

2019

Manual de Perícia em Incêndios e Explosões II - Conhecimentos Específicos



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 ESPECÍFICOS**

**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 específicos / Diretoria de Investigação de Incêndio – Brasília : Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2019.

240 p. : il. color.

ISBN: 978-65-81664-01-5

1. Incêndios - investigação. 2. Prevenção de incêndios. 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 ESPECÍFICOS**

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 C. 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 Baigorri;
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. Jose Fernandes Motta Junior;
Ten-Cel. QOBM/Comb. Rogério Alves Dutra;
Ten-Cel. QOBM/Comb. Monica 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. Joao 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 - Disjuntor Termomagnético	19
Figura 2 - DPS	20
Figura 3 - DR.....	20
Figura 4 - Tipos de circuito elétrico de uma residência	21
Figura 5 - Fio ou fio sólido (cabo rígido)	24
Figura 6 - Cabo	25
Figura 7 - Cabo flexível.....	25
Figura 8 - Forno elétrico: equipamento elétrico resistivo	30
Figura 9 - Banco de capacitores: Equipamento elétrico capacitivo	30
Figura 10 - Bobinas: Equipamento elétrico indutivo.....	31
Figura 11 - Efeito Joule no filamento de uma lâmpada incandescente (aproximadamente 3.400°C)	32
Figura 12 - Temperatura de fusão de diversos materiais	34
Figura 13 - Degradação do material isolante e traço de fusão.....	38
Figura 14 - Material isolante do condutor manteve sua integridade	38
Figura 15 - Traço de fusão por curto-circuito.....	39
Figura 16 - Circuito de tomada com potencial para sobrecarga elétrica	40
Figura 17 - Circuito Elétrico de Tomadas.....	40
Figura 18 - Degradação do material isolante	42
Figura 19 - Degradação do condutor.....	42
Figura 20 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura	43
Figura 21 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura	43
Figura 22 - Traço de fusão de sobrecarga sem ruptura	44
Figura 23 - Perda de propriedade física do fio condutor.....	45
Figura 24 - Degradação do isolante do condutor elétrico.....	46
Figura 25 - Fenômeno elétrico de desconexão parcial	47
Figura 26 - Desconexão parcial em condutores flexíveis	48
Figura 27 - Traço de fusão de desconexão parcial	49
Figura 28 - Degradação do material isolante	50
Figura 29 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura	51

Figura 30 - Perda de propriedade física do fio condutor.....	52
Figura 31 - Perda de propriedade física do fio condutor.....	52
Figura 32 - Degradação do isolante do condutor elétrico.....	53
Figura 33 - Contato imperfeito em tomada	54
Figura 34 - Contato imperfeito em tomada	55
Figura 35 - Grafitização	56
Figura 36 - Descargas elétricas em Brasília	57
Figura 37 - Mapa de Aumento da Incidência de Raios no Brasil até o final do século XXI.....	58
Figura 38 - Efeito corona em uma rede de alta tensão	61
Figura 39 - Transformador de força.....	63
Figura 40 - O escapamento da viatura do CBMDF, motor diesel, chegou a 320°C, medido com termopares	72
Figura 41 - Esquema do sistema de alimentação do combustível até o bico injetor.....	74
Figura 42 - Fagulha ocorrida durante o abastecimento, provocada pelo contato da boca de entrada do combustível com a lataria do veículo.....	76
Figura 43 - Veículo convertido para GNV	77
Figura 44 - Aquecimento do vidro pode deixar fraturas paralelas na esquadria.	83
Figura 45 - Padrão de marcas de fratura no vidro por impacto mecânico: linhas radiais e concêntricas, a partir do ponto do impacto.....	84
Figura 46 - Marcas laterais no vidro provocadas pelo impacto.....	84
Figura 47 - Possível localização do VIN.....	91
Figura 48 - Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento do motor.....	93
Figura 49 - Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento de passageiros	94
Figura 50 - Principais tipos fisionômicos do Bioma Cerrado	105
Figura 51 - Mata ciliar	106
Figura 52 - Matas de galeria	107

Figura 53 - Matas secas	108
Figura 54 – Cerradão	109
Figura 55 - Cerrado denso	110
Figura 56 - Cerrado típico	111
Figura 57 - Cerrado ralo	112
Figura 58 - Cerrado rupestre	113
Figura 59 - Parque de cerrado, também chamado de campo de murunduns.....	114
Figura 60 - Palmeirais	115
Figura 61 - Veredas	116
Figura 62 - Esquema de campo sujo	117
Figura 63 - Esquema de campo limpo	117
Figura 64 - Esquema de campo rupestre	118
Figura 65 - Efeito dos ventos em montanhas	128
Figura 66 – Fatores que influenciam na intensidade do incêndio florestal	129
Figura 67 - Representação da área queimada, zona de confusão, ponto de origem e causa da ignição.....	132
Figura 68 - Partes principais de um incêndio florestal.....	135
Figura 69 - representação do túnel negro	137
Figura 70 - Continuidade de vegetação	140
Figura 71 - Descontinuidade de vegetação	140
Figura 72 - Nascimento da vegetação arbustiva	141
Figura 73 - Efeito da radiação em terreno plano.....	142
Figura 74 - Terreno em aclave, cuja propagação do incêndio segue a inclinação, intensificando o fenômeno da convecção.....	142
Figura 75 - A propagação do incêndio segue a inclinação do terreno, em declive, reduzindo os efeitos dos fenômenos da convecção e da radiação.....	143
Figura 76 - Queima de vegetação rasteira	147
Figura 77 – Detalhe do topo dos talos das gramíneas	147
Figura 78 - Gramíneas sujeitas ao fogo sem vento	148
Figura 79 – Queima de combustíveis protegidos	149

Figura 80 - Preservação de marcas devido a um objeto protetor	149
Figura 81 - Carbonização em forma de cava.....	150
Figura 82 - Queima morro acima ou num plano horizontal a favor do vento	151
Figura 83 - Linha de carbonização em uma situação real	152
Figura 84 - Queima morro abaixo ou num plano horizontal contra o vento .	153
Figura 85 – Influência da intensidade do vento na altura de carbonização	154
Figura 86 - Influência da distância da origem nas marcas de queima.....	154
Figura 87 - Carbonização em forma de escamas de jacaré	156
Figura 88 - "Congelamento" de galhos	156
Figura 89 - Manchas em objetos não combustíveis.....	157
Figura 90 - Marca de fuligem em cerca	158
Figura 91 - Exemplo de dispositivo de ação retardada	162
Figura 92 - Forma das partículas incandescentes, expelidas pelo escapamento de veículos pesados que utilizam motores de baixa compressão	168
Figura 93 - Imagem aérea de uma área queimada	171
Figura 94 - Entrada na área queimada, com o Norte Magnético marcado, de onde se inicia o zigue zague da última parte queimada até a zona de confusão	174
Figura 95 – Vista aérea da delimitação da área queimada.....	175
Figura 96 - Análise da zona de confusão, dividida em segmentos, com Norte Magnético marcado.....	177
Figura 97 – Exemplo de croqui	181
Figura 98 - Edição da Gazeta do Povo de 50 anos atrás relata a destruição causada pelas chamas	189
Figura 99 – Foto do incêndio	190
Figura 100 - cidades que mais sofreram com o incêndio de 1963	191
Figura 101 - Fissão Nuclear.....	194
Figura 102 - Fusão Nuclear.....	195
Figura 103 - Explosão Elétrica em poste de Alta Tensão	195
Figura 104 - Explosão em Reservatório de Compressor de Ar	196

Figura 105 - Explosão em Indústria Petroquímica	196
Figura 106 - Exemplo de comportamento de uma detonação do ponto de vista de um alvo	197
Figura 107 - Exemplos de comportamentos de deflagrações do ponto de vista de um alvo	198
Figura 108 - Características de uma explosão	201
Figura 109 – Curva típica da pressão x distância de uma explosão	201
Figura 110 - Caso genérico ilustrativo das fases de uma explosão e seus efeitos sobre estruturas alvos.	203
Figura 111 - Gráfico da pressão típica em função do tempo de uma onda de choque	204
Figura 112 - Esquema da propagação de uma onda de choque devido a uma explosão acima do nível do solo	206
Figura 113 - Interação de uma onda de choque atingindo uma superfície obliquamente	207
Figura 114 - Efeito da detonação no ar formando onda mach	208
Figura 115 - Interação de uma onda de choque com uma superfícies, para diferentes sentidos de propagação.....	209
Figura 116 - Representação esquemática do comportamento energético de uma reação exotérmica, indicando o complexo ativado e energia de ativação	213
Figura 117 - Classificação de Explosivos Químicos.....	215
Figura 118 - Esquema de um trem explosivo	216
Figura 119 - Sobrepressão e pressão dinâmica em função do tempo, passando por uma estrutura esférica	220
Figura 120 - Estrutura submetida a carregamento por difração	223
Figura 121 - Estrutura submetida a carregamento por difração	224
Figura 122 - Estrutura submetida a carregamento por arrasto.....	225
Figura 123 - Estimativa de danos de uma edificação	228
Figura 124 - Esquema de uma explosão interna resultando em colapso progressivo, tendo o comportamento da propagação da onda de choque em estruturas com diferentes geometrias.....	231

Figura 125 - Lesões em cavidades aéreas	236
Figura 126 - Distância de segurança contra os efeitos diretos da onda de choque sobre o homem.....	237
Figura 127 - Explosão em apartamento decorrente da impermeabilização do estofado	237
Figura 128 - Explosão em apartamento decorrente da aplicação de impermeabilizante no estofado	238

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de condução de corrente	23
Tabela 2 - Exemplos comuns da correta utilização de cabos elétricos de acordo com sua bitola	27
Tabela 3 - Propriedades dos gases combustíveis em veículos automotores ...	77
Tabela 4 - Temperatura de fusão de metais comumente encontrados em motores de veículos.....	78
Tabela 5 - Taxa de liberação de calor dos plásticos selecionados	79
Tabela 6 - Plásticos comumente encontrados em veículos automotores	80
Tabela 7 - Propriedades de líquidos inflamáveis	81
Tabela 8 - Pressão atmosférica	126
Tabela 9 - Sentido dos ventos.....	127
Tabela 10 - Exemplos de mecanismo de danos para o Efeito da Onda de Choque.....	226
Tabela 11 - Classes de dano causadas por explosões nas estruturas	228
Tabela 12 - Danos causados a edificações por diferentes sobrepressões incidentes	229
Tabela 13 - Relação de alguns danos causados diretamente aos seres humanos devido às explosões	235

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	1
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO.....	8
APRESENTAÇÃO	12
I. INCÊNDIO DE ORIGEM ELÉTRICA	14
1. PERÍCIA EM INCÊNDIO RELACIONADO À ELETRICIDADE	14
2. A ELETRICIDADE COMO CAUSA DE INCÊNDIOS.....	14
3. PERÍCIA EM INCÊNDIO RELACIONADO À ELETRICIDADE	16
4. DISPOSITIVOS ELÉTRICOS, CONDUTORES E EQUIPAMENTOS	18
4.1. Disjuntores.....	18
4.2. Condutores	23
4.3. Equipamentos.....	28
4.3.1. Resistivos	29
4.3.2. Capacitivos.....	30
4.3.3. Indutivos.....	31
5. FENÔMENOS ELÉTRICOS	31
5.1. Efeito Joule.....	32
5.2. Fusão e Traço de Fusão	33
5.3. Curto-circuito	36
5.3.1. Características.....	37
5.4. Sobrecarga elétrica	39
5.4.1. Características.....	41
5.5. Desconexão Parcial	46
5.5.1. Características.....	49
5.6. Contato imperfeito	53
5.6.1. Características.....	54
5.7. Grafitização	55
5.7.1. Características.....	56
5.8. Descarga atmosférica (Raio).....	57
5.8.1. Características do SPDA (CBMDF/DESEG)	59
6. EFEITO CORONA.....	61
7. MAGNETOSTRIÇÃO	62
8. REFERÊNCIAS	63
II. INCÊNDIO EM VEÍCULOS.....	65
1. ESTRUTURA BÁSICA DOS VEÍCULOS	65
2. INCÊNDIOS MAIS COMUNS EM VEÍCULOS.....	66
3. FONTES DE IGNIÇÃO	67
3.1. Chama aberta	68

3.2.	Fontes elétricas.....	68
3.3.	Superfícies aquecidas.....	71
3.4.	Faísca mecânica.....	73
3.5.	Cigarros e congêneres.....	73
4.	SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL.....	74
4.1.	Gás Natural Veicular (GNV).....	76
5.	COMPÓSITOS AUTOMOTIVOS.....	78
5.1.	Metais.....	78
5.2.	Polímeros.....	78
5.3.	Líquidos inflamáveis.....	80
5.4.	Estofamento.....	81
5.5.	Vidros.....	82
5.6.	Food Trucks.....	85
5.7.	Metodologia para análise dos materiais.....	85
6.	INDICADORES DE INCÊNDIO CRIMINOSO EM VEÍCULO.....	86
7.	TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO EM VEÍCULOS.....	90
7.1.	Inspeção e gravação das informações.....	90
7.2.	Cena do sinistro.....	91
7.3.	Examinando o veículo.....	92
	7.3.1. Estabelecer a zona de origem.....	92
	7.3.2. Examinar os sistemas do compartimento de origem.....	94
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

III. INCÊNDIO FLORESTAL..... 97

1.	INTRODUÇÃO.....	97
2.	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL GERAL E APLICADA.....	99
3.	HISTÓRIA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	102
4.	NOÇÕES DE ECOLOGIA.....	103
5.	NOÇÕES DE COMPORTAMENTO DO FOGO.....	119
5.1.	Fatores relacionados aos materiais combustíveis.....	121
5.2.	Fatores relacionados às condições meteorológicas.....	122
5.3.	Índices de Risco e Perigo de Incêndios Florestais.....	129
5.4.	Indicadores de queima.....	131
	5.4.1. Para se conhecer o incêndio florestal:.....	132
	5.4.2. Partes do Incêndio Florestal.....	134
	5.4.3. Conceitos relativos ao comportamento do incêndio florestal.....	137
	5.4.3.1. Combustível.....	138
	5.4.3.2. Topografia.....	141
	5.4.3.3. Barreiras.....	143
6.	INDICADORES DE PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO E DE FONTE DE IGNIÇÃO.....	144
6.1.	Indicadores de Propagação do Incêndio.....	144
	6.1.1. Indicador 1: talos de gramíneas.....	146
	6.1.2. Indicador 2: combustíveis protegidos.....	148
	6.1.3. Indicador 3: Carbonização em forma de cava.....	150
	6.1.4. Indicador 4: Linha de Carbonização.....	151

6.1.5. Indicador 5: Altura de Carbonização e Intensidade do Vento	153
6.1.6. Indicador 6: Distância da Origem e Intensidade do Fogo	154
6.1.7. Indicador 7: Forma de escamas de Jacaré.....	155
6.1.8. Indicador 8: Congelamento de Galhos ou "Freezing"	156
6.1.9. Indicador 9: Manchas em objetos não combustíveis.....	157
6.1.10. Indicador 10: Fuligem.....	157
6.2. Indicadores de Fonte de Ignição e Objeto Causador	159
6.2.1. Cercas elétricas	159
6.2.2. Cigarro	159
6.2.3. Combustão espontânea (ignição sem nenhuma fonte externa de calor)	160
6.2.4. Ação Pessoal realizada por crianças.....	160
6.2.5. Incêndios Intencionais (verificar se em metodologia, esse termo é utilizado)	160
6.2.6. Fogos de artifício e foguetes sinalizadores	163
6.2.7. Fogueira de acampamento	164
6.2.8. Linhas de transmissão de alta tensão	164
6.2.9. Projéteis luminosos e munição incendiária.....	166
6.2.10. Queimadas agrícolas.....	166
6.2.11. Raio	167
6.2.12. Soldas.....	167
6.2.13. Veículos pesados.....	167
6.2.14. Vidro, material refletivo e espelho	168
7. CAUSAS DE INCÊNDIO FLORESTAL	169
8. METODOLOGIA E PRÁTICA PARA INVESTIGAÇÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	170
8.1. Entrada na área queimada.....	170
8.2. Análise da zona de confusão.....	175
8.3. Equipamentos.....	178
8.4. Fotografia.....	179
8.5. Croqui e memorial descritivo	180
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182
ANEXO 1	186
ANEXO 2.....	188
ANEXO 3 - EXTRATO DE INFORMAÇÕES SOBRE O EVENTO "PARANÁ EM FLAGELO"	189

IV. EXPLOSÕES 194

1. INTRODUÇÃO.....	194
1.1. Conceitos básicos de explosões	194
1.2. Efeitos primários	199
1.2.1. Efeito térmico.....	199
1.2.2. Sopros	200
1.2.3. Fragmentação	200
1.2.4. Ondas de pressão explosiva	200

1.3.	Fundamentos de uma onda de choque	203
1.3.1.	Conceitos básicos dos efeitos na reflexão das ondas de choque	205
1.3.2.	Parâmetros da onda de choque	209
2.	EXPLOSIVOS QUÍMICOS.....	211
2.1.	Complexo ativado e energia de ativação.....	212
2.2.	Classificação dos Explosivos Químicos.....	214
2.3.	Quanto à velocidade de decomposição	215
2.4.	Energia liberada da detonação de explosivos sólidos	216
3.	EFEITOS DA DETONAÇÃO SOBRE AS ESTRUTURAS.....	216
3.1.	Interação da onda de choque com a estrutura	219
4.	DISTÂNCIA VERSUS QUANTIDADE DE EXPLOSIVO	220
5.	FORÇA RESULTANTE SOBRE A ESTRUTURA	221
5.1.	Carregamento por difração	221
5.2.	Carregamento por arrasto	224
6.	DANOS A UMA EDIFICAÇÃO	226
7.	EXPLOSÕES INTERNAS E EXTERNAS	229
8.	EFEITOS DA DETONAÇÃO SOBRE O SER HUMANO.....	234
8.1.	Distância de segurança	236
9.	REFERÊNCIAS	238

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.

Nessa segunda parte, são abordados os capítulos de conhecimentos específicos, referentes aos tipos de incêndios mais comuns periciados: incêndios de origem elétrica, incêndios em veículos, incêndios florestais e explosões. Em cada um deles, são delineadas as principais características de cada evento, os cuidados necessários, os vestígios existentes e correlação com o comportamento do incêndio.

