 - Desplacamentos;
 - Marcas fantasmas;

- Calcinação em placas de gesso;
 - Mobiliário com molas;
 - Vidro;
 - Ponto de fusão dos materiais;
 - Queima limpa;
 - Áreas protegidas.
- Documentar as evidências físicas, equipamentos, distribuição e aparelhos de proteção (estabilizadores, disjuntores, válvulas de alívio, dentre outros);
- Inventariar todos os objetos e materiais presentes no cenário.

6.2.4.2. Durante a escavação e reconstrução

- Certificar-se quanto às condições de segurança e utilização do equipamento de proteção individual (EPI), como óculos e luvas, antes de iniciar a escavação;
- Descrever os materiais combustíveis;
- Descrever as potenciais fontes de ignição;
- Descrever a instalação elétrica do ambiente;
- Descrever o sistema de ar condicionado, caso exista;
- Descrever o sistema de prevenção contra incêndio no ambiente, caso exista;
- Acautelar-se quanto ao uso de ferramentas pesadas, como pás e enxadas;
- Documentar escombros, evidências, indicadores e amostras encontradas durante a escavação;
- Documentar a reconstrução de materiais, objetos e mobiliário;
- Documentar, se possível, a reconstrução completa do cenário do incêndio.

6.2.4.3. Durante a coleta de evidências

- Certificar-se quanto às condições de segurança e utilização de EPI antes de qualquer tipo de coleta;
- Certificar-se da utilização de equipamentos e materiais próprios e adequados para correta remoção de evidências;
- Fotografar a evidência antes e após a coleta;
- Plotar no croqui o local da coleta de evidências;
- Coletar juntamente à evidência pericial, se possível, uma amostra idêntica da que não sofreu ação do fogo;
- Certificar-se quanto ao armazenamento adequado da amostra de incêndio;
- Garantir a integridade da cadeia de custódia;
- Atentar aos procedimentos de coleta de evidências de estabelecidos em instrução normativa da DINVI.

6.3. Saída do local

- Certificar o proprietário da edificação sobre as responsabilidades e deveres que ele irá assumir após a saída da equipe de perícia do local, conforme formulário próprio da DINVI;
- Certificar o proprietário da edificação sobre o inventário que foi realizado na zona de origem e eventual retirada de evidência pericial, conforme formulário próprio da DINVI;
- Certificar-se sobre a integridade de todos os recursos utilizados na realização do trabalho pericial;
- Anotar o horário de término da perícia.

7. REFERÊNCIAS

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), **NFPA 921-2004 - Guide for Fire and Explosion Investigations**, Quincy, 2004.

_____. **NFPA 921-2011 - Guide for Fire and Explosion Investigations**, Quincy, 2011.

VIII. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PERÍCIA

1. INTRODUÇÃO

Prover as equipes com recursos para desempenhar atividades é uma preocupação perene do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Para otimizar as missões, a Corporação disponibiliza viaturas, aeronaves, equipamentos de campo e laboratoriais que dão suporte às perícias em incêndios e explosões nos mais variados tipos.

O exame do local sinistrado é realizado com o auxílio dos materiais de campo, com os quais se pode proceder registros fotográficos e de filmagens da cena, bem como a coleta e custódia de vestígios e provas e ainda realizar oitiva de testemunhas.

Por vezes, há necessidade de realizar exames em laboratório dos vestígios coletados pelos peritos nos locais de incêndios, para que possam melhor fundamentar os laudos periciais. Os laboratórios são equipados para que os peritos possam analisar de forma minuciosa e científica os vestígios e provas coletadas, realizar testes e experimentos relativos às possibilidades de incêndio, objetivando a comprovação das hipóteses formuladas.

Periodicamente, o Corpo de Bombeiros investe na formação para técnicos de perícia em incêndio que oferecem suporte especializado à investigação. Em campo, esses profissionais auxiliam no trabalho de registro de imagens, condução e operação de viatura e equipamentos e na coleta, acondicionamento e transporte das amostras encaminhadas para exame.

Nos laboratórios de análises, são realizados os exames de materiais coletados, em especial àqueles de natureza elétrica e química. É de fundamental importância que seja formado uma base de dados sólida que disponibilize as informações das investigações concluídas, dos exames

realizados e das experiências e vivências nas perícias em incêndios e explosões.

Como em todas as atividades de natureza bombeiro militar, a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) figura como requisito indispensável à realização da perícia, quer seja em campo, quer seja nas atividades desenvolvidas em laboratório.

Com o mesmo cuidado, o protocolo de segurança nos laboratórios deve ser elaborado e seguido de forma criteriosa e disponibilizado de modo que todos tenham fácil acesso.

Os protocolos de tramitação de documentos e procedimentos quanto à coleta, custódia das amostras, exame laboratorial e emissão de laudos, devem seguir criteriosamente as normas estabelecidas pela Corporação, com fulcro na legitimação do objeto como prova material da investigação.

O que se segue é uma lista abrangente de ferramentas compiladas a partir de uma variedade de fontes publicadas, contudo ela não deve ser interpretada como um conjunto de utensílios que a perícia em incêndio e explosões "deve ter", mas como um ponto de partida para os investigadores, de forma que eles próprios definam seus equipamentos de acordo com as necessidades. A determinação do conteúdo do *kit* de ferramentas é da responsabilidade do investigador e é determinada por exigências, padrões e necessidades locais e preferências de investigação.