O capítulo sobre incêndio de origem elétrica apresenta os conhecimentos básicos sobre eletricidade, dispositivos e os fenômenos elétricos e a importância para a investigação de incêndio, permitindo que o perito possa identificar as causas dos incêndios relacionados com fenômenos elétricos.

O capítulo que trata de incêndio em veículo visa orientar os peritos em incêndios e explosões sobre as peculiaridades da investigação

dos incêndios em veículos, apresentando os componentes e sistemas, bem como as fontes de ignição específicas.

O capítulo sobre incêndio florestal se busca mostrar o comportamento do fogo em incêndios florestais e fatores que o influenciam e os indicadores de propagação do fogo e de fontes de ignição. Este capítulo tem grande importância na medida em que ocorrem no Distrito Federal, em especial na época de estiagem, um grande número de incêndios florestais.

Já o capítulo sobre Explosões trata dos conceitos básicos, dos tipos e dos efeitos sobre as estruturas e o ser humano, dos conhecimentos que os peritos devem dispor para realizar uma investigação de qualidade. Alguns assuntos sobre explosão também podem ser encontrados no Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF, em especial nos capítulos 2 e 6 do Módulo 1 – Comportamento do Fogo.

Brasília-DF, 25 de outubro de 2019.

I. INCÊNDIO DE ORIGEM ELÉTRICA

1. PERÍCIA EM INCÊNDIO RELACIONADO À ELETRICIDADE

Considerando que muitos incêndios têm sua causa relacionada com eletricidade, buscou-se apresentar neste capítulo do manual algumas técnicas e conhecimentos periciais necessários para que o perito em incêndio e explosões consiga conjecturar, identificar e qualificar as possíveis causas do incêndio relacionado com fenômenos elétricos e efeito joule, quando originado, de alguma forma, por dispositivo elétrico conectado a circuito sujeito à passagem de corrente elétrica e aos seus efeitos.

2. A ELETRICIDADE COMO CAUSA DE INCÊNDIOS

O uso contínuo da energia elétrica faz parte do planejamento estratégico para desenvolvimento de todos os países, pois seu emprego possibilita desde o funcionamento dos motores das indústrias até os sistemas de telecomunicações e informática mais complexos e modernos já criados, contribuindo decisivamente para o aumento da qualidade de vida da população e para o desenvolvimento de toda sociedade. Sabe-se que o aumento das aplicações da eletricidade no dia a dia é o principal agente causador de diversos registros de incêndios. Esse fato levou ao estabelecimento de códigos que definiram regras para a execução das instalações elétricas, visando a segurança de cada pessoa e também de seus bens patrimoniais.

A linha de pensamento adotada por Estellito Rangel Junior, no artigo intitulado "A eletricidade como fator gerador de incêndios", acredita que os incêndios devidos à eletricidade são, na maioria dos sinistros, originados por sobreaquecimento elétrico da fiação predial decorrente dos

fenômenos elétricos, que pode tanto comburir o revestimento plástico dos fios (isolação) quanto os materiais que estiverem próximos, como tecidos, plásticos e papeis, dando início ao incêndio.

Esse sobreaquecimento na fiação predial surge como consequência de alguma irregularidade ou anormalidade na instalação elétrica, seja ela um subdimensionamento dos condutores que pode ter sido originado em projeto inadequado, seja ela devido ao mau uso das instalações ou dispositivos elétricos por parte dos próprios consumidores.

As Normas Brasileiras (NBRs) são os instrumentos legais que advertem e orientam os profissionais do ramo da eletricidade sobre as normas básicas de instalações elétricas no intuito de garantir um padrão de qualidade mínima para que instalações não ofereçam riscos elétricos aos seres humanos, às edificações, aos animais e aos bens materiais. As NBRs são aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e é esta quem disponibiliza, por exemplo, a NBR-5410:2004, atualizada conforme versão corrigida 2008, que estabelece as condições que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão (até 1.000 Volts em corrente alternada), a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

Dessa forma, a NBR-5410:2004 é a norma que estipula as condições mínimas para o funcionamento usual e seguro das instalações elétricas de baixa tensão em tensão alternada e 1500V em tensão contínua. Essa norma é aplicada como parâmetro principalmente em instalações prediais, públicas e comerciais.

Para o perito em incêndio e explosões, a NBR 5410:2004 funciona como um guia prático de incêndios relacionados com a eletricidade, versando sobre o que se deve ou não fazer em uma instalação elétrica de baixa tensão. Essas informações, aliadas à expertise do perito, são essenciais para o deslinde das causas de incêndio relacionadas com eletricidade.

Cabe ressaltar, no entanto, que a norma NBR 5410:2004 fornece apenas as orientações necessárias, para fins de segurança das instalações e usuários, aos profissionais de eletricidade. Portanto, essa norma possui o caráter orientador, ou seja, na execução de projetos de eletricidade a norma não é aplicada por não ter força de lei.

No Brasil não existem mecanismos que imponham o uso de normas técnicas, salvo nos casos expressos por lei. Assim sendo, cabe às Normas Técnicas e a outros documentos no âmbito do Executivo Estadual, como os códigos de obras, suprir a ausência de lei geral. Ocorre que, a falta de regulação genérica cria um vazio que não é completamente preenchido pela legislação infraconstitucional, criando assim perigosas lacunas.

Nesse enfoque, compete ao perito em incêndio e explosões verificar os pontos de divergência e de vazio que são gerados pelo confronto de uma norma de orientação (NBR 5410:2004) e uma norma impositiva (por exemplo, Norma Técnica editada pelo CBMDF), com vistas a retroalimentar o sistema de segurança contra incêndio, tanto interna como externa *corporis*, bem como garantir a segurança necessária para a sociedade, evitando assim situações de risco iminente e perdas humanas e materiais significativas.

3. PERÍCIA EM INCÊNDIO RELACIONADO À ELETRICIDADE

O passo inicial da investigação sobre incêndio relacionado à eletricidade consiste em verificar, *in loco*, as possíveis causas elétricas que deram origem ao incêndio. A verificação minuciosa das condições de segurança elétrica do dispositivo elétrico, supostamente, tido como causador do incêndio, torna-se o trabalho precípua do perito em incêndio e explosões.

O conceito de fenômeno elétrico é pré-requisito indispensável à formação para o profissional que realizará a perícia técnica de sinistros envolvendo o uso da eletricidade. O conhecimento aprofundado de tais mecanismos em nível técnico pericial fornecerá uma visão crítica diferenciada da atividade pericial executada pelos peritos em incêndio e explosões do CBMDF.

Sabe-se que foi a investigação sobre as causas de incêndios que motivou o estudo mais aprofundado dos fenômenos elétricos por parte da DINVI, a fim de que seus peritos continuem desenvolvendo, com excelência, as investigações periciais relacionadas ao uso da eletricidade.

Com vistas a subsidiar a coleta de informações sobre uma perícia em incêndio relacionado com a eletricidade, o perito deve obedecer ao Procedimento Operacional Padrão (POP) de incêndio relacionado com a eletricidade, estabelecido pela DINVII, a saber:

- Realizar uma inspeção visual no equipamento elétrico sinistrado.
- Providenciar o registro fotográfico do equipamento elétrico sinistrado e outros dispositivos conectados a ele.
- Identificar e registrar as informações contidas na placa de identificação elétrica (ou informação similar) do equipamento sinistrado;
- Fotografar ou tirar cópia da ficha de manutenção do equipamento, da nota fiscal do equipamento e do esquema elétrico do equipamento, caso disponíveis;
- Caso o equipamento sinistrado disponha de manual do fabricante, identificar e registrar a rede elétrica de alimentação do equipamento elétrico sinistrado (rede elétrica: monofásica, bifásica ou trifásica); as informações elétricas possíveis do equipamento (por exemplo, tensão elétrica, corrente elétrica, potência elétrica, resistência

elétrica e outras constantes no corpo do equipamento); a condição de todos os dispositivos elétricos e dispositivos de proteção (fusível, disjuntor, relé térmico, disjuntor diferencial residual, relé falta de fase, supressor de surto, chave contatora, etc) localizados na zona de origem do incêndio ou dano elétrico, ou relacionados com a zona de origem ou foco inicial; e as principais características de funcionamento do circuito de comando e do circuito de força;

- O perito em incêndios e explosões deve coletar e registrar informações de populares ou testemunhas sobre o momento em que o incêndio ou o dano elétrico foi verificado; informações de populares ou testemunhas sobre a rotina e o regime de funcionamento do equipamento elétrico em análise; informações peculiares sobre a utilização e manutenção do equipamento elétrico em análise pericial;

4. DISPOSITIVOS ELÉTRICOS, CONDUTORES E EQUIPAMENTOS

4.1. Disjuntores

Em instalações elétricas, torna-se fundamental utilizar dispositivos responsáveis pela segurança de pessoas e do patrimônio. Os disjuntores são componentes de segurança em um circuito elétrico que desempenham bem a função de preservar a integridade dos condutores e conseqüentemente de equipamentos, de locais e pessoas, pois estes equipamentos são projetados para atuar em situações de anormalidade na corrente elétrica, em um circuito qualquer.

Nessas circunstâncias, esses dispositivos de proteção detectam anomalias nos circuitos elétricos e, na maioria dos dispositivos possuem duas funções: térmica e magnética. Quando ocorre o aumento da corrente elétrica provocando uma elevação na temperatura em todo o condutor, o

dispositivo térmico percebe e desarma o disjuntor; já quando há um aumento na corrente elétrica, muito rápido a ponto de ainda não ter havido um aumento da temperatura, o dispositivo magnético desarmará o disjuntor. Ao conjugar as duas funções, têm-se os conhecidos disjuntores termomagnéticos. Desarmando o circuito a corrente cessará, protegendo tanto os condutores quanto equipamentos.

Figura 1 - Disjuntor Termomagnético



Fonte: Internet

Juntamente com o disjuntor termomagnético, devem ser utilizados também outros dispositivos de proteção visando aumentar a segurança da instalação elétrica nas situações de risco corriqueiras apresentadas pelos sistemas elétricos. Como exemplos, há o Dispositivo de Proteção contra Surtos de Tensão (DPS), que é um dispositivo responsável por detectar uma sobretensão transitória (surto de tensão) muito alta, fazendo com que o surto de tensão seja descarregado na terra de forma direta antes que possa atingir os equipamentos.

Figura 2 - DPS

Fonte: Internet

Já o Disjuntor Diferencial Residual (DDR) é um outro tipo de equipamento que atua numa instalação elétrica quando o valor da corrente de fuga, fluxo de corrente anormal ou indesejada, ultrapassa o valor nominal permitido pelo equipamento. Responsável pela proteção das pessoas contra choques elétricos.

Figura 3 - DR

Fonte: Internet

Para fins de laudo pericial, os peritos em incêndio e explosões devem fazer constar as condições dos dispositivos de segurança em uma instalação elétrica, uma vez que a NBR 5410:2004 recomenda que sejam utilizados os disjuntores de proteção em instalações elétricas prediais.

No circuito elétrico de uma residência, têm-se normalmente disjuntores de 10 A para os circuitos de iluminação e circuitos de tomadas de uso geral (TUG) e disjuntores de 16 A para os circuitos de tomadas de uso específico (TUE) e correntes elétricas superiores a 10 A.

Em um circuito elétrico de iluminação, o disjuntor raramente atuará por sobrecarga, visto que a soma das intensidades de corrente de todas as lâmpadas de um circuito normalmente não atinge o valor de 10 A. Porém, caso ocorra um curto-circuito ou uma fuga de corrente elétrica, provavelmente o disjuntor acionará, seccionando o circuito.

Situações como essas tendem a aprimorar a expertise do perito em incêndio e explosões ao verificar qual fenômeno elétrico está associado ao sinistro e a consequente identificação da causa de incêndio relacionado à eletricidade.

Figura 4 - Tipos de circuito elétrico de uma residência



Fonte: Internet

Um circuito elétrico de tomadas sofre, frequentemente, sobrecarga elétrica quando são conectados a ele muitos equipamentos elétricos. Nessa situação, a potência elétrica total associada ao circuito elétrico é maior do que a potência nominal de segurança que o próprio

circuito elétrico suporta. Nesse caso, a corrente elétrica que flui pelos condutores do circuito elétrico é maior do que a ampacidade dos fios condutores; gerando assim o fenômeno de sobrecarga elétrica.

Quando o circuito elétrico é devidamente projetado, uma sobrecarga elétrica não é suficiente para avariá-lo de forma definitiva, inutilizando-o. Já que os dispositivos de proteção do circuito e dos equipamentos elétricos devem atuar com o objetivo de seccionar o circuito, garantindo a segurança de pessoas e a integridade dos dispositivos elétricos e bens patrimoniais.

A NBR 5410:2004 orienta que as pessoas, bem como os equipamentos e materiais fixos adjacentes a componentes da instalação elétrica, devem ser protegidos contra os efeitos térmicos prejudiciais, que possam ser produzidos por esses componentes, tais como: risco de queimaduras, combustão ou degradação dos materiais e o comprometimento na segurança de funcionamento dos componentes instalados.

Ela também dispõe sobre orientações de proteção contra incêndio, ao afirmar que os componentes da instalação não devem representar perigo de incêndio para os materiais adjacentes. Para isso, devem ser observadas, além das prescrições dessa norma, as respectivas instruções dos fabricantes.

Assim sendo, cabe ao perito em incêndio e explosões verificar tanto se as regras previstas na NBR 5410:2004 estão sendo seguidas como se os equipamentos elétricos envolvidos no incêndio estão de acordo com as normas técnicas específicas para cada tipo de equipamento elétrico, buscando a conformidade dos dispositivos de proteção com as normas de referência.

4.2. Condutores

Fios e cabos são encontrados em diferentes bitolas, indicadas para funções específicas nas instalações elétricas. Uma instalação elétrica pode apresentar fios rígidos e cabos flexíveis, dependendo do tipo de projeto e instalação onde se pretende utilizar. Cada fio ou cabo possui uma seção nominal (área), expressa em milímetros quadrados, que está relacionada à resistência elétrica do condutor. Via de regra, quanto maior a necessidade de corrente em uma instalação elétrica, maior deve ser a seção nominal do condutor.

Em uma residência, a capacidade de condução elétrica do condutor dependerá do método de instalação do circuito (eletroduto aparente, embutido em alvenaria, entre outros); do tipo de isolamento, PVC ou EPR/XLPE; do número de condutores carregador no mesmo eletroduto; e do material, alumínio ou cobre. Podendo ser verificada a capacidade de condução de acordo com os parâmetros na Tabela 37 da NBR 5410:2004.

Segue abaixo uma tabela de exemplificação de um dos casos previstos na NBR 5410:2004, sobre a capacidade de corrente elétrica (A) em fios condutores.

Tabela 1 - Capacidade de condução de corrente

Seção Transversal (mm ²)	Corrente Elétrica (A)
0,5	8
0,75	10
1,0	12
1,5	15,5
2,5	21
4	28
6	36
10	50
16	68
25	89
35	111
50	134
70	171

Nota: Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em eletrodutos (até 3 condutores carregados), de acordo com a NBR-5410 (método B-1).

Fio ou fio sólido (cabo rígido) é um condutor maciço, formado por um único material, o cobre (Cu), o que faz dele um produto bem menos flexível. Para manutenção de sua vida útil, o cabo rígido não deve ser dobrado nem muito manuseado, pois esse condutor de cobre poderá sofrer o processo de desconexão parcial, perdendo suas propriedades e funcionalidades. Seu uso é mais comum em instalações mais simples, como sistemas de iluminação, tomadas simples e chuveiros elétricos, limitado à seção nominal máxima de 10 mm².

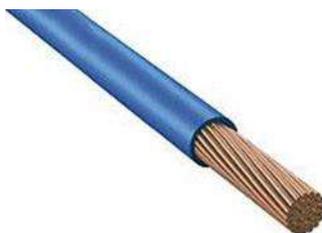
Figura 5 - Fio ou fio sólido (cabo rígido)



Fonte: Internet.

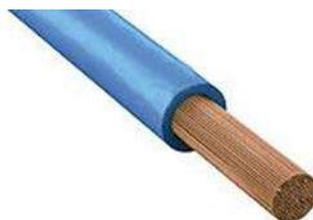
Denomina-se cabo todo condutor de energia elétrica formado por vários fios de cobre encordoados (torcidos). O objetivo desse encordoamento é facilitar o manuseio do produto, possibilitando flexibilidade e dobras sem danificar a estrutura. Normalmente, o cabo flexível é formado por:

- 7 fios (seção nominal de até 35 mm²);
- 19 fios (50 mm² até 95 mm²); e
- 37 fios (120 mm² em diante).

Figura 6 - Cabo

Fonte: Internet.

Já o cabo flexível é um condutor elétrico composto por um feixe de fios de cobre bem finos, também encordoados. É mais maleável que o cabo, por isso é o condutor mais utilizado em instalações elétricas, pelo fato de agilizar o processo de instalação.

Figura 7 - Cabo flexível

Fonte: Internet.

Para a construção de condutores elétricos, usa-se tanto o cobre como o alumínio. Entretanto, o cobre é o material mais utilizado na fabricação de fio elétrico e apresenta uma temperatura de fusão com aproximadamente 1.082 °C. Já o alumínio é o segundo material mais utilizado na fabricação de condutores elétricos e sofre fusão com temperaturas próximas a 660 °C.

O alumínio raramente resiste a um incêndio sem mudar seu estado físico, pelo fato de um incêndio poder atingir temperatura de 900 °C na fase desenvolvida. Essa característica do alumínio pode ser utilizada tanto na análise das causas que ocasionaram o incêndio como parâmetro para determinação de gradientes de temperatura em diversos locais do ambiente sinistrado, a depender do cenário de incêndio.

Segundo a NBR 5410:2004, no item 6.2.5, que trata da capacidade de condução de corrente nos fios, as prescrições da norma são destinadas a garantir uma vida satisfatória a condutores e isolações submetidos aos efeitos térmicos produzidos pela circulação de correntes equivalentes às suas capacidades de condução de corrente durante períodos prolongados em serviço normal. Assim sendo, é de suma importância que o perito em incêndio e explosões seja capaz de julgar, tecnicamente, se determinado condutor em um circuito elétrico foi ou não submetido a uma corrente elétrica superior à capacidade nominal.

Para a correta caracterização do condutor e ampacidade, o perito em incêndio e explosões pode se valer tanto da NBR 5410:2004 como de normas técnicas internacionais que versam sobre o tema condutores elétricos. O importante aqui é a correta realização do dimensionamento elétrico em um circuito sob análise, com vistas a subsidiar o laudo pericial no que tange ao enquadramento da situação fática com os parâmetros normativos.

A tabela a seguir ilustra alguns exemplos mais comuns da correta utilização em um circuito elétrico, de acordo com a bitola dos cabos elétricos.

Tabela 2 - Exemplos comuns da correta utilização de cabos elétricos de acordo com sua bitola

BITOLA (mm ²)	UTILIZAÇÃO
1,5	Circuitos de iluminação residencial simples.
2,5	Circuitos de iluminação e circuitos de tomadas simples (eletrodomésticos em geral).
4,0	Circuitos de tomadas simples, de torneiras e chuveiros elétricos e de ar condicionado de pequeno porte.
6,0	Circuitos de torneiras e chuveiros elétricos e de ar condicionado de pequeno porte.
10,0	Quadro de entrada de energia elétrica residencial.
16,0	Motobomba para piscinas e condomínios.
25,0	Forno elétrico de padaria.
35,0	Quadro de entrada de energia elétrica em prédios de até três andares.
50,0	Máquinas industriais de grande porte.
70,0	Quadro de entrada de energia em prédios altos.

NOTA: seções mínimas dos condutores, de acordo com a norma NRB 5410.

De acordo com a terminologia técnica, um condutor isolado é o fio ou cabo com apenas isolação. A cobertura é o invólucro externo, não metálico, sem função de isolação, mas apenas de proteção mecânica e/ou química.

Os fios condutores normalmente são revestidos por isolantes termoplásticos como o cloreto de polivinila (PVC). Existem também os isolantes termofixos como o etileno-propileno (EPR) e o polietileno reticulado (XLPE).

Normalmente as coberturas são em PVC porque apresentam boa resistência a agentes químicos e à água. Esse material possui boa característica de não propagação à chama, porém gera considerável quantidade de fumaça, gases tóxicos e corrosivos quando submetido ao fogo.

A NBR 5410:2004 define a temperatura em regime permanente como sendo a maior temperatura que a isolação pode atingir

continuamente em serviço normal. Para o PVC essa temperatura é de 70 °C. Já para o EPR e o XLPE essa temperatura é de 90 °C.

Já a temperatura em regime de sobrecarga é a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de sobrecarga que não deve ser superior a 100 horas durante 12 meses consecutivos e nem superar 500 horas durante a vida do cabo. Para o PVC essa temperatura é de 100 °C. Para o EPR e o XLPE é de 130 °C.

Por fim, a temperatura em regime de curto-circuito é a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de curto-circuito. Segundo a NBR 5410:2004, a duração desse regime não deve superar 5 segundos durante toda a vida do cabo. Para o PVC essa temperatura é de 160 °C e para o EPR e o XLPE é de 250 °C.

4.3. Equipamentos

Em uma rede elétrica, existem basicamente três tipos de cargas elétricas: as cargas resistivas, as indutivas e as capacitivas. Essa classificação está diretamente ligada ao tipo de energia consumida pelo aparelho, a forma de funcionamento e o tipo de potência que solicita da rede (potência ativa, potência reativa e potência aparente), pode ser definido pelo fator de potência.

Para entender os diversos tipos de cargas é preciso conhecer da lei de Faraday-Neumann, também chamada de Lei da Indução Magnética, e a diferença entre resistência e impedância. A Lei de Faraday-Neumann relaciona a força eletromotriz gerada com os terminais de um condutor e a variação do fluxo do campo magnético em função de um intervalo de tempo em que a variação acontece, sendo expressa matematicamente por:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

O sinal negativo da expressão é uma consequência da Lei de Lenz, que diz que a corrente induzida tem um sentido que gera o fluxo induzido oposto pelo fluxo indutor.

Impedância elétrica ou simplesmente impedância é a medida da capacidade de um circuito resistir ao fluxo de uma determinada corrente elétrica quando se aplica certa tensão elétrica nos terminais. Observando a Lei de Lenz pode-se concluir que em circuitos de corrente alternada, mesmo em regime permanente, a inversão da corrente ao longo do tempo (frequência) gera um fluxo que cria resistência extra à passagem da corrente.

É por esse motivo que se diz, em corrente alternada, os equipamentos que possuem bobinas e capacitores, além da resistência, a impedância não será a resistência pura do equipamento ela deverá considerar os elementos indutivos e capacitivos. O nome impedância é próprio para esses casos, logo o perito deve se referir à resistência como equipamentos resistivos e como impedância os equipamentos indutivos e/ou capacitivos.

Na corrente contínua (CC em português, DC em inglês) a impedância corresponde à resistência, pois não existe, em regime permanente, a variação de campo ao longo do tempo, logo a Lei de Lenz é zero, não havendo outras resistências no equipamento além da resistência pura, pois não existem resistências geradas dos campos de indutores e capacitores.

4.3.1. Resistivos

São aparelhos que transformam energia elétrica em térmica. Esses são denominados resistivos, por possuírem, geralmente, um resistor como um de seus componentes. São exemplos comuns de aparelhos resistivos: torradeira, chuveiro, chapinha de cabelo e fornos.

Figura 8 - Forno elétrico: equipamento elétrico resistivo

Fonte: Internet.

Resumidamente, conectar uma carga resistiva ao sistema significa que a corrente e a tensão mudarão de polaridade em fase, ou seja, sincronizadas, gerando um fator de potência unitário, em que a energia é transferida para a mesma direção através do sistema em cada ciclo. Ou seja, a corrente que circula por essa carga alterna-se e acompanha a tensão aplicada.

4.3.2. Capacitivos

As cargas capacitivas, utilizadas em banco de capacitores, lâmpadas fluorescentes e computadores, criam campos elétricos pelos capacitores existentes nessas cargas. Por isso, provoca atraso na tensão e também influenciam no fator de potência do circuito elétrico.

Figura 9 - Banco de capacitores: Equipamento elétrico capacitivo

Fonte: Internet.

4.3.3. Indutivos

As cargas indutivas, geralmente utilizadas em motores e transformadores, criam campos magnéticos nas bobinas existentes dentro desses equipamentos, logo, pela Lei de Lenz, surgem forças resistivas à criação desses campos, impedância, fato que defasa a corrente em relação a tensão, o que pode ser medido pelo fator de potência.

Figura 10 - Bobinas: Equipamento elétrico indutivo



Fonte: Internet.

Bobinas e indutores são componentes constituídos por espirais de fios esmaltados em formas que podem ou não ter um núcleo de material ferroso. Os núcleos de materiais ferrosos podem ser ferrite, ferro doce, pó de ferro ou outros.

A função de um indutor no circuito eletrônico é apresentar oposição a variações rápidas da corrente. A criação dos campos magnéticos no interior desses equipamentos necessita de potência, porém essa não realiza trabalho efetivamente, pois é utilizada apenas para criação do referido campo magnético, por isso essa potência é denominada de potência reativa.

5. FENÔMENOS ELÉTRICOS

As instalações elétricas podem ser geradoras de fonte de ignição por meio de suas conexões (contato imperfeito ou desconexão parcial), de faíscas (centelhamento), de arcos elétricos (arco voltaico), de curto-circuito, de sobrecarga e de outros fenômenos elétricos. Para o perito

em incêndio e explosões, é fundamental a habilidade de investigar e entender o fenômeno elétrico como possível causa de incêndio.

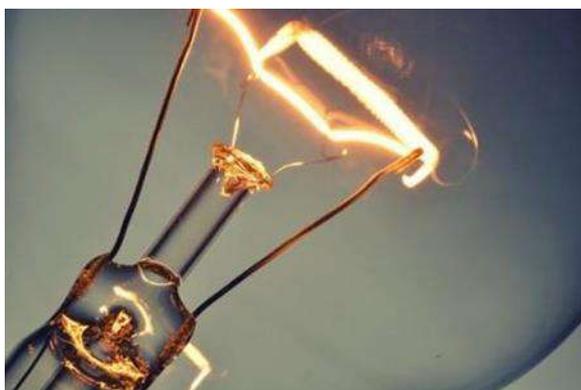
5.1. Efeito Joule

Define-se como efeito Joule a passagem da corrente elétrica por um condutor que provoca o aumento de temperatura e a consequente liberação de energia na forma de calor. Nesse efeito térmico, a energia elétrica se transforma em energia térmica, sendo diretamente proporcional à resistência elétrica do condutor, ao quadrado da intensidade da corrente que o percorre e ao tempo de passagem dessa corrente elétrica. Sendo a corrente elétrica que passa pelo condutor constante, efeito Joule é descrito pela seguinte relação matemática:

$$Q = R.i^2.t$$

Onde Q (J) é o calor gerado, i (A) é a corrente elétrica que percorre o condutor com determinada resistência (R). R (Ω) é a resistência elétrica do condutor e t (s) é o intervalo de tempo em que a corrente elétrica percorre o condutor. Em um filamento de tungstênio de uma lâmpada, por exemplo, temos a transformação de energia elétrica tanto na forma de calor (efeito joule) como na forma de luz (onda eletromagnética), observado na figura a seguir.

Figura 11 - Efeito Joule no filamento de uma lâmpada incandescente (aproximadamente 3.400°C)



Fonte: Internet.

Caso a corrente elétrica que atravessa a resistência R não seja constante e dependa do tempo, a equação do efeito Joule é descrita na seguinte relação:

$$Q = R \int_{t_0}^t i^2 dt$$

Para o perito em incêndio e explosões é importante saber que o efeito Joule é um fenômeno elétrico que demonstra como a energia elétrica pode ser dissipada na forma de calor, possibilitando, na maioria dos casos, a ocorrência dos demais fenômenos elétricos já mencionados anteriormente.

Como exemplo, nas conexões elétricas, o contato imperfeito e a desconexão parcial podem ser a causa de incêndios devido ao efeito Joule. Nessas situações, a temperatura nos condutores ou nos contatos elétricos aumenta gradativamente com o tempo em que a corrente elétrica passa por esses dispositivos.

À medida que aumenta o calor, a resistência elétrica do dispositivo também pode aumentar, causando a geração de calor adicional. As temperaturas alcançadas podem facilmente exceder a de ignição na maioria dos combustíveis. Fenômenos decorrentes do efeito Joule são, em sua grande maioria, a causa mais comum de incêndio relacionado com eletricidade.

5.2. Fusão e Traço de Fusão

Em Física, define-se fusão como a mudança do estado sólido para o estado líquido de uma substância qualquer, provocada por aquecimento. Ao receber calor, o sólido pode aumentar a temperatura até atingir o que se denomina "ponto de fusão" (PF), que é a temperatura na qual a substância no estado sólido inicia o processo de passagem para o estado líquido.

A tabela a seguir apresenta as temperaturas de fusão dos principais metais que são de interesse para uma perícia em incêndio.

Figura 12 - Temperatura de fusão de diversos materiais

Metal	Temperatura (°C)
Cobre (Cu)	1.083
Alumínio (Al)	659
Ferro (Fe)	1.535
Chumbo (Pb)	327
Zinco (Zn)	419
Aço Carbono (Fe e C)	1.410 – 1.540
Aço inoxidável (Fe e Cr)	1.510
Bronze (base: Cu e Sn)	927
Latão (base: Cu e Zn)	905 - 932
Ouro (Au)	1.063
Prata (Ag)	961

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/cref/amees/tabela.html>

Em um cenário de incêndio o perito em incêndio e explosões irá encontrar, provavelmente, metais que sofreram fusão pelas mais diversas formas. Isso ocorre pelo fato de, durante a fase desenvolvida do incêndio, as temperaturas atingirem valores acima de 800 °C, calor suficiente para que alguns metais sofram o processo de fusão.

Porém, nesse mesmo lugar, o perito em incêndio e explosões poderá encontrar condutores elétricos que sofreram o processo de mudança de estado, e, após a diminuição da temperatura, retornaram aos estados físicos originais. Nesse contexto, caberá a esse profissional identificar o tipo de fenômeno que ocasionou a mudança de estado físico desse material.

Nesse ponto, para o estudo correto dos fenômenos elétricos, faz-se necessário distinguir, de forma precisa, o conceito de fusão e o conceito de traço de fusão no âmbito da perícia em incêndio relacionado com a eletricidade.

O traço de fusão é definido como a mudança do estado físico (fusão) de um metal qualquer, provocada por um fenômeno elétrico, e posterior retorno ao estado original de antes do incêndio (solidificação). Assim, se materializa na mudança da forma física do metal como consequência da elevação abrupta da corrente elétrica que o atravessa, corrente essa responsável pela dissipação de grande quantidade de energia térmica capaz de derreter o metal, fazendo-o mudar de estado físico (fusão), sendo uma das mais importantes consequências dos fenômenos elétricos.

Pelos motivos apresentados sobre fenômenos elétricos, fica claro na necessidade da correta definição de traço de fusão para que o perito em incêndio e explosões saiba delimitar, com precisão, o fenômeno elétrico em análise no local de incêndio relacionado com a eletricidade.

Para definição da causa do incêndio, torna-se imperioso a distinção entre os conceitos de traço de fusão primário e traço de fusão secundário.

O traço de fusão primário é definido como o fenômeno elétrico que causou o incêndio. Já o traço de fusão secundário é definido como a consequência de um fenômeno elétrico causado pelo incêndio.

Assim, cabe ao perito em incêndio e explosões caracterizar e identificar o tipo de traço de fusão como consequência de um determinado fenômeno elétrico e delimitá-lo, com exatidão, a possível causa do incêndio (traço de fusão primário) ou como resultado dele (traço de fusão secundário).

5.3. Curto-circuito

Tendo como referência o manual da SCHNEIDER ELETRIC sobre “Os Efeitos dos Curtos-Circuitos”¹, o fenômeno elétrico curto-circuito pode ser definido como uma ligação de baixa impedância entre dois pontos a potenciais elétricos diferentes. Essa ligação de baixa impedância pode ser de dois tipos:

- 1) metálica, quando se diz que há um curto-circuito; ou
- 2) por um arco elétrico, que é a situação mais comum.

Durante o curto-circuito, com a elevação da corrente, surgem esforços mecânicos entre os condutores ou entre componentes dos equipamentos (são os chamados efeitos mecânicos do curto-circuito ou “chicotes”) e aquecimentos dos condutores ou das partes condutoras dos equipamentos (são os chamados efeitos térmicos do curto-circuito).

O curto-circuito monofásico, também conhecido por “curto-circuito fase-terra ou fase-neutro”, é causado normalmente por uma falha mecânica, como, por exemplo, a ruptura de condutores ou má isolamento. Já o curto-circuito trifásico acontece quando em um circuito elétrico existe mais de uma fase. Esse tipo de curto-circuito ocorre quando há um contato, devido a qualquer fator, entre as fases de um circuito elétrico.

Ainda segundo o manual da SCHNEIDER ELETRIC sobre “Os Efeitos dos Curtos-Circuitos”, os curtos-circuitos são causados normalmente por uma falha da isolamento sólida, líquida ou gasosa que sustenta a tensão entre condutores ou entre condutores e terra. A falha da isolamento pode ser motivada por:

- danos mecânicos - como exemplo, quebra de isoladores, quebra de suportes ou queda de poste;

¹ <https://www.docsity.com/pt/os-efeitos-dos-curto-circuitos/4722084/>

- uso abusivo - situação em que se exige de um equipamento a potência maior que a nominal, provocando uma deterioração da isolação, que estará submetida a uma temperatura mais alta do que a temperatura nominal de trabalho;
- umidade - alguns isolantes porosos (orgânicos e inorgânicos) apresentam uma redução rápida da rigidez quando absorvem umidade (é o caso do óleo, do papel, da fenolite, da porcelana porosa usada em baixa tensão e do papelão);
- descargas parciais - sob ação de um campo elétrico intenso, o material sofre gradativamente redução de rigidez dielétrica, ocorrendo sua perfuração;
- sobretensões - normalmente dois tipos de sobretensões podem levar a uma perfuração na isolação do material condutor:
 - as de manobra (ou internas), que ocorrem quando se efetua um desligamento (voluntário ou provocado) ou ligamento de um circuito; e
 - as atmosféricas que surgem nos condutores de um circuito (em baixa, média ou alta tensão) quando, por exemplo, um raio atinge as proximidades ou diretamente as linhas do circuito elétrico.

5.3.1. Características

Em testes realizados no Laboratório de Eletricidade (LABEL) da DINVI, ao longo do ano de 2016, gerou-se curtos-circuitos em fios condutores de 1,5 mm², submetidos à diferença de potencial de 220V.

Após os experimentos, as seguintes características desse fenômeno foram registradas, observadas, analisadas e descritas a fim de comparação com exames periciais:

1. A intensa dissipação de calor pelo material (efeito Joule) ocorre localmente no ponto de curto-circuito dos condutores.

Figura 13 - Degradação do material isolante e traço de fusão



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Em experimentos realizados no LABEL, a equipe de laboratório verificou no fenômeno elétrico de curto-circuito que a perda de isolação ou a deterioração do material isolante é, normalmente, ocasionada por fatores relacionados com a dissipação de energia no condutor elétrico devido ao efeito Joule ou à degradação do material isolante.

2. O material condutor e seu isolante mantêm as propriedades físicas ao longo da seção onde não ocorreu o curto-circuito.

Figura 14 - Material isolante do condutor manteve sua integridade



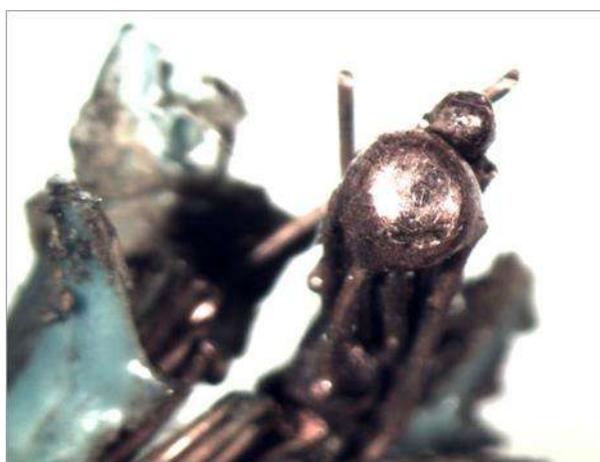
Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Exames laboratoriais mostraram que isso ocorre pelo fato da dissipação de calor ser intensa apenas no ponto de curto-circuito. Por esse

motivo, tanto o condutor elétrico, quanto o material isolante, mantém a integridade ao longo do fio condutor onde não ocorreu o curto-circuito.