A equipe de perícia em incêndios e explosões percorre todo o Distrito Federal com emprego de viaturas oficiais do Corpo de Bombeiros, preferencialmente com aporte de tração 4x4, equipadas com sistemas de sinalização sonora e luminosa, bem como radiocomunicação, de forma a possibilitar o deslocamento e o transporte de equipamentos diversos tais como serão abordados a seguir.

1.1. Equipamentos de segurança

Entende-se por Equipamento de Proteção Individual (EPI) todo dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho¹³.

Por definição da Norma Regulamentadora nº 06 (NR-06), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), EPI é todo “dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho”.

A exposição aos mais variados riscos é uma constante nas atividades Bombeiro Militar.

Prevenir e mitigar são práticas que antecedem as operações e devem permanecer até que todas as atividades sejam encerradas. Para tanto, a utilização de EPIs, a adoção de medidas de proteção coletivas, a restrição de acesso à fonte de risco, bem como redução à exposição desses perigos caracterizam boas práticas que minimizam ou neutralizam os riscos identificados no desencadear de uma missão.

Os EPIs são os responsáveis pela proteção e integridade do indivíduo com o intuito também de minimizar os riscos ambientais no trabalho e promover a saúde, bem-estar e evitar os acidentes e doenças ocupacionais.

Por essa razão, é imprescindível a realização de atividades de campo e laboratoriais aparatado com todo EPI cabível em cada trabalho realizado, atentando-se, inclusive para a segurança daquelas pessoas que não compõem a equipe de perícia, mas por alguma razão devem estar presentes na cena.

¹³ Norma Regulamentadora 6 (NR 6) do Ministério do Trabalho e Emprego

- a. Capacetes: EPI para proteção da cabeça contra impactos de objetos sobre o crânio, combinado com óculos para proteção dos olhos e face contra impacto de partículas volantes.

Figura 101 - Capacete Gallet F2



Fonte: Internet

- b. Luvas: EPI para proteção das mãos contra agentes abrasivos, escoriantes, cortantes, perfurantes, além de agentes térmicos.

Figura 102 - Luvas de proteção



Fonte: Internet

- c. Coturno: EPI para proteção dos membros inferiores contra impactos de quedas de objetos, agentes térmicos, cortantes e perfurantes.

Figura 103- - Bota coturno

Fonte: Internet

- d. Máscaras: EPI para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas, fumos, material particulado, gases e vapores.

Figura 104 - Máscaras

Fonte: Internet

- e. Casaco e calça de combate a incêndio: EPI para proteção de membros superiores e inferiores contra impactos de quedas de objetos, agentes térmicos, cortantes e perfurantes.

Figura 105 - Casaco e calça de proteção

Fonte: CBMDF

1.2. Equipamentos de Proteção Coletiva

Conhecidos como EPC, esses equipamentos são utilizados de forma coletiva, destinados a proteger a saúde e a integridade física dos profissionais que trabalham em ambientes que apresentam riscos.

Figura 106 - Sinalização e iluminação

Fonte: Internet

Figura 107 - Kit de sinalização

Fonte: Internet

Figura 108 - Balão de Iluminação

Fonte: CBMDF

1.3. Equipamentos de campo

São instrumentos levados para as perícias de forma que auxiliam o desenvolvimento da atividade, ressaltando não ser uma listagem estática, sendo da responsabilidade do perito definir os equipamentos que necessita.

- Iluminação (Lanterna, cilibrim ou balão) - possibilita a iluminação do local sinistrado durante a investigação por períodos mais prolongados.

Figura 109 - Cilibrim

Fonte: CBMDF

Figura 110 - Lanterna

Fonte: CBMDF

- a. Extensão - Possibilita a condução de energia elétrica externa ao local da investigação

Figura 111 - Extensão elétrica

Fonte: Internet

- b. Equipamentos de escavação, limpeza e remoção - Possibilitam a retirada de escombros e resíduos do local da investigação, tais como: pá, enxada, pé de cabra, corta frio, entre outros.

Figura 112 - Equipamentos gerais de escavação

Fonte: Internet

- c. Ferramentas de corte - equipamentos de pequeno porte que auxiliam em remoção de objetos tais como: chaves de fenda, chave Philips, martelo, alicates, entre outros.

Figura 113 - Equipamentos gerais de corte

Fonte: Internet

- d. Equipamento de filmagem e fotografia - utilizado para o registro de: pontos de referência, vestígios e provas localizados durante a investigação, incêndio,

depoimentos colhidos e de detalhes considerados necessários para emissão do laudo pericial.

Figura 114 - Equipamento de filmagem e fotografia



Fonte: Internet

- e. Legendas - auxiliam o perito no registro dos vestígios, provas e localização dos indícios, como pontos de referência.

Figura 115 - Placas para legendar fotos



Fonte: internet

- f. Dispositivos de medidas de comprimento (trenas) - utilizados para delimitar as dimensões do ambiente e dos componentes, que serão necessários na confecção de croquis, mapas, plantas do local investigado.

Figura 116 - Trena digital

Fonte: Internet

Figura 117 - Trena manual

Fonte: Internet

Figura 118 - Roda de medição

Fonte: Internet

Figura 119 - Paquímetro

Fonte: Internet

- g. Aferidores de eletricidade - utilizados para apurar as condições elétricas dos ambientes e/ou dos equipamentos periciados.