3. Ocorre a formação de traço de fusão por curto-circuito no condutor elétrico (o formato mais comum do traço de fusão por curto-circuito é o de pérola, comumente chamada de pérola da fusão).

Figura 15 - Traço de fusão por curto-circuito



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Na literatura pericial, os traços de fusão por curto-circuito se apresentam normalmente como pontos diminutos detectados na fiação elétrica que curto-circuitou. As dimensões do traço de fusão dependem da quantidade de material condutor e da potência do circuito elétrico que entrou em curto-circuito. Em ensaios realizados no LABEL, verificou-se a formação de pérola de fusão no fenômeno elétrico de curto-circuito, entre a fase e o neutro, em circuito de alimentação alternada residencial de 220 V.

5.4. Sobrecarga elétrica

A sobrecarga elétrica pode ser definida como elevação da passagem de corrente elétrica em um circuito, em situação normal de funcionamento elétrico, com valor acima do máximo de corrente elétrica projetado para esse circuito.

Portanto, na sobrecarga elétrica a potência elétrica total conectada ao circuito elétrico é superior à potência elétrica total suportada por ele. Por consequência, a sobrecarga elétrica acarreta uma corrente elétrica maior do que a nominal projetada para o circuito.

Figura 16 - Circuito de tomada com potencial para sobrecarga elétrica



Fonte: internet

Espera-se que os fenômenos elétricos advindos da sobrecarga elétrica ocorram de maneira lenta e gradual (devido a inserção de mais equipamentos no circuito), visto ser essa a situação em que o circuito elétrico fica submetido a uma corrente elétrica com intensidade algumas vezes acima do valor nominal do circuito elétrico por um longo intervalo de tempo.

A tabela a seguir ilustra uma situação em que o circuito elétrico entra no estado de sobrecarga elétrica.

Figura 17 - Circuito Elétrico de Tomadas

Fio: 2,5 mm ² (21 A) DDP: 220 V Potência Máxima do Circuito: 4620 W		
Potência Instalada (W)	Corrente do Circuito (A)	Situação
1.000 W	4,5	NORMAL
3.000 W	13,7	NORMAL
5.000 W	22,7	SOBRECARGA

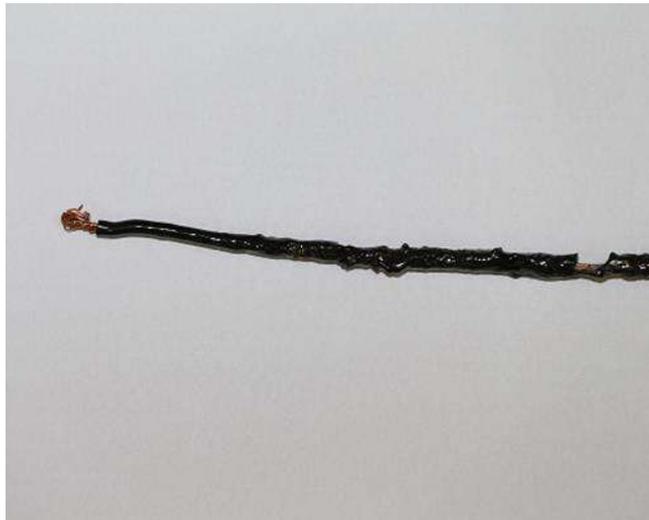
Portanto, na medida em que mais equipamentos elétricos são inseridos no circuito, maior será a potência elétrica total instalada. Consequentemente, maior será a corrente elétrica no circuito. Quando a corrente elétrica atingir um valor superior à corrente elétrica máxima suportada pelo condutor ou dispositivo elétrico, esse circuito ou equipamento estará em sobrecarga elétrica.

5.4.1. Características

Em testes realizados no Laboratório de Eletricidade (LABEL) da DINVI, ao longo do ano de 2016, correntes elétricas de 50, 75, 100 e 150 A passavam nos fios condutores de 1,5 mm², com 25 cm de comprimento.

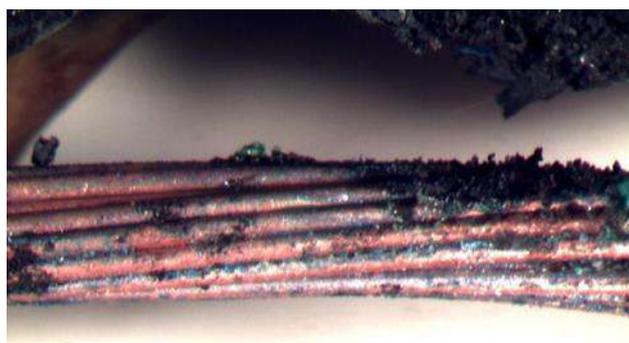
Após os experimentos, as seguintes características do fenômeno sobrecarga elétrica foram registradas, observadas, analisadas e descritas a fim de comparação com exames periciais.

1. A dissipação de calor pelo material (efeito Joule) ocorre de maneira isotrópica ao longo de uma seção do fio condutor. Isso se dá pelo fato de a corrente elétrica ser a mesma em todo o condutor. Essa situação ocasiona a degradação quase que uniforme tanto do condutor como do seu material isolante.

Figura 18 - Degradação do material isolante

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDf

Em testes realizados no LABEL, observou-se a degradação característica do material isolante (foto acima) que reveste o fio condutor devido a intensa dissipação de calor ocasionada pela sobrecarga elétrica no circuito. O fio condutor em questão foi submetido à passagem de corrente elétrica de 50 A, durante o tempo de 60 segundos, aproximadamente.

Figura 19 - Degradação do condutor

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDf

O material que compõe o fio condutor sofreu degradação caracterizada pela mudança de coloração. É provável que a resistência elétrica do fio condutor tenha sofrido diminuição devido à perda de propriedades físicas em consequência do fenômeno de sobrecarga elétrica;

porém, essa informação não se torna relevante para o perito em incêndio e explosões em um local de incêndio relacionado com a eletricidade.

2. A dissipação de calor no condutor gera temperatura suficiente para que ocorra a fusão (traço de fusão de sobrecarga). Podendo causar a ruptura do material condutor quando esse for submetido a corrente elétrica suficientemente alta.

Figura 20 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Figura 21 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Observa-se na fotografia acima a ruptura do fio condutor devido à intensa dissipação de calor ocasionada pela sobrecarga elétrica

no circuito. O fio condutor foi submetido à passagem de corrente elétrica de 150 A pelo tempo de 30 segundos, aproximadamente.

Em testes realizados no LABEL, com fios de 0,75 mm², 1,0 mm² e 1,5 mm², observou-se que o traço de fusão de sobrecarga ocorre normalmente em condutores elétricos com valores de correntes entre 4 e 5 vezes o valor da corrente elétrica suportada pelo condutor elétrico ($4.I_{\text{nominal}} < I_{\text{fusão}} < 5.I_{\text{nominal}}$). Portanto, as potências das cargas instaladas no circuito elétrico são essenciais para a determinação da corrente nominal e da corrente de curto-circuito que atravessará o condutor elétrico.

Figura 22 - Traço de fusão de sobrecarga sem ruptura



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Observa-se na figura acima o traço de fusão de sobrecarga, sem ruptura no fio condutor, devido à intensa dissipação em um ponto ao longo do condutor. Para que ocorra esse traço de fusão, a temperatura em um ponto do fio condutor deve atingir valores superiores a 1.080 °C em um fio de cobre.

O fio condutor foi submetido à passagem de corrente elétrica de 150 A pelo tempo de 30 segundos. Constatou-se também que o traço de fusão de sobrecarga sem ruptura pode acontecer em mais de um ponto no fio condutor com sobrecorrente elétrica.

3. O material condutor perde propriedades físicas (flexibilidade e resistência mecânica) ao longo do condutor com sobrecarga elétrica.

Figura 23 - Perda de propriedade física do fio condutor



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Observa-se na figura acima que a sobrecarga no fio condutor resultou na diminuição da flexibilidade do material, sendo facilmente quebrado quando dobrado. Por consequência, perdeu também resistência mecânica ao longo de toda estrutura, ao ser submetido à passagem de corrente elétrica de 150 A pelo tempo de 30 segundos, aproximadamente.

4. O isolante do material condutor se degrada de dentro para fora ao longo de uma seção do fio condutor. Essa característica é observada devido ao fato da dissipação de calor ocorrer de forma radial a partir do fio condutor.

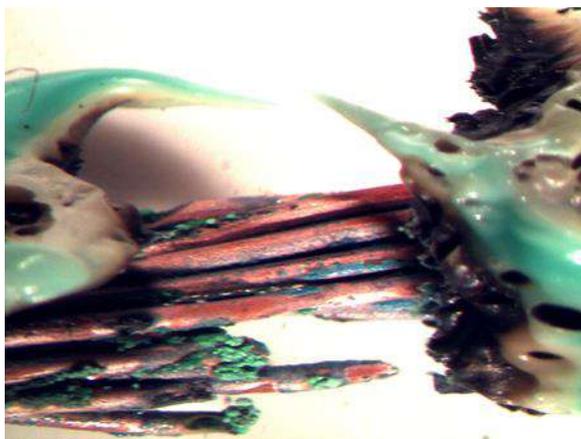
Figura 24 - Degradação do isolante do condutor elétrico

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDf

Em medições realizadas no LABEL, a temperatura de degradação do PVC em fios de 1,5 mm², submetido à passagem de corrente elétrica de 80 A, se deu a temperaturas entre 200 °C e 300 °C. Esse fato revela que, em uma sobrecarga elétrica, o fio condutor dissipa grande quantidade de calor ao longo de toda extensão. Esse fenômeno pode ser causa de incêndios visto que a dissipação de energia ocorre em todo o fio e não apenas em um ponto específico.

5.5. Desconexão Parcial

A desconexão parcial é definida como a degradação gradual de um material condutor, por meio de processo mecânico ou químico, ocasionando a diminuição da seção transversal do condutor em um ponto do circuito, a diminuição de sua ampacidade e a liberação de calor por meio do efeito Joule.

Figura 25 - Fenômeno elétrico de desconexão parcial

Fonte: LABEL.

Normalmente a desconexão parcial provoca centelhamento e liberação de energia térmica, responsável pelos traços de fusão pontuais observados em condutores flexíveis. Quando a desconexão parcial ocorre próximo de materiais combustíveis (que funciona como agente acelerante) existe a possibilidade real de se iniciar um incêndio.

A desconexão parcial pode ser ocasionada por fatores mecânicos ou químicos. O isolamento dos condutores é composto de um polímero, normalmente o PVC, que não é projetado para sofrer determinadas solicitações mecânicas. Como exemplo, esforços mecânicos, impactos no fio por objetos cortantes, excesso de movimento no condutor, entre outros fatores de ordem física, podem provocar a degradação parcial ou total no condutor.

Nesse fenômeno elétrico, quando as partes seccionadas se tocam, poderá ocorrer a formação de diminutos traços de fusão de desconexão parcial devido ao grande aumento da corrente elétrica na região da desconexão, que ocasiona:

- 1) possível formação de arco elétrico (ruptura da rigidez dielétrica do ar);
- 2) liberação de grande quantidade de calor (efeito Joule);

- 3) fusão do meio condutor (traço de fusão de desconexão parcial).

Ainda que o condutor não esteja totalmente seccionado, a intensidade de corrente elétrica pode provocar a formação de traços de fusão de desconexão parcial. Nesse caso, a confirmação da ocorrência do fenômeno de desconexão parcial como traço de fusão primário ou secundário deverá ser verificada e caracterizada pelo perito em incêndio e explosões por meio da correlação entre os dados obtidos na perícia *in loco* e os resultados do exame pericial realizado no LABEL.

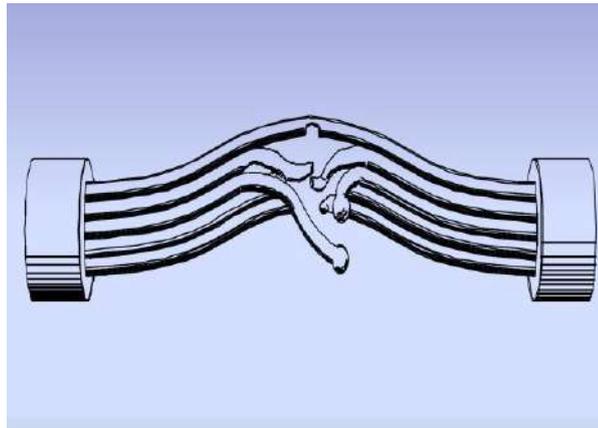
Figura 26 - Desconexão parcial em condutores flexíveis



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF.

O perito em incêndio e explosões deve observar e caracterizar as diferenças entre traços de fusão ocasionados por desconexão parcial e por curto-circuito. Em um cabo flexível, a desconexão parcial poderá formar mais de uma pérola de fusão (figura mostrada acima) que apresenta dimensões muito menores que a pérola de fusão gerada de um curto-circuito.

Em um curto-circuito com cabo flexível, o traço de fusão, via de regra, será identificado por uma pérola de fusão em cada extremidade do fio condutor, que se apresenta com as mesmas características que qualquer outro traço de fusão oriundo do fenômeno elétrico.

Figura 27 - Traço de fusão de desconexão parcial

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF.

5.5.1. Características

Em testes realizados no Laboratório de Eletricidade (LABEL) da DINVI, ao longo do ano de 2016, correntes elétricas de 70, 80 e 95 A passavam nos fios condutores de 1,5 e 2,5 mm², com 25 cm de comprimento.

Após os experimentos, as seguintes características do fenômeno desconexão parcial foram registradas, observadas, analisadas e descritas a fim de comparação com exames periciais.

1. A dissipação de calor no material ocorre, com maior intensidade, no ponto de desconexão parcial. Isso se dá pelo fato de a corrente elétrica nesse ponto gerar maior liberação de calor por meio do efeito Joule. Essa situação ocasiona a degradação tanto do condutor como do material isolante.

Figura 28 - Degradação do material isolante

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Observa-se na fotografia acima a degradação pontual, característica do material isolante que reveste o fio condutor, devido à intensa dissipação de calor ocasionada pela desconexão parcial. O fio condutor foi submetido à passagem de corrente elétrica de 50 A pelo tempo de 120 segundos.

2. A dissipação de calor no condutor gera temperatura suficiente para que ocorra a fusão do material condutor (traço de fusão de desconexão parcial). Esse traço de fusão não ocorre ao longo do condutor, mas apenas no ponto de desconexão parcial. Esse fenômeno pode causar a ruptura do material condutor quando ele for submetido à corrente elétrica suficientemente alta.

Figura 29 - Traço de fusão de sobrecarga com ruptura

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

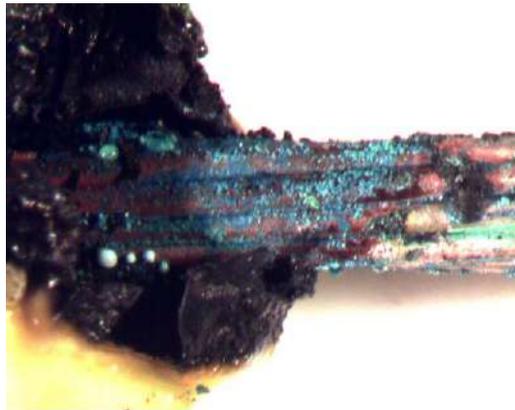
Observa-se na fotografia acima a ruptura do fio condutor devido à intensa dissipação de calor. O fio condutor foi submetido à passagem de corrente elétrica de 90 A pelo tempo de 120 segundos, aproximadamente.

Em testes realizados no LABEL, observou-se que, para a ocorrência do traço de fusão de desconexão parcial, depende-se tanto da corrente elétrica no fio condutor quanto da degradação do material que ocasiona a desconexão.

Caso a corrente elétrica aumente por um motivo qualquer, o fenômeno de desconexão parcial pode ocorrer mais rapidamente pelo fato dessa corrente atravessar uma seção transversal do condutor menor (menor bitola do fio condutor tem como consequência menor ampacidade).

Caso a seção transversal do fio diminua por motivo qualquer, sua ampacidade também diminuirá, ocasionando igualmente a desconexão parcial como fenômeno elétrico.

3. O material condutor perde propriedades físicas (flexibilidade e resistência mecânica) exatamente no ponto de desconexão parcial.

Figura 30 - Perda de propriedade física do fio condutor

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Figura 31 - Perda de propriedade física do fio condutor

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Observa-se na fotografia acima que a desconexão parcial em um ponto do fio condutor resultou na diminuição da flexibilidade do material apenas naquele ponto, sendo facilmente quebrável quando dobrado.

O restante do condutor manteve as propriedades físicas essenciais (flexibilidade e resistência elétrica e mecânica). O fio condutor foi submetido à passagem de corrente elétrica de 95 A pelo tempo de 90 segundos, aproximadamente.

4. O isolante do material condutor se degrada de dentro para fora exatamente no ponto de desconexão parcial. Essa característica é observada devido ao fato da dissipação de

calor ocorrer de maneira mais intensa no ponto de desconexão parcial.

Figura 32 - Degradação do isolante do condutor elétrico



Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF

Em medições realizadas no LABEL, a temperatura de degradação do PVC em fios de 1,5 mm², submetido à passagem de corrente elétrica de 80A, se deu a partir de valores entre 200 °C e 300 °C. Essa temperatura gera um gradiente de temperatura responsável pela dissipação de calor que degrada o material condutor de dentro para fora.

5.6. Contato imperfeito

Os conectores elétricos são compostos por partes móveis conectáveis. Essa conexão entre os conectores deve ocorrer de maneira plena, com vistas a permitir que as conexões funcionem com a maior eficiência elétrica possível.

O contato imperfeito é o fenômeno elétrico resultante da má conexão mecânica entre partes condutoras de eletricidade gerando uma maior resistência entre os contatos. Essa má conexão mecânica causa pequenos arcos elétricos, que são responsáveis pela degradação química

do condutor e conseqüente reação química responsável pela formação de óxido cuproso (Cu_2O) na região de contato imperfeito dos conectores.

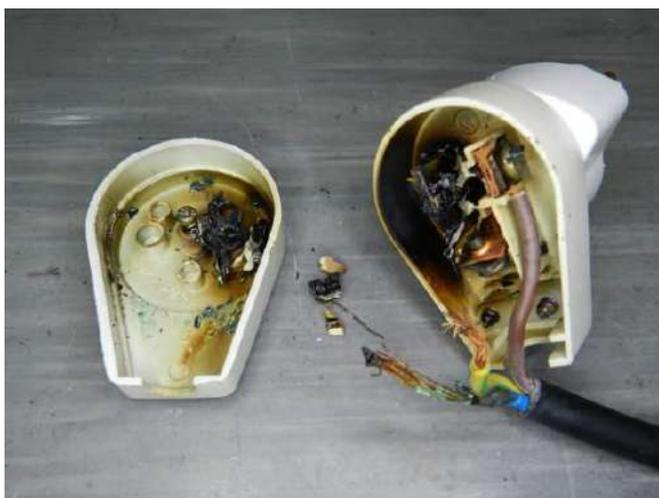
A resistência elétrica inerente às conexões elétricas entre os materiais utilizados nos sistemas elétricos é chamada de resistência de contato, devendo ser a mínima possível para evitar o aquecimento da conexão.

5.6.1. Características

Em testes realizados no Laboratório de Eletricidade (LABEL) da DINVI, ao longo do ano de 2016, alguns equipamentos foram submetidos à situação de contato imperfeito. Após experimentos, as seguintes características do fenômeno foram registradas, observadas, analisadas e descritas a fim de comparação com exames periciais.

1. A dissipação de energia térmica no condutor (arco elétrico) pode provocar grande elevação da temperatura no local de contato imperfeito.

Figura 33 - Contato imperfeito em tomada



Fonte: internet

No local de contato imperfeito, devido à formação de arco elétrico, há o aumento da temperatura local e, conseqüentemente, a formação do filme de oxidação sobre o material condutor. Na literatura, um

arco elétrico é o resultado da ruptura da rigidez dielétrica de um gás a qual produz uma descarga de plasma (gás ionizado em alta temperatura).

2. A dissipação de energia térmica provoca degradação pontual no ponto de contato imperfeito, caracterizando a formação de filme de oxidação na lâmina de cobre.

Figura 34 - Contato imperfeito em tomada



Fonte: Internet

5.7. Grafitação

Define-se grafitação como o processo do qual um material não condutor torna-se meio condutor de eletricidade devido à formação de grafite, criado no material isolante como consequência do centelhamento e da liberação de calor decorrente do efeito Joule.

Esse fenômeno elétrico acarreta o aumento da condutividade do meio isolante, transformando-o em material condutor. Em materiais grafitados a passagem da corrente elétrica gera muita energia térmica e luminescência; normalmente, o centelhamento dos circuitos elétricos carboniza os materiais isolantes tornando-os meios condutores.

Figura 35 - Grafitação

Fonte: LABEL/DINVI/CBMDF.

5.7.1. Características

1. O centelhamento, causado pela ruptura da rigidez dielétrica, carboniza materiais naturalmente dielétricos. O aumento de temperatura ocasionado uma intensa liberação de calor favorece os processos de carbonização e grafitação, que tendem a aumentar.

Em circuitos elétricos, chaveamento é o processo em que equipamentos elétricos de força são ligados e desligados de forma ordenada na execução de alguma tarefa específica. O chaveamento gera centelhas elétricas (arcos elétricos) que liberam o calor responsável pela carbonização de substâncias em ambientes contendo materiais orgânicos. A ocorrência recorrente desse processo provoca a grafitação no material.

2. O material isolante, ao ser grafitado pela passagem da corrente elétrica, é comburido gerando calor, luz, cinzas e mais grafite. Esse processo eletroquímico se repete provocando, por exemplo, escavação na madeira.

O desenvolvimento do processo descrito no item anterior provoca a grafitação parcial nessas substâncias, aumentando muito a condutividade do meio, gerando correntes de fuga. Essas correntes, circulando em meios grafitados, geram mais calor liberado do meio. Esse fenômeno é conhecido por grafitação.

5.8. Descarga atmosférica (Raio)

Uma descarga atmosférica sobre a terra é definida na NBR 5419-1:2015 (que trata da proteção de estruturas contra descargas atmosféricas) como uma descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra, consistindo em um ou mais componentes da descarga atmosférica. Essa descarga pode atingir a ordem de dezenas de quiloampères (KA).

O raio, também conhecido como relâmpago, é um fenômeno natural, bem como uma forma de percepção da energia elétrica sendo manifestada por um efeito visível aos olhos na forma de energia luminosa.

Figura 36 - Descargas elétricas em Brasília



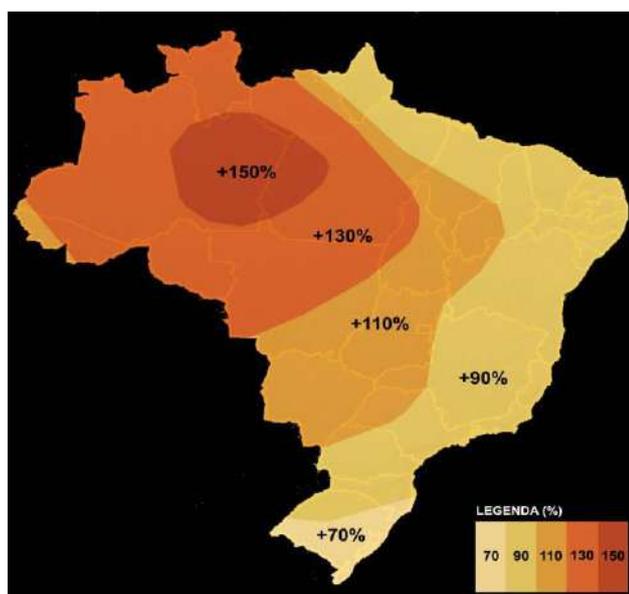
Fonte: Internet

A descarga atmosférica provoca uma corrente elétrica de grande intensidade, devido à diferença de potencial (DDP) entre uma nuvem e outro meio, que, ao longo do percurso, ioniza o ar próximo e cria um plasma (gás oxigênio em alta temperatura) que emite radiação eletromagnética, sob forma de luz e som.

Estudos² indicam que a elevação térmica em uma descarga atmosférica pode alcançar temperaturas próximas de 30.000 °C.

Estudos³ realizados pelo INPE mostram que no Brasil, na primeira década do século XXI, o maior índice de mortes ocasionadas por descargas elétricas ocorreu no ano 2001, com 193 vítimas, e o menor índice ocorreu em 2004, com 93 casos. No ano de 2009, foram registradas 131 mortes ocasionadas pelas descargas atmosféricas. Segue abaixo o mapa indicativo de percentual do aumento da incidência de descargas elétricas no Brasil até o final do século XXI, com base em série histórica.

Figura 37 - Mapa de Aumento da Incidência de Raios no Brasil até o final do século XXI



Fonte: internet

O Distrito Federal (DF) encontra-se numa região de grande ocorrência de descargas elétricas. Dados do INPE mostram que o DF apresenta uma densidade anual de 5,31 descargas elétricas por quilômetro quadrado (densidade de descarga/Km².ano).

² <http://www2.palomar.edu/users/warmstrong/lightnin.htm>

³ <http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-empresa/496-desvendando-os-fascinios-do-raio.html>

Descargas elétricas podem causar tanto incêndios urbanos quanto florestais. No caso dos incêndios florestais iniciados por raios, mais informações serão apresentadas no capítulo dedicado à Investigação de Incêndio Florestal (Capítulo III deste módulo). O incêndio relacionado com a eletricidade se vincula a descargas elétricas quando o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosférica (SPDA) não funciona como deveria.

A instalação do SPDA é uma exigência do CBMDF, por meio de Norma Técnica e da NBR 5419:2015, e tem como objetivo evitar ou minimizar o impacto dos efeitos nas descargas atmosféricas, que podem ocasionar incêndios, explosões, danos materiais e risco à vida de pessoas e animais.

5.8.1. Características do SPDA (CBMDF/DESEG)

O Sistema de Proteção contra descarga atmosférica (SPDA) é definido pela NBR 5419-3:2015 como o sistema completo utilizado para minimizar os danos físicos causados por descargas atmosféricas em uma estrutura. É constituído pelo sistema de proteção externo (subsistemas de captação, descida e aterramento) e interno (ligações equipotenciais).

Para o perito em incêndio e explosões, no local em que uma das hipóteses esteja relacionado a uma descarga atmosférica, a observância das normas de instalação do SPDA na edificação é de fundamental importância para identificar a causa do incêndio em decorrência de um raio.

Uma forma detalhada de se obter informações importantes a respeito é o *checklist* elaborado pelo DESEG para a vistoria de enquadramento do SPDA em uma edificação, de acordo com a NBR 5419:2015. Cabe ao perito em incêndios e explosões, e não ao vistoriante, verificar se o não enquadramento das normas, ou possível falha no SPDA após a instalação, pode ter resultado em um incêndio depois do recebimento da descarga atmosférica.

Em uma perícia cuja hipótese principal é o fenômeno elétrico caracterizado pela descarga atmosférica, o perito deve tomar os seguintes cuidados:

1. Quanto à norma e ao projeto - verificar se o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) está conforme o preconizado na norma técnica de referência;
2. Quanto à captação – averiguar se todos os pontos de aterramento nas massas metálicas da cobertura do SPDA estão de acordo com o previsto na norma técnica de referência;
3. Quanto às descidas - examinar se as seções mínimas das cordoalhas, os espaçamentos entre os condutores e as emendas estão de acordo com o recomendado na norma técnica de referência;
4. Quanto ao aterramento – considerar se o material de construção e a seção mínima dos eletrodos de aterramento estão conforme a norma técnica de referência.

Em um incêndio com a possibilidade de a causa ser uma descarga elétrica, será essencial a verificação ponto a ponto das exigências listadas na NBR 5419-3:2015 e outras normas técnicas de referência tendo como objetivo constatar o apresentado nas normas, em todas as exigências.

O não cumprimento da obrigação imposta na NBR 5419:2015 pode ser o principal fator para uma ocorrência de incêndio relacionado com a eletricidade, devido a falhas no sistema de proteção contra descargas atmosféricas de uma estrutura predial. Assim, cabe ao perito em incêndio e explosões não o papel de vistoriar (adequar o SPDA com a norma), mas sim de investigador pós-sinistro (considerar o SPDA com a situação fática).

Incêndios em edificações devido à descarga atmosférica normalmente ocorrem pelo fato de o SPDA da edificação não estar de acordo com a NBR 5419:2015 ou dele se encontrar em condições precárias de manutenção.

Destarte, a investigação pericial deverá, sempre que necessário, partir dos parâmetros normativos da NBR 5419:2015. Após isso, com a comprovação do cumprimento de todas as normas referente ao SPDA da edificação, o perito em incêndio e explosões poderá verificar as hipóteses de incêndio consequentes de uma descarga atmosférica na edificação conforme estabelecida na NBR 5419:2015.

6. EFEITO CORONA

O efeito corona é um fenômeno elétrico relativamente comum em linhas de transmissão de alta tensão. Esse efeito ocorre devido ao campo elétrico muito intenso que surge nas vizinhanças dos condutores pelo fato da passagem de corrente elétrica ultrapassar o limite de isolamento do ar. Com isso, as partículas de ar que envolvem o condutor tornam-se ionizadas e, como consequência, emitem luz e som quando da recombinação dos íons com os elétrons.

Figura 38 - Efeito corona em uma rede de alta tensão



Fonte: Internet.

Esse tipo de fenômeno ocorre devido à ionização forçada dos elétrons ao redor do fio condutor de alta tensão. Acontece principalmente nos campos elétricos elevados (rede de alta tensão), nos quais íons ou elétrons possuem energia cinética suficiente para produzir a ionização característica do efeito corona. Essas partículas são aceleradas pelo intenso campo elétrico que colidem contra os átomos, formando assim os arcos elétricos.

Obviamente, quanto maior o nível de tensão para uma determinada configuração de linha, maiores serão as perdas devido ao efeito corona. Contrariamente, quanto maior o nível de tensão, menores serão as perdas devido ao efeito Joule (proporcional ao quadrado da corrente elétrica), pois, a corrente circulante será menor para uma mesma potência transmitida.

Isoladores defeituosos e condutores danificados são os principais problemas em dispositivos elétricos de alta tensão que podem causar efeito corona. Esse efeito pode gerar ruído audível e de radiofrequência, principalmente próximo a linhas de transmissão de alta tensão.

O efeito corona pode ocorrer também dentro de componentes elétricos tais como transformadores, capacitores, motores elétricos e geradores. Nesses equipamentos, o efeito Corona atua progressivamente danificando o isolamento interno desses mecanismos, levando a falha prematura dos equipamentos.

7. MAGNETOSTRIÇÃO

A magnetostrição é o zumbido característico emitido por equipamentos elétricos devido a vibração dos componentes internos à passagem de corrente elétrica. Nos transformadores elétricos de potência, o som ocorre a uma frequência de 120 Hz.

Quando as vibrações alcançam essa frequência, o metal utilizado para construir o núcleo interno do transformador começa a produzir um ruído ocasionado pela sua vibração. Esse som é uma reação do metal do aparelho ao campo magnético que surge à medida que a corrente elétrica o atravessa.

Figura 39 - Transformador de força



Fonte: Internet.

A quantidade de barulho produzido por um dispositivo elétrico depende do seu tamanho e potência. Os transformadores industriais emitem uma quantidade significativa de ruído devido à grande potência elétrica. Dispositivos elétricos menores emitem um som ligeiramente audível na mesma frequência de equipamentos maiores.

8. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5410-Instalações Elétricas em Baixa Tensão**. Rio de Janeiro ABNT, 2001.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5419-Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas**. Julho 2005.

COBREAP – XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS , **Perícias relacionadas a incêndios**, IBAPE/SC – 2013.

GOEKING, W. **Memória da eletricidade: Segurança Elétrica no Limite**, Revista O Setor Elétrico / Agosto de 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO, **Inspeção Predial Prevenção e Combate a Incêndio**, - São Paulo - SP; ibasp@ibape-sp.org.br - www.ibape-sp.org.br.

PROGRAMA DE FORMAÇÃO TÉCNICA CONTINUADA, **Os efeitos do curto-circuito**; Schneider Eletric.

RANGEL JUNIOR, Estellito. **A eletricidade como fator gerador de incêndios**. 2011. Disponível em: <<http://programacasasegura.org/br/wp-content/uploads/2011/07/A03.pdf>> Acesso em: 13/07/2017.

RODOLFO Jr., A. e MEI, L.H.I., **Mecanismos de Degradação e Estabilização Térmica do PVC**, Polímeros [online]. 2007, vol.17, n.3, pp.263-275.

II. INCÊNDIO EM VEÍCULOS

Veículos automotores, por definição, são aqueles que possuem um motor de propulsão que o façam circular por seus próprios meios.⁴

Essa propulsão é fornecida de um motor, normalmente de combustão interna, um motor elétrico, ou uma combinação dos dois, tais como nos veículos híbridos. Para efeitos legais, veículos automotores são muitas vezes identificados com um número de classes de veículos, incluindo carros, ônibus, motocicletas, veículos fora de estrada (ou *off-road*), caminhões leves e caminhões regulares.

A investigação de incêndio em veículos engloba aspectos gerais de dinâmica dos incêndios, combustíveis e líquidos inflamáveis, fontes de ignição e a composição geral do veículo. É de extrema importância que o perito esteja familiarizado com o método científico, fontes de ignição mais comuns, combustíveis e os componentes plásticos inflamáveis do veículo.

1. ESTRUTURA BÁSICA DOS VEÍCULOS

A evolução dos veículos automotores diversificou-os e agregou inúmeros componentes acessórios que não podem ser generalizados. Entretanto, a estrutura original permanece, apresentando significativa prevalência de quatro componentes básicos, sendo eles (*Automotive Industry: Auto Parts, Equipment, and Services*, 2016):

- Estrutura ou chassi - componente estrutural, construído em liga metálica, que fornece suporte e integra todos os componentes do veículo;

⁴ Conceito do Código de Trânsito Brasileiro

- Motor - componente primordial e essencial do veículo. Inclui nas partes principais a transmissão, o sistema de fornecimento de combustível, o sistema de arrefecimento, o sistema de lubrificação, o sistema de exaustão e o motor de partida;
- Corpo - componente que abarca as demais partes do veículo (incluindo o interior), tal como o habitáculo, estofamentos e acabamentos plásticos (console, painel, portas, etc);
- Sistema elétrico - componente independente que liga a fonte de energia elétrica a todas as partes que carecem de alimentação de carga da bateria, através do alternador.

Na sequência, serão apresentados os sistemas específicos, com maior prevalência na investigação de incêndios.

2. INCÊNDIOS MAIS COMUNS EM VEÍCULOS

Raramente há uma única causa para incêndios em veículos, mesmo que o perito possa elucidar todas as circunstâncias que provocaram o incêndio. É sempre mais provável que haja uma combinação de causas: humanas, mecânicas e químicas, todas elas trabalham em conjunto para a falha sistêmica causadora do incêndio. Na maioria dos casos, as fontes de energia de ignição de incêndios em automóveis são semelhantes aos incêndios estruturais, tanto pela fonte quanto pela dinâmica do fogo.

Um veículo automotor contém vários materiais inflamáveis, incluindo líquidos inflamáveis (ex: gasolina e óleo), bem como os combustíveis sólidos (ex: plásticos e estofamentos). Os veículos possuem inúmeras fontes potenciais de incêndio, incluindo dispositivos elétricos, podendo ocorrer os mesmos fenômenos elétricos indicados em outro

capítulo deste manual. Vazamentos de combustível nas linhas de alimentação também podem, rapidamente, se inflamar no compartimento do motor onde faíscas são possíveis.

No entanto, o tipo e a quantidade de materiais sintéticos combustíveis encontrados em automóveis de hoje, quando queimados, podem produzir queima acentuada, sem necessidade de acelerante ou de queima do combustível do veículo, o que torna o nível de incertezas muito elevado acerca das causas.

Uma grande variedade de materiais e substâncias pode servir como os primeiros a queimar nos incêndios de automóveis. Esses incluem dispositivos de abastecimento; transmissão, direção hidráulica, e fluidos de freio; aditivos; lubrificantes; e materiais internos do veículo ou da carga. Uma vez iniciado o incêndio, quaisquer desses materiais podem contribuir para ser um combustível secundário, afetando a taxa sobre o crescimento do incêndio.