Figura 120 - Multímetros



Fonte: Internet

- h. Orientação geográfica (GPS) - utilizado para auxiliar na confecção de croquis, mapas, plantas do local investigado, medição de toda ordem, bem como localização de pontos geográficos, por meio de geoprocessamento.

Figura 121 - GPS portátil e veicular



Fonte: Internet

- i. Equipamentos para registro manual (prancheta, caneta, papel) - auxiliam na confecção de croquis, documentos, coleta de depoimentos e demais registros de informações importantes para o laudo pericial.

Figura 122 - Instrumentos gerais para registro manual



Fonte: Internet

- j. Kit de primeiros socorros - Possibilita a realização do socorro básico às equipes de trabalho, vítimas e testemunhas, caso necessário.

Figura 123 - Kit de primeiros socorros



Fonte: CBMDF

1.4. Equipamentos laboratoriais

A realização de ensaios laboratoriais constitui uma das ferramentas que contribui para a formulação e comprovação das hipóteses de surgimento do incêndio. Segue abaixo alguns equipamentos que podem auxiliar o perito a elucidar os questionamentos.

Importante salientar que laboratórios são ambientes controlados e, portanto, exigem cuidados especiais. Cabe ao perito em incêndio e explosões atentar para as normas de segurança previstas para o uso dos laboratórios da Diretoria de Investigação, que normalmente, encontram-se na entrada. Em caso de dúvidas, procurar o técnico responsável, a fim de evitar acidentes.

- a. Multímetro de bancada – é um instrumento utilizado para medir tensão DC e AC, corrente DC e AC, resistência, capacitância, temperatura, frequência, teste de diodo e continuidade, loop 4~20mA (%), máximo, mínimo e modo relativo

Figura 124 - Multímetro de bancada



Fonte: CBMDF

- b. Fontes de tensão e de corrente ideais são fontes que fornecem os valores determinados de tensão ou de corrente independentemente da carga à qual forem ligadas. É possível construir sistemas retroalimentados que percebam mudanças na carga e modifiquem os parâmetros físicos da fonte de forma a manter sua saída constante.

Figura 125 - Fonte de tensão



Fonte: CBMDF

- c. Estereomicroscópio: A microscopia óptica, ou de luz, permite a observação de estruturas, impossível a olho nu, através da incidência de luz, e de lentes objetivas que promovem um aumento de até mil vezes o tamanho original. Bastante empregado para identificação de fenômenos elétricos entre outros, possui saída para computador e câmera fotográfica, o que contribui sobremaneira para confecção do laudo pericial.

Figura 126 - Estereomicroscópio

Fonte: Internet

- d. Cromatógrafo a gás - equipamento de separação e análise das substâncias químicas presentes em uma amostra, utiliza o princípio de cromatografia gasosa, onde os componentes da amostra são separados por meio das diferenças de polaridade.

Figura 127 - Cromatógrafo a gás

Fonte: CBMDF

- e. Espectrômetro de massa - equipamento de análise química para identificação de substâncias por meio da relação carga versus massa dos padrões gerados por fragmentação das moléculas. Utilizado na avaliação da

presença de determinadas substâncias em amostras específicas.

Figura 128 - Espectrômetro de massa



Fonte: CBMDF

- f. Espectrofotômetro de ultravioleta - equipamento utilizado na identificação de substâncias químicas pelo princípio de absorção de ondas eletromagnéticas na região de ultravioleta



Fonte: CBMDF

- g. Espectrofotômetro de infravermelho - equipamento utilizado na identificação de substâncias químicas pelo

princípio de absorção de ondas eletromagnéticas na região de infravermelho.

Figura 129 - Espectrômetro de infravermelho



Fonte: CBMDF

- h. Termogravímetro - equipamento utilizado no estudo de degradação térmica de substâncias por meio da análise de perda de massa quando o material é submetido a aquecimento (da temperatura ambiente em até 1.000 °C).

Figura 130 - Termogravímetro



Fonte: CBMDF

- i. Mufla - equipamento utilizado no estudo de degradação térmica ou inflamabilidade de substâncias (em uma temperatura ambiente de 1.200 °C).

Figura 131 - Mufla



Fonte: CBMDF

- j. Balança analítica - equipamento utilizado para determinação da massa de determinada amostra.
- Carga Máxima: 200 gramas
 - Carga Mínima: 0,02 gramas
 - Menor divisão: 0,001 gramas

Figura 132 - Balança analítica



Fonte: CBMDF

2. COLETA DE AMOSTRAS

As amostras de evidências podem ser definidas, de modo geral, como qualquer item tangível que tende a provar ou refutar fatos ou questões. Essas evidências do local sinistrado podem ser relevantes para definir questões relacionadas à origem, causa, propagação ou responsabilidade pelo incêndio.

Com isso, todo esforço deve ser empregado para manter a cena do incêndio o mais intacto possível, de forma a preservar as evidências espalhadas pelo local, pois com uma preservação inadequada, qualquer contaminação de provas físicas pode reduzir o valor probatório da amostra.

A contaminação de amostras pode ocorrer a partir de métodos impróprios de coleta, armazenamento ou transporte. Para tanto é preciso avaliar o estado físico, características físicas, fragilidade e volatilidade do material a ser coletado para definir a melhor metodologia a ser empregada.

Assim sendo, o recipiente deve garantir a integridade da amostra, evitando qualquer alteração ou contaminação dessa. O recipiente a ser empregado deve ser escolhido pelo perito em incêndio e explosões, conforme o caso, podendo empregar soluções criativas para a coleta da amostra, como a folha de alumínio, que preserva gases da amostra por certo tempo, além de ser um recurso de fácil acesso e manipulação.

Os recipientes podem ser de itens comuns, tais como:

- a. Folha de alumínio – empregado para coleta de amostras sólidas, isola e preserva consideravelmente a amostra, não sendo aconselhável para amostras líquidas.

Figura 133 - Folha ou papel alumínio

Fonte: Google

- b. Latas de metal – recipientes multifuncionais, assim como os potes de vidro, podem ser usados para armazenar amostras líquidas e sólidas.

Figura 134 - Recipientes de metal com tampa

Fonte: Internet

- c. Recipiente de vidro – recipiente multifuncional para a perícia, pode ser empregado para coletar e armazenar amostras líquidas e sólidas.

Figura 135 - Potes de vidro com tampa

Fonte: Internet

- d. Envelopes – empregados para coleta de amostras sólidas, têm as mesmas limitações da folha de alumínio. Em alguns casos podem ser empregados para coletar amostras líquidas.

Figura 136 - Envelopes plásticos



Fonte: Internet

- e. Sacos de papel – utilizados para coleta de amostras sólidas, mas possui uma limitação ainda maior no sentido de não possuir resistência mecânica.

Figura 137 - Saco de papel



Fonte: Internet

- f. Sacos de plástico – empregados para coletas de amostras sólidas. Dependendo do fabricante, também não apresentam elevada resistência mecânica, pode romper-se e prejudicar a amostra.

Figura 138 - Sacos plásticos

Fonte: Internet

É importante frisar que em todos os casos, os recipientes devem estar limpos e secos, a fim de não contaminar ou diluir a amostra em questão.

3. FOTOGRAFIA FORENSE

A documentação visual da cena do incêndio pode ser feita usando vídeo ou fotografia. As imagens podem retratar a cena melhor que palavras, de forma que são os mais eficientes lembretes dos quais o investigador viu na cena.

Padrões e itens ignorados no momento em que foram feitas as fotografias ou vídeos podem se tornar evidentes. Podem, ainda, fundamentar relatórios e declarações do investigador. Dessa forma, serão apresentados conceitos básicos de fotografia, de maneira a familiarizar o leitor com o assunto em pauta, porém não tem por objetivo aprofundar ou esgotar a matéria.

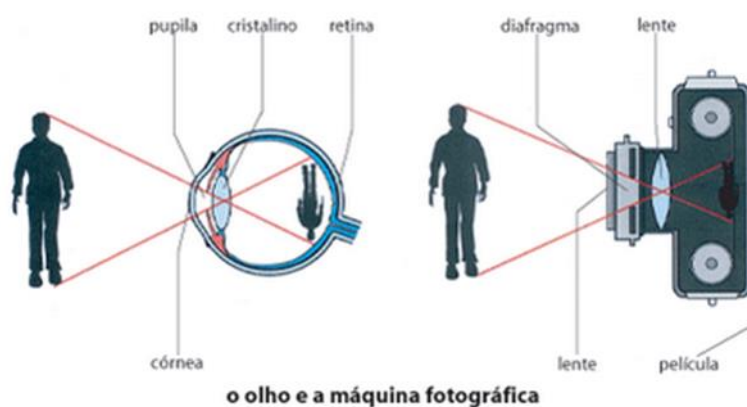
O aspecto mais fundamental da fotografia é que o investigador compreenda o funcionamento da câmera. A maneira mais fácil de aprender o funcionamento é comparar a câmera com o olho humano.

A luz é o principal componente da fotografia e na maior parte dos ambientes incendiados os objetos de interesse estão escurecidos ou estão sob um fundo escurecido, o que não promove condições favoráveis.

Fazendo analogia ao olho humano, uma pessoa quando percorre um ambiente escuro suas pupilas dilatam a fim de recolher mais luz. Da mesma forma, a câmara necessita de um funcionamento similar.

A pessoa em um quarto escuro, normalmente, acende a luz para melhorar a visão, assim como um fotógrafo usa um flash ou um projetor para melhorar a visão da câmara. Tanto o olho humano quanto a câmera refletem uma imagem invertida sobre a superfície sensível à luz: o filme (ou sensores) na câmara e a retina no olho. A quantidade de luz admitida é regulada pela íris (no caso do olho) ou pelo diafragma (no caso da câmera).