Em incêndios provenientes de falhas sistêmicas, as de combustíveis sólidos são menos comuns que as ocorridas em líquidos e gases como os primeiros materiais queimados nos veículos, exceto dos locais onde instalações elétricas ou fontes externas de energia sejam as possíveis fontes de ignição.

3. FONTES DE IGNIÇÃO

A *National Fire Protection Association* (NFPA) 921 traz as principais fontes de ignição. O que se apresenta nesse manual é baseado nessa norma.

3.1. Chama aberta

Em veículos ainda com carburação, a fonte mais comum de uma chama aberta é provocada por um fenômeno chamado retrocesso de chama ou *backfire*.

Consiste basicamente na queima dos gases fora da câmara de combustão, ou seja, no escapamento, que não oferece maiores riscos, ou no coletor de admissão, que pode se espalhar no motor. Isso ocorre sobretudo em motores desregulados e com peças vencidas, como a vela. Se por um lado os veículos mais modernos usam sistema de injeção, eliminando o combustível, o fenômeno tem sido relativamente comum nos veículos adaptados para gás natural veicular (GNV). Chama aberta também pode provir de fósforos e materiais incandescentes. Em *food trucks*, há também o manuseio de equipamentos que operam com chama aberta, como fogão e forno.

3.2. Fontes elétricas

Aplicam-se aqui os mesmos conceitos de fenômenos elétricos elencados no presente manual, no capítulo sobre incêndios de origem elétrica. Entretanto, algumas peculiaridades sobre veículos devem ser enfatizadas.

Quando o motor está desligado, a única fonte disponível de energia elétrica é a bateria, podendo haver mais de uma bateria. Alguns componentes permanecem eletricamente conectados à bateria, operando a 12 V mesmo que a chave não esteja na ignição, e podem vir a falhar.

São estes os principais: gerador, alternador, motor de partida, caixa de fusíveis (sob o painel), alarme, alguns acessórios não originais, isqueiro, bancos elétricos, vidros elétricos, travas elétricas, luzes internas, retrovisores elétricos e chave de ignição. Entretanto, ressalta-se que, quando

está em funcionamento, o veículo tem muito mais fontes de energia elétrica.

Fusíveis, disjuntores e cabos fusíveis oferecem proteção aos circuitos elétricos dos veículos motorizados. Nos sistemas de corrente contínua, a estrutura (chassi), as partes metálicas da carroceria e o motor estão conectados ao negativo da bateria, para o aterramento. O lado positivo da bateria fornece corrente para os fusíveis e a todos os equipamentos elétricos. Dessa forma, um dispositivo elétrico pode ter apenas um fio conectado fisicamente, mas está ligado a partes metálicas do veículo que completam o circuito de volta para o terminal negativo da bateria (terra). Assim sendo, há risco de se fechar um curto-circuito quando o fio positivo energizado, um terminal ou componente condutivo tocar na superfície que serve como aterramento, por exemplo, a lataria.

Muitos sistemas elétricos podem provocar a sobrecarga elétrica no veículo, por defeito no funcionamento ou por mal dimensionamento dos componentes elétricos, sobretudo se não for original e ter sido instalado após a aquisição do veículo. A sobrecarga pode também provocar a ignição do material de revestimento, do carpete e de sujeiras depositadas sob o banco, por exemplo.

O fenômeno elétrico pode ocorrer devido ao desgaste, esmagamento ou rompimento de cabos (ou mesmo do isolante), tendo a bateria energia suficiente para comburir um fluido combustível que esteja derramado nas proximidades. O material acumulado próximo a esses sistemas, como depósitos de graxa ou sujeira vinda da rua, também podem conduzir eletricidade, contribuindo para a eclosão. Segundo a NFPA 921 (item 25.4.2.5), uma grafitação dos materiais isolantes pode ser facilitada por essas sujeiras e pode ocorrer em sistemas de 12V.

Filamentos de lâmpadas quebradas podem servir como fonte de ignição, especialmente para gases e vapores, sobretudo a gasolina.

Normalmente, os filamentos das lâmpadas operam com temperaturas na ordem de 1.400 °C, sob uma atmosfera inerte, a vácuo. Quando o filamento é exposto ao ar ambiente, produz uma chama aberta e se apaga, logo em seguida.

Barnett (2013, pág. 58) traz uma lista mais detalhada dos dispositivos elétricos ou eletromecânicos que são capazes de causar um incêndio por falha operacional:

- bateria;
- alternador;
- motor de partida;
- motor do ventilador/motores elétricos do sistema de ar condicionado;
- bobina de ignição do motor;
- interruptores elétricos;
- solenóides;
- fiação;
- painel de fusíveis e relé;
- faróis;
- trilha do assento elétrico ou aquecedor de assento.

Alguns cuidados com sinais de fenômeno elétrico

Altas temperaturas próximas ao ponto de fusão do cobre, associadas ao contato com a água podem, provocar uma coloração esverdeada nos fios de cloreto de polivinila (PVC). Esse esverdeamento indica a formação de sulfato de cobre, sulfeto de cobre ou cloreto de cobre, e não está associado aos fios com revestimento de polietileno (PE).

Entretanto, testes realizados por Gregory J. Barnett, nos anos de 2007 e 2012, revelaram que o contato de um fio revestido de PVC com o fluido da bateria, esta contendo ácido sulfúrico, pode provocar esse esverdeamento, sugerindo um falso indicativo de sobreaquecimento do fio.

Como visto no capítulo sobre eletricidade, traços de fusão são indicativos de curto-circuito na fiação. Entretanto, um pneu incendiado tem energia calorífica capaz de atingir a temperatura de fusão dos fios que estão posicionados acima desse pneu.

Por outro lado, traços de fusão podem se desfazer com manobras bruscas, como, por exemplo, a aplicação de jato de água no combate ou a retirada da bateria.

3.3. Superfícies aquecidas

Gases e fluidos inflamáveis, como óleo de motor e fluido de freio, podem se queimar ao entrarem em contato com superfícies quentes.

Um dos maiores pontos de aquecimento de um veículo é o sistema de exaustão, que tem como função principal a eliminação dos gases gerados após a queima nos cilindros, devidamente filtrados para amenizar a poluição. Pode atingir mais de 300 °C no escapamento e mais de 700 °C no catalizador. Mesmo após o desligamento do veículo, o decaimento da temperatura é lento.

Segundo a NFPA, o tempo é de 20 a 30 minutos para a temperatura do escapamento abaixar 80%. Como os conversores catalíticos (ou catalisadores) podem aumentar a temperatura após o desligamento do motor, levando de 45 minutos a 90 minutos para decair 80% de temperatura.

Logo, existe casuística de incêndios e princípios de incêndio em veículos associados ao contato direto do escapamento com materiais inflamáveis de baixa energia de ativação, tais como grama, folhas secas, papel ou mesmo lixo da rua.

A imagem a seguir foi feita pela câmera térmica, no momento em que um galho colocado dentro do escapamento, ignizou-se, em um

teste realizado pela DINVI, em outubro de 2015, de forma a subsidiar um laudo pericial

Figura 40 - O escapamento da viatura do CBMDF, motor diesel, chegou a 320°C, medido com termopares



Fonte: DINVI/CBMDF

Nesses casos, a dinâmica do incêndio vai seguir um padrão de queima dissociado dos que envolvem o combustível e outros componentes inflamáveis, deixando marcas no caminho ascendente oriunda da fonte de energia externa da parte inferior do veículo.⁵

Segundo a NFPA, normalmente, a gasolina não será inflamada em uma superfície quente, sendo necessário para ignizá-la, um arco, faísca ou chama aberta. Entretanto, a ignição dos vapores de gasolina em contato com uma superfície quente não pode ser descartada.

No geral, a ignição de líquidos por superfícies quentes é provocada pela conjugação de vários fatores e não somente pela temperatura de ignição, sendo estes: a pouca ventilação do local; condições ambientais, tais como umidade, temperatura do ar e do fluxo de ar; e as propriedades físicas dos fluidos, como o ponto de autoignição, ponto de fulgor do líquido, ponto de ebulição do líquido, a pressão de vapor do

⁵ Um estudo de caso que ilustra bem esse tipo de situação pode ser encontrado nos laudos referentes às viaturas tipo ASE e ABTF que vieram a se incendiar durante ocorrência operação de incêndio florestal em 2015. (DINVI, 2016)

líquido, a taxa de vaporização do líquido e nebulização. Outros fatores podem influenciar também no processo, como a rugosidade da superfície quente, o tipo de material e o tempo de permanência do líquido sobre essa superfície.

3.4. Faísca mecânica

São dois os contatos entre as superfícies, cujo atrito é capaz de gerar energia suficiente para inflamar gases, vapores e líquidos pulverizados:

metal-metal (aço, ferro ou magnésio) - que pode ocorrer em polias, eixos ou rolamentos;

metal-estrada, que normalmente envolve um componente quebrado, como eixo de transmissão, sistema de escape, ou aro da roda após a perda de um pneu.

Em ambos os casos se exige que o veículo esteja ligado ou em movimento. Mesmo a baixa velocidade (8 km/h) percebeu-se a produção de faíscas que atingiram 800 ° C.

3.5. Cigarros e congêneres

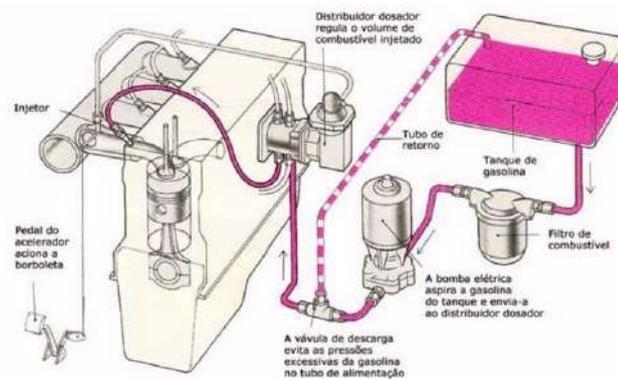
Segundo a NFPA, os tecidos e materiais de estofamento dos veículos modernos são geralmente difíceis de se ignizar com um cigarro aceso. Entretanto, a ignição pode ocorrer a partir de um cigarro aceso sobre um papel, tecido ou outros detritos combustíveis.

Nos EUA, alguns estados adotaram a lei que proíbe a adição de nitrato de potássio ao cigarro, o que comumente causa a extinção de um cigarro não tragado antes mesmo de pegar fogo no estofamento.

4. SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Há dois sistemas de combustível: o de baixa pressão (ou a vácuo) e o de alta pressão. Ambos são compostos de um tanque, onde o combustível é armazenado, de tubos e bomba, para sua condução. Em ambos, o combustível é pulverizado, comprimido e queimado.

Figura 41 - Esquema do sistema de alimentação do combustível até o bico injetor



Fonte: COSTA (2002)

Em linhas gerais, o sistema de baixa pressão é composto do quase extinto carburador, que arrasta (por efeito Venturi) o combustível injetado na câmara onde ocorrerá a mistura com o ar. O que determinará a quantidade de gasolina a ser injetada é o vácuo, provocado com maior ou menor abertura dessa câmara pelo acelerador. Então, a mistura irá para o pistão, onde uma faísca causará a explosão. O combustível é injetado no carburador a uma pressão entre 3 e 5 psi (menos de 1 bar). Vazamentos do sistema podem ocorrer, provocando um incêndio. Entretanto, esse vazamento pode ser provocado também por uma chama anterior, levando o investigador a uma falsa conclusão.

Já o sistema de alta pressão opera entre 35 e 70 psi (2,4 a 4,8 bar) e usa de um a quatro bicos injetores, em que um controlador eletrônico comandará a quantidade de combustível a ser injetada. Com isso, economiza-se o consumo de combustível, aumenta-se o rendimento do veículo e polui-se menos o ambiente. Alguns modelos incluem um sistema de

retorno de combustível, que o transporta de volta ao tanque no desligamento do veículo, reduzindo as chances de acidente. Vazamentos do sistema de alta pressão podem provocar o esguichamento do combustível por metros. Uma desvantagem é que é possível que o sistema permaneça sob pressão, mesmo com o veículo desligado.

Durante a operação de abastecimento do carro, um incêndio pode ocorrer devido à eletrostática causada pelo deslizamento da gasolina pela tubulação que a conduz até o tanque de combustível. A eletricidade estática pode ser também gerada pelo movimento do motorista no banco do carro, e um incêndio pode ocorrer também, se ele descer do veículo, considerando que há liberação de vapores do combustível durante a operação de abastecimento. Assim, os tanques nos dias atuais são aterrados na lataria do veículo, para evitar o acidente, bem como a boca de entrada do combustível (por onde se abastece) é isolada.

Ressalta-se que incêndios dessa natureza não ocorrerão com o diesel, por ser bem menos inflamável do que a gasolina e o etanol. Entretanto, tanques de diesel não são aterrados e o abastecimento com gasolina nesses tanques, por engano, pode também ocasionar incêndio por eletricidade estática.

Na figura a seguir, há uma fagulha ocorrida durante o abastecimento, provocada pelo contato da boca de entrada do combustível com a lataria do veículo.

Figura 42 - Fagulha ocorrida durante o abastecimento, provocada pelo contato da boca de entrada do combustível com a lataria do veículo



4.1. Gás Natural Veicular (GNV)

O gás natural veicular (GNV) é uma mistura de hidrocarbonetos leves com gases inertes, havendo mais de 80% de metano.

São importantes características do gás natural:

- densidade inferior a do ar;
- baixo ponto de vaporização (-162 °C a 1 atm);
- limite de inflamabilidade entre 5 e 15%;
- poder calorífico entre 8.450 Kcal/m³ (poder calorífico inferior - PCI) e 9.400 Kcal/m³ (poder calorífico superior - PCS).

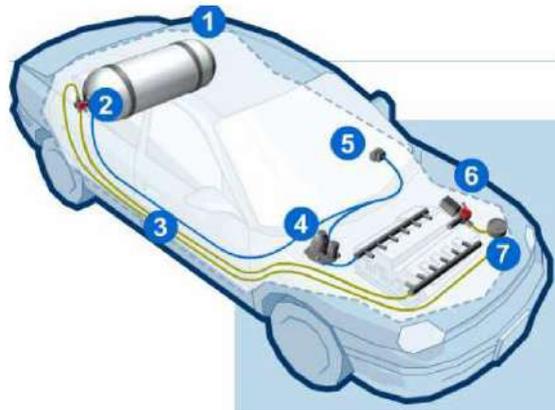
É armazenado em cilindro de alta pressão, próximo de 200 bar (cerca de 23 m³ a 21°C).

Cada cilindro possui uma válvula de cabeça no gargalo, equipada com um dispositivo que interrompe o fluxo de gás caso haja uma ruptura da tubulação, e excesso de pressão, que se rompe caso a temperatura no cilindro atinja valores próximos de 120 °C e a pressão próxima de 360 bar.

O redutor de pressão tem a função de diminuir a pressão para próximo da pressão atmosférica, a fim de o gás ser introduzido no coletor do motor. A tubulação de alta pressão conduz o GNV da válvula de

abastecimento até o cilindro de armazenamento e desse até a válvula reguladora de pressão, conforme o esquema abaixo.

Figura 43 - Veículo convertido para GNV



- 1. Cilindro GNV
- 2. Válvula do cilindro
- 3. Tubulação de alta pressão
- 4. Regulador de pressão
- 5. Comutador - que permite ao motorista alternar entre GNV e gasolina (ou álcool)
- 6. Válvula de abastecimento
- 7. Manômetro

Fonte: De Oliveira (2007)

Na tabela a seguir são apresentados os pontos de temperatura dos principais gases combustíveis empregados em veículos:

Tabela 3 - Propriedades dos gases combustíveis em veículos automotores

GÁS	Temperatura de autoignição	Limite de inflamabilidade (Vol. % de combustível no ar)		Ponto de ebulição	Gravidade Específica (Ar)	
	°C	Inferior (LFL)	Superior (UFL)	°C	Densidade do Vapor (ar=1)	Mínima energia de ignição
Hidrogênio	40-572	4.0	75.0	-253	0.07	0.018
Gás natural (metano)	632-650	5.3	15.0	-162	0.60	0.280
Propano	450-493	2.2	9.5	-42	1.56	0.250

Fonte: NFPA 921 (2011), Tabela 25.3.2

5. COMPÓSITOS AUTOMOTIVOS

Para o investigador, é importante conhecer o comportamento do calor nos diferentes materiais constituintes de um veículo.

5.1. Metais

A maior parte de um veículo é constituída de metais. Segue a tabela para identificação dos pontos de fusão.

Tabela 4 – Temperatura de fusão de metais comumente encontrados em motores de veículos

	Temperatura de fusão (°C)
Zinco fundido	300 – 400
Magnésio	650
Ligas de alumínio	566 – 650
Cobre	1.082
Ferro fundido	
Cinzento	1.350 – 1.400
Branco	1.050 – 1.100

Fonte: NFPA 921 (2011), TABELA 25.3.3.2

Normalmente, o alternador resiste a altas temperaturas vindas de um incêndio no compartimento do motor. O derretimento indica que, provavelmente, o incêndio iniciou-se nele próprio.

5.2. Polímeros

Atualmente, os polímeros (termoplásticos, termorrígidos, elastômeros, olefinas e poliolefinas, borrachas e nanocompósitos) constituem cerca de 10% de um carro.