Figura 139 - Comparação dos componentes da máquina fotográfica com olho humano



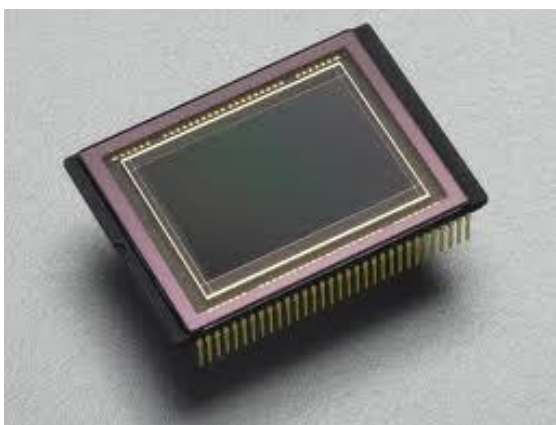
Fonte: Internet

3.1. Classificação das câmeras fotográficas

Há uma infinidade de câmeras e tipos disponíveis, pequenas, grandes, de baixo custo ou de custo elevado, além de uma vasta gama de acessórios. Algumas câmeras são totalmente automáticas, dando ao fotógrafo uma sensação de conforto sabendo que tudo que eles precisam fazer é apontar e disparar.

Com relação à captação de luz as máquinas podem ser classificadas como analógicas ou digitais. Nas analógicas as imagens são refletidas em películas sensíveis à luz: os filmes. Nas digitais, a luz é refletida em sensores fotossensíveis, que digitalmente é convertida em arquivos de imagens.

Figura 140 - Sensor fotossensível



Fonte: Internet

O grande benefício da câmera digital é que ela tem a capacidade de processar o arquivo digital e em instantes pode mostrar o resultado da imagem capturada ao fotógrafo. Diferentemente da câmera analógica, onde a imagem permanece armazenada no filme, em negativo, e para a fotografia ser vista é necessário que se revele o filme.

Com relação à finalidade as câmeras podem ser classificadas como amadoras, semi-profissionais ou profissionais. Nas amadoras não há controle algum dos componentes da câmera, todos os controles são automáticos.

Figura 141 - Exemplos de câmeras amadoras

Fonte: Internet

Nas câmeras semi-profissionais ocorre uma maior autonomia do fotógrafo sobre o equipamento, mas não total, dessa forma, há controle parcial da câmera. Uma característica importante é a objetiva fixa, diferentemente da profissional.

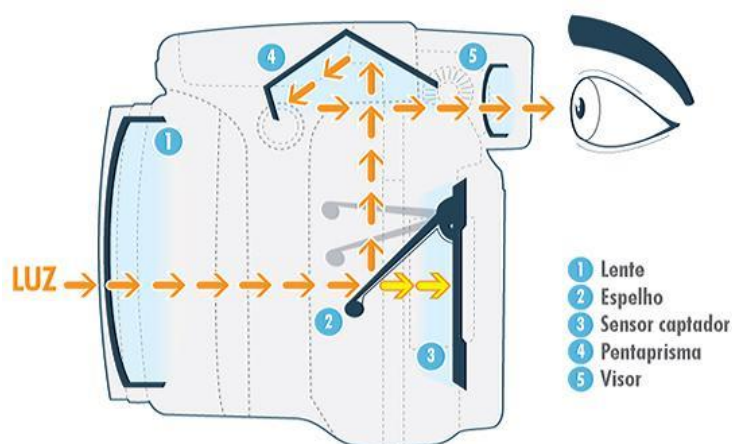
Um incômodo constantemente observado na captura das imagens por câmeras amadoras e algumas semi-profissionais é a distorção de posição entre a imagem vista pelo fotógrafo e a imagem realmente capturada, conhecido como “erro de paralaxe”. Esse erro deve ser corrigido manualmente, de forma que a imagem vista pelo fotógrafo deve ser a mesma que a câmera captura.

Figura 142 - Erro de paralaxe

Fonte: Internet

As câmeras profissionais como já foi citado dão total autonomia ao fotógrafo, de forma que há controle integral dos componentes da câmera, principalmente a velocidade do obturador, abertura do diafragma e controle da sensibilidade (ISO). Empregam lentes *Single Lens Reflex* (SLR), que reduzem o erro de paralaxe, aproximando a imagem vista pelo fotógrafo da imagem capturada pela câmera, por meio de espelhos.

Figura 143 - Espelhos que reduzem o erro de paralaxe nas câmeras digitais



Fonte: Internet

Outra característica peculiar das câmeras profissionais são as objetivas acopladas. Ou seja, a possibilidade de remover ou combinar diferentes tipos de objetivas dependendo das características da imagem a ser capturada pelo fotógrafo.

Figura 144 - Diferentes objetivas que podem ser acopladas nas câmeras profissionais



Fonte: Internet

3.2. Objetiva

A objetiva é a parte mais importante da máquina. Compõe-se basicamente do diafragma, do sistema de foco e de um conjunto de lentes, cuja composição determinará o resultado final. Deve proporcionar fotos com nitidez, sem distorções e com contraste adequado, absorvendo pouca quantidade de luz.

Uma objetiva é essencialmente o olho da câmera, e tem várias funções importantes na fotografia. A objetiva controla com precisão qual é a parte da imagem que irá aparecer perfeitamente nítida. Outra função importante de uma objetiva é o ângulo de visão, que determina qual parte do cenário que o fotógrafo tem à sua frente que será incluída na fotografia

Uma objetiva fotográfica não é uma única lente, mas sim uma série de lentes diferente, ou elementos, dispostos em grupos. Um dos grupos é móvel, para focar a objetiva.