Segue uma tabela da taxa de liberação de calor dos plásticos selecionados:

Tabela 5 - Taxa de liberação de calor dos plásticos selecionados

Partes do veículo	Massa do polímero	Pico da taxa de liberação de calor (kW)
Bateria isolada	ca 1.3	21
Bateria e mais a capa da bateria	ca 2	53
Bateria em caixa aquecida	ca 1.3	88
Ressonador do filtro de ar	1.14	85
Conjunto do farol	1.7	23
Cilindro mestre do freio	N/A	10
Grade churrasqueira do para-brisa (lado do motorista)	1.7	53
Grade churrasqueira do para-brisa (lado do passageiro)	1.7	58
Filtro do capô (lado do motorista)	0.5	25
Filtro do capô (lado do passageiro)	0.5	16
Forro traseiro da caixa de roda	0.56	85
Tanque de combustível (vazio - Polipropileno)	8.48	500
Banco do passageiro dianteiro	8	540

Fonte: Barnett (2013)

Tabela 6 - Plásticos comumente encontrados em veículos automotores

Material	Temp. de ignição (°C)	Temp. de fusão (°C)	ΔH_c (Kj/g)	Pico da taxa de liberação de calor (KW/m ²)	Local no veículo
Fibras acrílicas	560	90-105	28	300	Carpete
ABS	410	88-125	29	614-683	Partes da carroceria
Fibra de vidro (resina poliéster)	560	428-500			A resina queima, mas não as partes de vidro
Nylons	413-500	220-265	28	517-593	Acabamento, engrenagem da janela, engrenagem, sistema de ar condicionado, estrutura
Polycarbonato	440-522	265	22	16	Painel, estrutura, faróis
Polietileno	270-443	115-137	40	453-913	Isolamento de fio, tanque de combustível, protetor da bateria, tampa da bateria
Polipropileno	250-443	160-176	43	377-1170	Ressonador, estrutura, dutos de ar, sistema de ar condicionado, tampa da bateria
Poliestireno	346-365	120-240	36	723	Isolamento, estofamento e acabamento
Poliuretano	271-378	120-160	18	290	Assentos, apoios de braços, estofamento, acabamento
Vinil (PVC)	250-430	75-105	11	40-102	Isolamento de fio, estofamento, sistema de ar condicionado, isolamento do compartimento do motor

Fonte: NFPA 921 (2011), TABELA 25.3.2

5.3. Líquidos inflamáveis

Segundo a NFPA (921, 25.3.1), líquidos inflamáveis estão quase sempre presentes nesses incêndios, podendo advir da falha de sistemas, dos acidentes ou de crimes.

Segue a tabela de algumas das propriedades de líquidos inflamáveis normalmente encontrados em um veículo:

Tabela 7 - Propriedades de líquidos inflamáveis

Líquido inflamável	Ponto de fulgor	Temperatura de autoignição	Limite de Inflamabilidade		Ponto de ebulição		Densidade do vapor (Ar=1)
			LII	LSI	Inicial	Final	
	°C	°C	%	%	°C	°C	
Gasolina	-45 a -40	257-280	1,4	7,6	26-49	171-233	3-4
Óleo Diesel (Tipo 2 - EUA)	38-62	254-260	0,4	7	127-232	357-404	5-6
Fluido do freio	110-171	300-319	1,2	8,5	232-288	460-550	5-6
Fluido da direção hidráulica	175-180	360->382	1	7	309-348	507-523	>1
Óleo do motor	200-280	340-360	1	7	299-333	472-513	>1
Óleo do câmbio	150-270	>382	1	7	316-371	>525	>1
Fluido da transmissão automática	150-280	330->382	1	7	239-242	507-523	>1
Etileno glicol (anticongelante)	110-127	398-410	3,2	15,3	196-198		2,1
Propileno glicol (anticongelante)	93-107	371-421	2,6	12,5	187-188		2,6
Metanol (fluido do parabrisa)	11-15	464-484	6	36	65		1,1

Fonte: NFPA 921 (2011)

5.4. Estofamento

Atualmente, as normas para segurança preveem menor combustibilidade no compartimento de passageiros.

A resolução N° 498 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), de 29 de julho de 2014, indica que, a partir de 1° de janeiro de 2015, todos os veículos, independentemente da capacidade de lotação, deverão apresentar velocidade de propagação da chama de, no máximo, 100 milímetros por minuto, padrão mais rigoroso do que a norma americana que indica os níveis de inflamabilidade de materiais do interior dos veículos (FMVSS 302), que permite até 102 mm/min.

Alguns veículos de luxo são construídos com materiais que retardam a chama, dificultando a propagação de um fogo inicial por falha operacional. Conseqüentemente, o esperado padrão “V” de queima pode não ficar claro para o perito em incêndio e explosões.

Ainda assim, segundo Barnett (2013), testes revelaram que nos veículos que seguem a FMVSS 302, ocorre uma combustão lenta (*smoldering*), levando, em média, entre 90 e 120 minutos para eclodir um incêndio.

Segundo a NFPA 921 (item 25.4.5), uma vez iniciada a combustão, a espuma de uretano, material típico dos assentos de veículos norte-americanos, aumenta substancialmente a intensidade de um incêndio em veículos.

5.5. Vidros

A Resolução do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) N.º 254/2007 exige que somente o vidro do para-brisa seja laminado. Assim sendo, é mais comum encontrar vidros temperados nas laterais e na traseira do veículo.

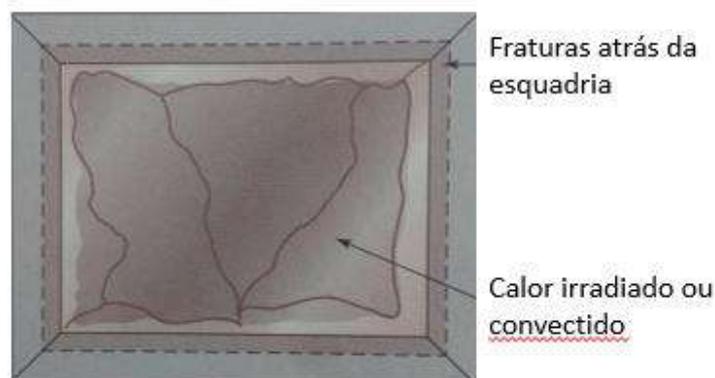
Geralmente, os vidros comuns se rompem a 70 °C. Entretanto, cada tipo de vidro se comportará de modo diferente, à frente de um aumento súbito da temperatura.

No vidro laminado, constituído de duas lâminas separadas por uma película polimérica, o aumento súbito da temperatura pode fazer com que essa película forme bolhas, de modo a provocar rachaduras nas lâminas. É de se esperar que, posteriormente, tal vidro venha se descolar da esquadria e caia sobre o painel, considerando a inclinação negativa do para-brisa.

Já no vidro temperado, esse aumento súbito faz com que estilhace, em pequenos “cubos”, podendo cair dentro do carro, quando não houver sobrepressão advinda da fumaça gerada no interior, ou para fora do veículo, quando houver sobrepressão.

Em ambos tipos de vidro, o aumento gradativo e lento da temperatura pode causar o derretimento, o que ocorrerá entre 700 e 800 °C.

Figura 44 - Aquecimento do vidro pode deixar fraturas paralelas na esquadria.



Fonte: DeHaan (2007)

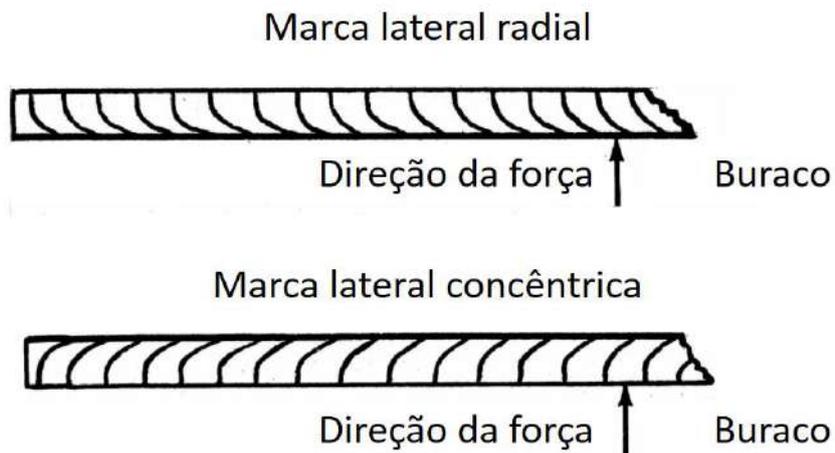
É importante saber distinguir entre as marcas de avaria nos vidros provenientes de um aquecimento pelas provocadas por um impacto mecânico, sendo inviável fazer qualquer distinção se o vidro estiver derretido. Por vezes, será necessário analisá-lo em microscópio laboratorial.

Figura 45 - Padrão de marcas de fratura no vidro por impacto mecânico: linhas radiais e concêntricas, a partir do ponto do impacto



Fonte: <http://www.spyderonlines.com/image.php?pic=/images/wallpapers/broken-glass-wallpaper/broken-glass-wallpaper-10.jpg>

Figura 46 - Marcas laterais no vidro provocadas pelo impacto



Fonte: TEAF (2012)

5.6. Food Trucks

O perito em incêndio e explosões deve, primeiramente, assegurar-se sobre qual atividade é desempenhada no veículo sinistrado: se há somente o armazenamento e comercialização de comidas prontas ou se há o processamento de comidas.

Segundo o SEBRAE (2016), a maioria dos *food trucks* são dotados dos seguintes equipamentos: gerador elétrico, fogão e geladeira industriais, compartimento de gás (geralmente são dois botijões instalados abaixo do fogão), um tanque para detritos, um exaustor e um reservatório para armazenar água com capacidade para 50 litros.

Ainda, pode haver: fornos elétricos, micro-ondas, chapa e fritadeira, computador, caixa registradora, ar-condicionado, geladeira e freezer, multiprocessador de alimentos, espremedor de frutas, liquidificador industrial, balança eletrônica, alarmes e câmeras, entre outros.

Os armários, pia, compartimentos, fogão, geladeira, coifa, entre outros, são de aço inox, o que contribui para o retardamento das chamas.

O gerador é movido a gás ou outro combustível e deve ficar separado do compartimento de gás, sendo calculado conforme a demanda do estabelecimento.

As fontes de ignição, portanto, podem ser por: contato com chama aberta, fenômeno elétrico ou contato com superfície quente.

5.7. Metodologia para análise dos materiais

Barnett (2013) propõe uma metodologia ordenada para análise dos materiais em um veículo sinistrado:

1. Definir os tipos de materiais empregados na construção do veículo - Se for de luxo, haverá mais nanocompósitos poliméricos e, portanto, menor chance de propagação sem uso de acelerantes;

2. Definir o foco inicial - Estabelecer, dentro da zona de origem, a área do foco inicial, por meio dos padrões de queima;
3. Definir a taxa de liberação de calor e da temperatura de ignição dos metais e compósitos poliméricos - Podem ser utilizados catálogos de taxas de liberação de energia de diferentes materiais ou realizar testes para catalogação, bem como um bico de Bunsen. O tempo também pode ser uma importante variável. Então, coleta-se igual material do caso concreto e repete-se o teste, para comparação. Se o padrão for incompatível com o resultado esperado, pode-se abrir uma hipótese de um o incêndio criminoso.
4. Definir onde houve a falha primária no sistema - Pode ocorrer de o incêndio iniciar-se em um componente do sistema em decorrência da falha em outro componente. Essa é uma armadilha para o investigador. É importante, também, conhecer os componentes constituintes dos diferentes sistemas e se o equipamento inicialmente incendiado é original do veículo ou não. Para isso, pode ser utilizado o manual do veículo, a coleta de depoimentos, o estudo de casos análogos, entre outros.

6. INDICADORES DE INCÊNDIO CRIMINOSO EM VEÍCULO

Para a conclusão de incêndio criminoso em veículo, deve-se, primeiramente, excluir todas as demais hipóteses.

Uma característica comum do incendiário é aplicar grande quantidade de líquido inflamável para incendiar o veículo. Conseqüentemente, o padrão de queima será maior, tanto em velocidade quanto em proporção, ao se comparar com um incêndio ocorrido sem agente acelerante.

Durante a investigação, o perito em incêndio e explosões deve observar se as janelas estavam abertas ou fechadas e se há sinais de arrombamento nas fechaduras ou ainda desproporcional amassamento nas

portas. E em caso de suspeita de furto, verificar se o cilindro da chave de ignição foi retirado, o que pode ser um indicativo de que o ladrão usou ligação direta para roubá-lo.

São sinais de incêndio criminoso:

a) Revestimento esbranquiçado

Fosfatização é o processo de aplicação de fosfato de zinco na lataria do carro, antes de se aplicar propriamente a pintura. Tal procedimento garante maior proteção ao aço contra a corrosão provinda da tinta e outros componentes.

Sua aplicação é feita entre 400 e 450 °C. Essa é a temperatura necessária para fazê-la descolar do metal em que está aderida.

Mais comumente, são os compostos poliméricos mais antigos que podem gerar calor suficiente para se atingir tal temperatura. Ainda assim, resta ao investigador fazer uma contextualização das marcas encontradas em face da posição desses polímeros.

Cita-se que a pintura do carro não tem boa inflamabilidade, necessitando de uma fonte contínua de chama para se incendiar.

b) Padrões de queima em porções inferiores do veículo

Cabe evocar, no presente, um princípio básico do fogo: ele sempre tende a subir. Assim, padrões de queima encontrados nas porções inferiores do veículo são sempre importantes para uma análise mais apurada pelo perito em incêndio e explosões.

Marcas de queima no assoalho podem indicar que a porta (não somente a janela) do carro estava aberta no momento do sinistro, devido à entrada de oxigênio na porção inferior do compartimento de passageiros.

Sinais de queima no batente da porta também podem indicar que ela estava aberta no momento do sinistro. Entretanto, não se deve desprezar as seguintes possibilidades:

- que a porta tenha sido aberta após a eclosão (por exemplo, para o combate);
- que, estando a porta fechada e se for ateado fogo na lataria, o combustível lançado pode escorrer para dentro do batente, deixando pequenas marcas de incêndio.

c) Consumo extremo de polímeros

Com normatização de resistência ao fogo dos materiais poliméricos, são necessários, em média, de 10 a 30 minutos para se consumir totalmente. Assim, incêndios de rápidas proporções são fortes indicativo de incêndio criminoso.

d) Marca de fogo embaixo do motor

Vestígios de queima embaixo do motor sem o rompimento dos reservatórios de fluidos combustíveis (fluido de direção hidráulica, gasolina, fluido de transmissão, óleo do motor e fluido de arrefecimento) pode ser indicativo de incêndio criminoso.

Assim sendo, o incêndio não atingiria grandes proporções e seria mais fácil identificar os vestígios do fogo.

e) Fogo em diferentes compartimentos

O incêndio deixa marcas de seu progresso, que, lembrando, pode ser por condução, convecção ou radiação do calor. Focos nitidamente distintos, em que se comprovou não haver qualquer comunicação entre ambos, pode ser sinal de incêndio criminoso, com múltiplos focos.

Deve-se, entretanto, estar atento ao fenômeno da deflexão de chamas, devido à pequena altura do teto e capô, que poderá provocar outros focos dentro de um mesmo compartimento.

f) Destruição da coluna de direção

A barra de direção é revestida por uma coluna de alumínio, cujo ponto de fusão gira em torno de 530 °C. Como não há material combustível abaixo dela, e considerando o comportamento sempre ascendente do fogo, pode-se concluir que tal destruição muito provavelmente ocorre somente se houver um ateamento de fogo abaixo dela. Obviamente, a barra de direção, que é de aço, não sofrerá grandes avarias.

g) Destruição de peças de alumínio fundido

São peças feitas com alumínio fundido: coletor de admissão, carcaça de alternador, corpo de borboleta, compressor do ar-condicionado, cilindro mestre e componentes da suspensão, entre outros.

Algumas peças de alumínio fundido ficam posicionadas ao lado dos reservatórios de líquidos inflamáveis, cujo derramamento pode provocar a fusão desses materiais. Quanto a isso, não se pode tirar melhores conclusões.

A suspeita, entretanto, cairá sobre as peças de alumínio fundido que estiverem avariadas por ação térmica, estando longe de qualquer fluido combustível. O perito em incêndio e explosões deve observar se existem, nas proximidades, vestígios de um foco de incêndio.

Deve-se observar, contudo, se essa peça avariada se encontra na rota de saída do fogo, uma vez que as chamas “procuram” aberturas para “respirar”. São estas as saídas das chamas do compartimento do motor: grade frontal, rodas e interior do compartimento de passageiros.

7. TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO EM VEÍCULOS

Assim como nos incêndios estruturais, serão mais fáceis as investigações de incêndio em que houve poucos danos.

Em que pese o pequeno espaço em relação a uma edificação, o fogo e a fumaça comportar-se-ão de modo semelhante em ambos os casos. Dessa forma, a NFPA emprega a mesma metodologia para investigação.

É fundamental que o perito em incêndio e explosões conheça os sistemas de um veículo, sobretudo a forma como operam, de modo a determinar se houve algum mau funcionamento ou alteração na configuração, ou, ainda, se foi uma dessas a causa do fogo.

Para melhor aproveitamento, o veículo deve ser examinado no próprio local do sinistro, uma vez que rastros no chão podem ser importantes para a investigação, como marcas de fogo, queda de vidros e outros detritos.

7.1. Inspeção e gravação das informações

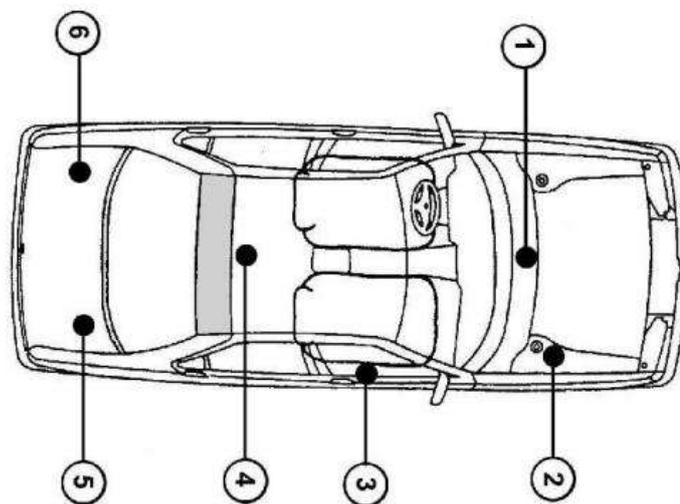
Identificar o fabricante, ano, modelo, placa, cor e VIN (*Vehicle identification number*, também conhecido numeração do chassi). Outros dados poderão ser levantados, como o tipo de motor, sobretudo se forem importantes para a investigação. Se o proprietário não foi localizado e se suspeitar de roubo ou furto seguido de incêndio criminoso, deve-se consultar a situação do veículo. Há aplicativo de celular disponibilizado pelo Poder Público que auxilia o investigador nesse sentido, como, por exemplo, o **Sinesp Cidadão**. Este aplicativo permite verificar se o veículo tem registro ou alerta de roubo ou furto, bem como verificar se a marca, modelo e cor do veículo correspondem à placa encontrada.