Figura 145 - Conjunto de lentes que compõe uma objetiva



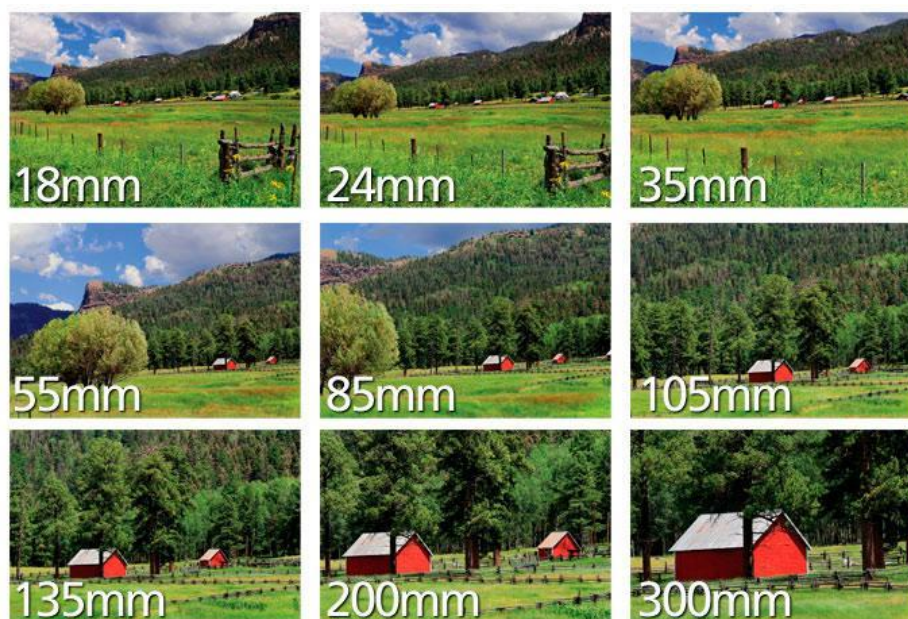
Fonte: Internet

Distância focal é uma característica fundamental da câmera fotográfica. Geralmente representada em milímetros (mm), é uma descrição básica de uma lente fotográfica. Não é a medida do real comprimento da lente, mas um cálculo de uma distância ótica do ponto onde os raios de luz convergem para formar uma imagem nítida de um objeto no sensor digital ou filme de 35 mm, no plano focal da câmera.

A distância focal nos diz o ângulo de visão (quanto da cena será capturado) e a ampliação (quão grandes os elementos individuais serão).

Quanto maior a distância focal, mais estreito o ângulo de visão e maior a ampliação.

Ao contrário, quanto menor a distância focal, maior será o ângulo de visão e menor a ampliação.

Figura 146 - Resultados das imagens obtidas das diferentes distâncias focais

Fonte: Internet

Tipos de objetivas

Normal - O nome de normal foi atribuído a essas objetivas em virtude do ângulo de visão coberto por elas, que aproxima muito a distância focal, entre 40 e 58 mm, do ângulo de visão humana, que é cerca de 50 graus. Além disso, o tamanho relativo dos objetos e até a área de nitidez efetiva se assemelha muito à visão humana. A distância focal normal é aproximadamente igual à diagonal do negativo da câmara. No caso da câmara de 35 mm, a diagonal do filme mede 43 mm aproximadamente. Portanto são consideradas normais as que têm distância focal entre 35 e 58 mm.

Figura 147 - Objetiva normal

Fonte: Internet

Angular – Todas as objetivas com distância focal inferior à da normal são consideradas grande-angulares, ou seja, nas câmeras de 35 mm a distância focal inferior a 40 mm. Essa denominação deve-se ao ângulo maior que as normais, podendo chegar a mais de 180 graus.

Olho de peixe (fish-eye 06-16 mm): exclusiva para fotos com grandes ângulos.

Figura 148 - Objetivas angulares – olho de peixe

Fonte: Internet

Figura 149 - Imagem obtida da objetiva angular



Fonte: Internet

Figura 150 - Imagem da esquerda foi obtida da objetiva normal, enquanto a imagem da direita foi obtida da objetiva angular



Fonte: Internet

Grande-angular (10-35 mm): propicia um maior campo de visão, sendo mais utilizada para fotografar fachadas e construções ou em ambientes pequenos.

Figura 151 - Objetivas angulares – grande-angular

Fonte: Internet

Figura 152 - Comparação de imagem obtida da objetiva normal (interna) e da objetiva angular (externa)

Fonte: Internet

Teleobjetiva – São objetivas com distância focal superior a das normais. Produzem imagens maiores e abrangem ângulos menores, de acordo com a distância focal. Para as câmaras de 35 mm as teles mais comuns são: 85 mm, 105 mm, 135 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 1.000 mm e 1.200 mm. A imagem ampliada de objetos distantes faz com que pareçam próximos.

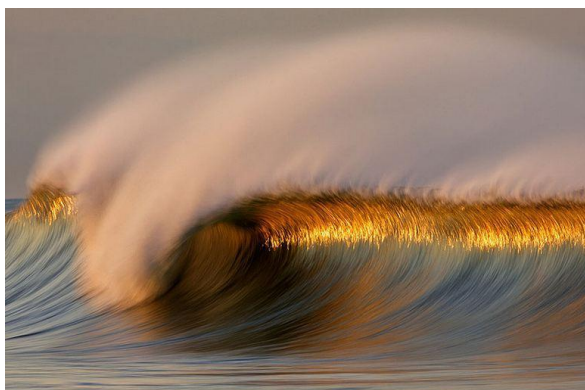
Figura 153 - Teleobjetivas**NIKON**
400mm f/2.8**CANON**
400mm f/2.8

Fonte: Internet

Figura 154 - Imagem obtida da teleobjetiva: ampliação e aproximação do objeto

Fonte: Internet

Figura 155 - Imagem obtida da teleobjetiva: ampliação e aproximação do objeto



Fonte: Internet

Objetivas Macro – As objetivas macro são utilizadas para fotografar objetos a uma pequena distância, como o detalhe de uma flor, ou fotos de insetos minúsculos. Sua utilização é muito específica. Essas lentes contêm mecanismos especiais para focalização próxima, de forma que tendem a ser mais pesadas do que as lentes convencionais.

Figura 156 - Objetivas macro



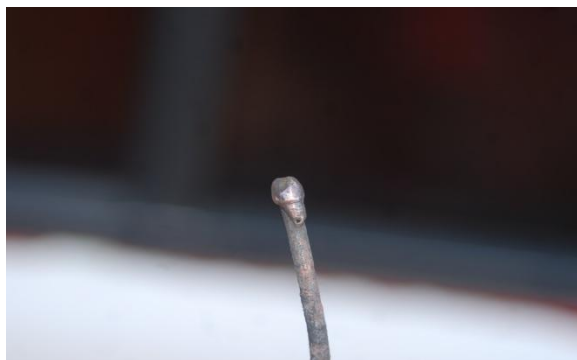
Fonte: Internet

Figura 157 - Imagem obtida da objetiva macro: objetos bem pequenos



Fonte: Internet

Figura 158 - Imagem obtida da objetiva macro: objetos pequenos (traço de fusão)



Fonte: Internet

Objetiva composta (zoom) é a reunião de mais de um tipo de objetiva em uma só lente.

Figura 159 - Diversas objetivas que podem compor a objetiva zoom



Fonte: Internet

As câmeras profissionais, como já foi citado, dão total autonomia ao fotógrafo, de forma que há controle integral dos componentes da câmera, principalmente a velocidade do obturador, abertura do diafragma e controle da sensibilidade (ISO).

3.3. Abertura do diafragma

Equipamento que controla a abertura da objetiva, definindo a quantidade de luz que é exposta no sensor. É o orifício por onde a luz entra na câmera. O diâmetro pode ser alterado para controlar a quantidade de luz que chega ao sensor de imagem. Uma menor quantidade de luz cria uma imagem mais escura e uma maior quantidade uma imagem mais clara.

Quanto maior é a abertura, maior a quantidade de luz que é captada pelo sensor e, quanto mais luz, mais clara fica a fotografia.

Aqui a regra do dobro também se aplica. $f/2.8$ deixa entrar 2 vezes mais luz que $f/4$ e, 64 vezes mais que $f/22$. A configuração da abertura também permite obter diferentes profundidades de campo, que é a zona de nitidez que se estende antes e depois do objeto fotografado

Figura 160 - Níveis de abertura do diafragma



Fonte: Internet

Figura 161 - Comparação em níveis de exposição do sensor de luz

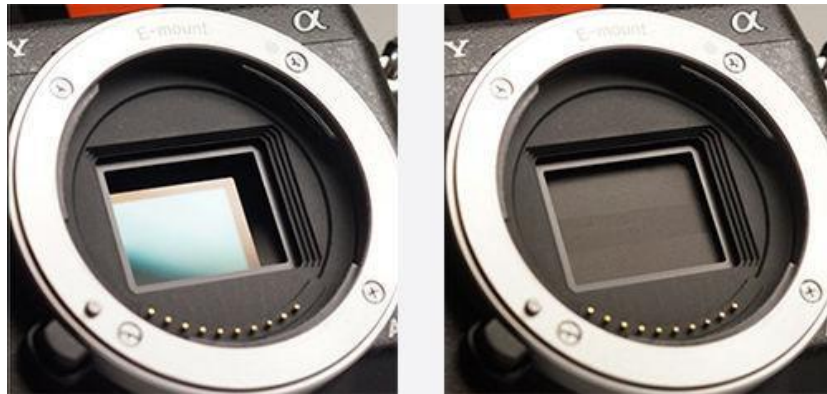
Fonte: Internet

3.4. Obturador

O obturador é como uma cortina na frente do sensor ou película que se abre e fecha para permitir que a luz toque o sensor. Obturador é o equipamento que determina quanto tempo a luz permanece sobre o sensor e essa velocidade pode ser aumentada ou diminuída dependendo das necessidades e, claro, do objetivo. Os ajustes do obturador são realizados através da regulação manual do tempo de exposição (ver Figura 163).

- **Velocidades com numeração alta** (tempo rápido de abertura) = Congelam a imagem em movimento
- **Velocidades com numeração baixa** (tempo lento de abertura) = Borram a imagem em movimento
- **Velocidade Parada** (tempo fixo de abertura)

Figura 162 - Obturador aberto (esquerda) e obturador fechado (direita)



Fonte: Internet

- **X (flash)** (numeração fica destacada)
 - 4 (4 s), 2 (2 s), 1 (1 s), 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000
 - B (pause) - Que mantém o obturador aberto enquanto o botão disparador estiver pressionado.

Figura 163 - Velocidades do obturador



© Charlotte Lowrie

Fonte: Internet

Figura 164 - Imagens de diferentes velocidades do obturador - aumentando da direita para a esquerda



Fonte: Internet

Figura 165 - Imagens de diferentes velocidades do obturador



Fonte: Internet

3.5.ISO

Iso é o equipamento que controla a qualidade em que é recebida a luz, ou seja, o quanto sensível fica o receptor ds luz – sensor. Calibra a leitura do fotômetro em função da sensibilidade da luz desejada. No controle do ISO, quanto maior for a numeração mais sensível, quanto menor for a numeração menos sensível;

Figura 166 - Imagens obtidas de diferentes controles de ISO

Fonte: Internet

3.6. Como obter uma boa fotografia

A seguir são apontadas algumas sugestões para auxiliar na obtenção das fotografias empregadas na perícia

1. Primeiro passo é balancear os três principais controles da câmera fotográfica: controle de diafragma, sensibilidade (ISO) e velocidade do obturador;

2. Posicionar a câmera de forma a empregar as duas mãos: uma segurando o corpo da câmera e a outra apoiando a objetiva. Seguem abaixo alguns exemplos

Figura 167 - Posicionamento da câmera: ambas as mãos devem ser empregadas – uma segura a câmera e a outra controlar a objetiva



Fonte: Internet

3. Ao fotografar pequenos objetos, empregar fundo branco a fim de destacar melhor a imagem, cotovelos e braços podem ser apoiados para o conforto do fotógrafo;

Figura 168 - Emprego de fundo branco para destacar o objeto alvo



Fonte: Internet

4. Caso necessário, utilizar um tripé ou qualquer outro recurso que facilite a captura da imagem;

Figura 169 – Tripé



Fonte: Internet

5. Regular o foco de acordo com o objeto a ser capturado;

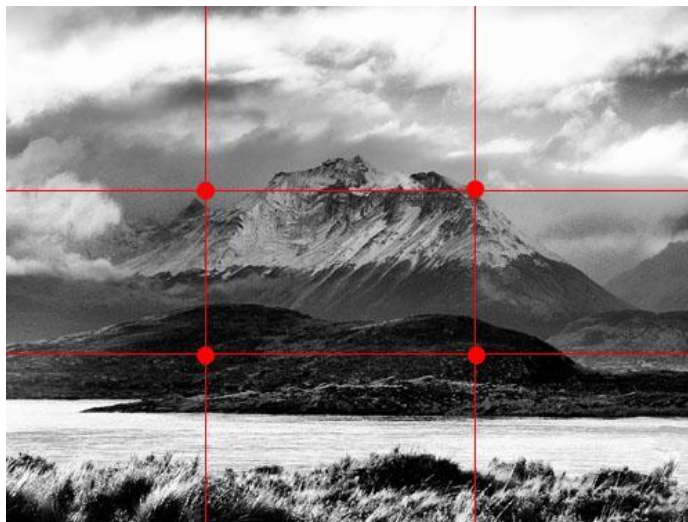
Figura 170 - Regulagem de foco



Fonte: Internet

6. Centralizar o item principal da foto – enquadramento;

Figura 171 - Enquadramento da montanha como objeto principal da imagem



Fonte: Internet

7. Fotografar de modo que a imagem contenha o máximo de informações possíveis sobre o objeto, desde que relevantes; assim sendo, não devem ser incluídas nas fotografias imagens de pessoas ou objetos não relacionados ao evento;

Figura 172 - Mudança de ângulo de visão para inserir a maior quantidade de informação do objeto



errado



certo

Fonte: Internet

8. Direcionar o objeto para ser capturado;

Figura 173 - Direcionamento do objeto na imagem



Fonte: Internet

9. Posicionar-se, sempre que possível, de costas para o sol, mas evitando não criar sombras na imagem;

Figura 174 - Sombra na imagem

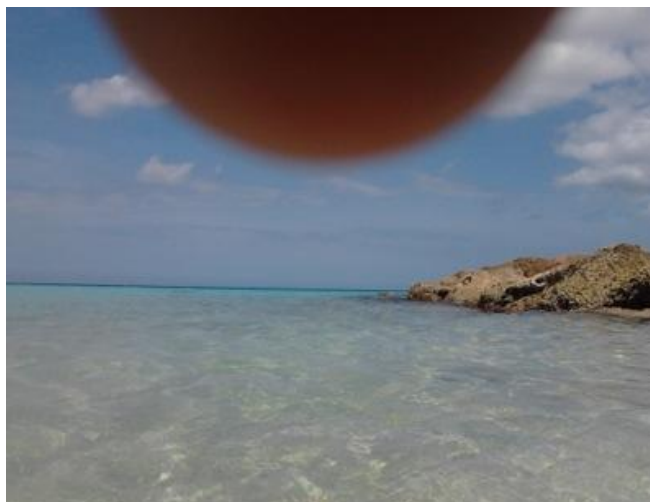


Fonte: Internet

10. Quando necessário o uso do flash, atentar para possíveis sombras nos objetos;

11. Por fim, ter o cuidado de não expor dedos ou outros anteparos na frente da objetiva.

Figura 175 - Dedo à frente da objetiva no momento da captura da imagem



Fonte: Internet