Conforme a NBR 6066/2009, o VIN (ou NIV, Número de Identificação do Veículo, em português) é um código internacional

composto por 17 dígitos, alfanuméricos, e deve ser gravado diretamente sobre uma parte integrante do veículo, tais como a estrutura de chassi, ou no caso de veículos com uma estrutura integrada no corpo/chassis, uma parte que não pode ser facilmente removida ou substituída; ou ainda gravada em placa que não pode ser facilmente removível ou substituída.

A Figura 47 apresenta a ilustração com algumas possibilidades de localização do VIN nas principais marcas de veículos de passeio no Brasil:

Figura 47 - Possível localização do VIN



Fonte: SENASP/ANP (2008)

7.2. Cena do sinistro

As informações mais importantes a serem coletadas sobre a cena do sinistro dizem respeito à condição e uso do veículo antes e durante o sinistro. Utilizar as técnicas de coleta de informações descritas neste manual, incluindo a inspeção do próprio veículo. A NFPA 921 (2011) dá exemplos de importantes informações que podem ser colhidas a respeito do veículo:

- Data da última utilização;
- Quilometragem rodada;
- Manutenção;

- Combustível;
- Objetos pessoais;
- Fotografias, durante e depois do sinistro.

Devem ser inspecionados o funcionamento mecânico do veículo sinistrado, a composição e a suscetibilidade ao fogo. Analisar outro veículo do mesmo modelo e ano, bem como consultar o manual, podem assegurar ao perito em incêndio e explosões importantes informações para a determinação da causa.

Toda a cena deve ser observada e fotografada, registrando as condições e localização do veículo, bem como dos elementos a volta atingidos pelo fogo. Desses elementos externos, deve-se ficar atento aos que poderiam vir a provocar um aquecimento desproporcional ao veículo.

Cita-se um curioso caso, que mereceu destaque da imprensa internacional, no ano de 2013. Um prédio em Londres de fachada espelhada começou a derreter compósitos plásticos nos veículos estacionados em frente (*The Guardian*, 2015), fato bastante incomum nas perícias em incêndio e explosões, porém verídico.

As fotos devem incluir todas as faces, inclusive o teto e sob o veículo, bem como todos os compartimentos, no interior e exterior do veículo.

Se o veículo foi removido, pode ser importante analisar e fotografar também a cena, em busca de detritos e outras marcas, bem como ouvir testemunhas.

7.3. Examinando o veículo

7.3.1. Estabelecer a zona de origem

O primeiro passo é determinar a zona de origem do incêndio.

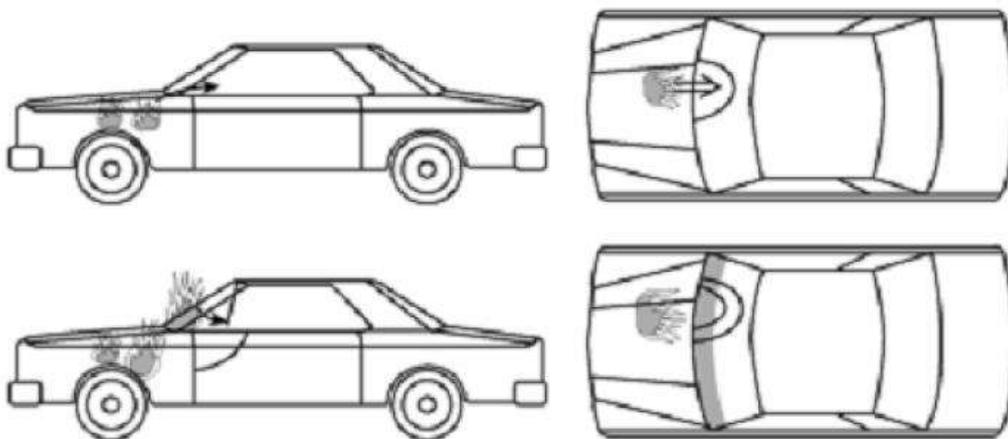
Metodologicamente, pode-se dividir o veículo em três compartimentos, a saber: motor, de passageiros e de carga. Veículos que não possuem o compartimento de carga ou o apresenta conjugado com os passageiros podem ser classificados apenas com dois compartimentos.

Geralmente, para a chama eclodida no compartimento de passageiros evoluir, é necessário que pelo menos um dos acessos (porta, janela) esteja aberto, de modo a permitir a entrada de ar, sem o qual o fogo tenderá extinguir-se.

Um importante indicador do compartimento inicialmente incendiado pode estar presente no para-brisa e na porção do capô mais próximo do para-brisa.

Frequentemente, incêndios iniciados no compartimento do motor deslocam-se para dentro do compartimento de passageiros por meio dos dutos de ventilação e outras aberturas existentes, causando danos, primeiramente, no painel, e na porção inferior do para-brisa, deixando marcas como indicadas na figura a seguir.

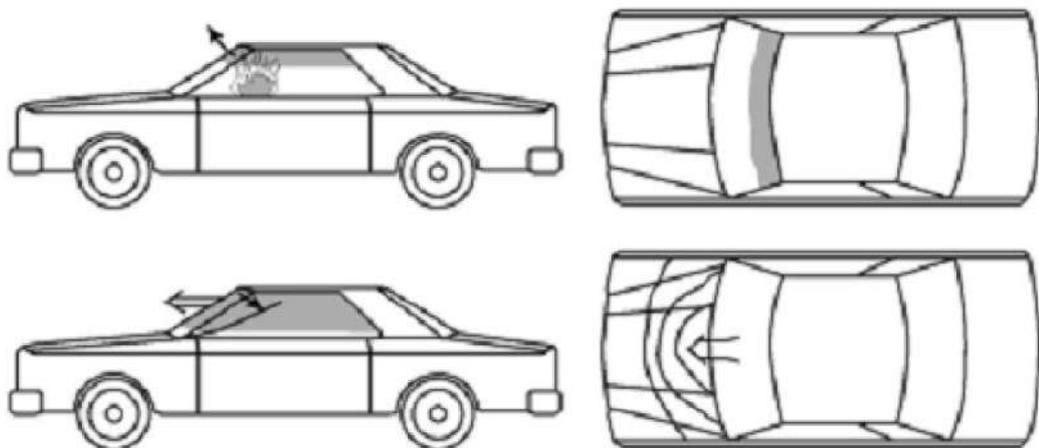
Figura 48 - Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento do motor



Geralmente, focos iniciados no compartimento de passageiro com todos os vidros fechados tendem a se extinguir, por abafamento, pela própria fumaça gerada. Entretanto, basta que uma das janelas esteja aberta para aumentar exponencialmente o risco de propagação até a fase totalmente desenvolvida.

Em oposição, as chamas iniciadas no compartimento de passageiros tendem a atingir a porção superior do para-brisa e, após rompimento, a queimar diretamente a tinta do capô, abrangendo-lhe uma área maior do que na situação anterior, conforme pode ser observada na figura seguinte.

Figura 49 - Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento de passageiros



Fonte: NFPA 921/2011

7.3.2. Examinar os sistemas do compartimento de origem.

Deve ser analisado o estado de cada sistema componente do compartimento de origem e o possível envolvimento no sinistro, conforme já exposto neste manual. Novamente, enfatiza-se a recomendação de se iniciar o exame a partir dos sistemas menos atingidos para os mais atingidos pelas chamas.

Ainda, deve-se estar atento:

- ao potencial de carga de incêndio desses sistemas;
- ao caminho da propagação do fogo;
- ao padrão de queima, que deve ser compatível com o padrão já conhecido;
- ao ponto de fusão dos materiais, com base nas informações anteriores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 6066/2009. **Número de identificação de veículo (VIN)**.

Alphabetical Glossary of Automotive Terms, <http://www.edmunds.com/glossary/>. Acesso em: junho de 2016.

Automotive Industry: Auto Parts, Equipment, and Services, 2016.

BARNETT, Gregory J. **Automotive Fire Analysis. An Engineering Approach**. Third Edition, Lawers&Judges Publishing Company, Inc. Tucson, Arizona, EUA, 2013.

CONTRAN. Resolução nº 254 , de 26 de outubro de 2007.

COSTA. Paulo G. **A Bíblia do Carro. 2001-2002**. Disponível em: https://www.rastrum.com.br/dir_smb/manuais/automotivos/Mecanica%20Automotiva.PDF. Acesso em: junho de 2016.

De OLIVEIRA, Sonia Maria Marques *et al.* **Gás Natural Veicular (GNV)**. Dossiê Técnico. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjU=>. Acesso em: junho de 2016.

DEHAAN, John D. **Kirk's Fire Investigation**. Pearson Prentice Hall, 6ª Edição. California, 2007.

DENATRAN. **Resolução nº 498**, de 29 de julho de 2014.

GUARDIAN, **The. Carbuncle Cup: Walkie Talkie wins prize for worst building of the year.** Disponível em: <https://www.theguardian.com/uk-news/2013/sep/03/walkie-scorchie-building-developers-erect-scaffold>. Acesso em: junho de 2016.

MORASSI, Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros.** Slides disponíveis em: http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf. Acesso em: junho de 2016.

PIDOLL, Ulrich von. **Electrostatic ignition hazards in motor cars – occurrence, detection and avoidance.** ONU/UNECE, Alemanha, 2003. Disponível em: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2003/wp29grsg/TRANS-WP29-GRSG-84-inf02e.pdf>. Acesso em: junho de 2016.

SEBRAE. **Como montar um food truck.** Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-food-truck>. Acesso em: junho de 2016.

SENASP. **Curso de Identificação Veicular.** Apostila. Atualizada em 2008. Disponível em: <http://intranet.pmr.v.sc.gov.br/jsp/procedimentos.do?method=getDocumento&cdPublicacao=502&nuSeq=2&nmArquivo=Identifica%E7%E3o%20Veicular%20Modulo%201>. Acesso em: junho de 2016.

Trace Evidence Analysis Facility (TEAF). **Introduction to examination and comparison of glass examination.** Slides do “2012 Instrumental Analysis Of Trace Evidence Workshops With A Focus On Interpretation Instruction”. Florida International University, 2012. Disponível em: http://teaf.fiu.edu/Training_Downloads/Module%203_Forensic%20examinations.pdf. Acesso em: junho de 2016.

III. INCÊNDIO FLORESTAL

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo contém algumas particularidades inerentes ao incêndio florestal.

Incêndio florestal é todo e qualquer incêndio que consome material combustível classe A, originário da vegetação.

É também todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser tanto provocado pelo homem (intencional ou por negligência) ou por fonte natural (raio, por exemplo) (IBAMA, 1994).

Incêndio florestal também pode ser definido como uma combustão não controlada que se propaga livremente, consumindo os combustíveis naturais de uma floresta, tais como serrapilheira⁶ (ou *litter*), gramíneas, folhas, tocos e galhos mortos e até mesmo a vegetação viva, dependendo da intensidade (Batista & Soares, 1997).

Outro conceito é que incêndio florestal pode ser fogo sem controle (incêndio) que se propaga livremente e consome os diversos tipos de material combustível existentes em uma floresta (Soares, 1985, apud Nunes, 2005).

O conceito na área da perícia do CBMDF se complementa com a ideia de que o incêndio florestal queima o que não estava destinado a queimar, independentemente do tipo de vegetação afetada.

⁶ Serrapilheira é uma camada que fica acima do solo e é formada por restos de folhas, galhos, frutos e demais partes vegetais bem como restos de animais e excretas (<http://www.iguiecologia.com/o-que-e-serrapilheira/>)

Aqui se esclarece que no bioma Cerrado, e em outros biomas não tipicamente compostos por florestas, também ocorrem incêndios florestais, em sentido amplo, como traz o fundamento contido no conceito da perícia do CBMDF.

Nesse sentido, pode-se fazer a investigação de incêndio florestal em locais com áreas de campo, brejos, matas, reflorestamentos, florestas... ou seja, a especialidade **florestal** dessa investigação provém do radical **flora**, significando que o material combustível do incêndio provém de todo o conjunto de vegetais que forma um ambiente ou ecossistema, podendo ser composto de gramíneas, ervas, arbustos e/ou árvores, vivos ou mortos.

Essa denominação é importante para o bioma Cerrado, assim como para os demais biomas brasileiros; porém o foco deste capítulo serão os incêndios florestais no bioma Cerrado, onde os peritos em incêndios e explosões do CBMDF têm exercido a função rotineiramente, pois o DF tem 100% de sua área territorial inserido nesse bioma.

Outra particularidade é que o fogo aqui é tratado como parte integrante dos ecossistemas do bioma Cerrado, um mosaico de formações vegetais que variam desde campos abertos até formações densas de florestas, tal como ele é (Aguiar & Camargo, 2004).

Em termos globais, o Cerrado pode ser considerado uma Savana, como partes da África e da Austrália, mas trata-se de um ambiente totalmente singular (Branco, 2003). Em uma das classificações mundiais de vegetação, é uma savana tropical úmida. Existem, em sua forma, influências marcantes e determinantes primárias: a sazonalidade de chuvas (período chuvoso e estiagem) e os solos profundos, e de forma secundária, o fogo, a herbivoria e o manejo das paisagens (Silva Jr, apud SEMARH, 2003).

Registros históricos indicam a existência do Cerrado no Planeta Terra como ecossistema natural e autoregenerativo, com a presença do fogo. O fogo periódico é um dos condicionantes da vegetação do Cerrado

(Silva Jr, apud SEMARH, 2003). A presença humana, nos últimos 10.000 anos, tem sido a maior causa dos incêndios florestais no Brasil (Coutinho, 1982 apud Silva Jr).

Sob outra perspectiva histórica, o fogo na região do Cerrado remonta há mais de 22.000 a.C., e só ocorriam por causas naturais, geralmente no início da estação chuvosa; já com a presença humana, o regime de queimas mudou, aumentando sua frequência, com incêndios ocorrendo no início e no meio da estação mais seca de cada ano (MMA, 2011).

Conhecer o Cerrado e suas peculiaridades é base fundamental para a avaliação e investigação dos incêndios florestais.

2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL GERAL E APLICADA

Uma importante ferramenta para investigação dos incêndios florestais é a pesquisa da legislação ambiental vigente no local do sinistro, especialmente a relacionada ao uso do fogo.

A legislação ambiental contemporânea que rege as atividades nos ambientes naturais é relativamente recente, conjugada com movimentos mundiais relacionados ao meio ambiente. Seu início se deu em discussões científicas fechadas, de grupos específicos; depois, um crescente interesse transformou esse começo restrito a encontros continentais e até mundiais. Várias dessas convenções suscitaram legislações brasileiras que regem atividades em ambientes naturais e, em alguns casos, até o de cometimento de crimes ambientais, o que também inclui práticas com o uso de fogo.

A legislação brasileira ambiental é ampla na esfera federal e, em muitos Estados Federados, alguns regramentos específicos regem as questões relacionadas, por exemplo, ao uso de fogo como prática agrícola.

Nesse sentido, é necessário certificar-se dos regramentos que estão em vigor e se não são conflitantes com os das esferas superiores, até o nível federal.

Outro ponto é que há um conjunto específico de leis, decretos e outras normas para as unidades de conservação, o que as diferencia das demais áreas, com permissões e proibições de atividades, de forma bem detalhada.

Os Planos de Manejo, documento que cada unidade de conservação deveria ter e ser de domínio público, são importantes instrumentos nesse detalhamento de atividades permitidas e proibidas dentro da área, inclusive as atividades com uso de fogo.

Esses planos são periodicamente revisados e atualizados, portanto devem ser consultados quando do momento da investigação de qualquer incêndio florestal dentro dessas unidades de conservação. Essa situação também se repete quanto às esferas (federal e estadual), como a anteriormente citada.

Alguns regramentos da esfera federal, que podem ser consultados sempre que necessário, cujos objetos estão no Anexo 1, sendo estas:

1. Sistema Nacional de Unidades de Conservação (9.985/2000);
2. Lei de Proteção à Fauna (Lei 5.197/1967);
3. Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/1981);
4. Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998);
5. Resoluções CONAMA, por exemplo a Resolução CONAMA n. 11, de 14 de dezembro de 1988;
6. Código Florestal (Lei 4.771/1965);
7. Novo Código Florestal
8. Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12651/2012);
9. Plano de manejo de unidade de conservação federal;

10. Outras.

Exemplos de regramentos estaduais e distritais, do mesmo modo consultados quando necessário, resumidos no Anexo 2:

1. Manejo de cana-de-açúcar com fogo, em SP;
2. PPCIF – Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, no DF (Decreto 1.7431/1996);
3. Lei contra queima de lixo, no DF;
4. Política Ambiental do DF;
5. Plano de manejo de unidade de conservação estadual ou distrital;
6. Autorização de queima controlada;
7. Outras.

Aqui cabe destacar a importância no estudo das práticas agrícolas e silviculturais com uso do fogo, como as queimas controladas e as diversas técnicas.

Queimas controladas podem ser realizadas com diversos objetivos e de variados modos, dentre eles: fogo a favor do vento, fogo contra o vento, fogo em manchas, fogo de flanco, queima Chevron, queima central ou anel de fogo. Essas práticas têm, em comum, a vantagem de ser de baixo custo operacional, embora com alto risco de saírem de controle. A apresentação dessas técnicas está fora do escopo deste trabalho, mas, para mais informações sobre as características dessas queimas, existe o material produzido por Couto & Candido, 1980; Batista & Soares, 1997, entre outros autores.

No Brasil, cada local tem um tipo de técnica mais comumente utilizada pelos agricultores e, cada Estado Federado e respectivas Secretarias de Agricultura e Meio Ambiente, podem ter regras específicas sobre a autorização no emprego dessas técnicas para os agricultores ou

outros solicitantes, que devem ser confirmadas durante o processo investigativo dos incêndios florestais.

3. HISTÓRIA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Incêndios florestais ocorreram e ocorrem em várias partes do mundo, em diversos ambientes e desde tempos idos. Livros e inúmeras publicações apresentam o histórico desse fenômeno, assim como relatos de incêndios florestais históricos ao redor do mundo.

No Brasil, o início marcante dessas ocorrências foi o incêndio florestal no sul do país, no Estado do Paraná, conhecido como o “Paraná em flagelo”, em 1963. Esse evento perdurou vinte dias, o fogo, sem controle, consumiu áreas rurais e urbanas, causou prejuízos econômicos locais e regionais e, principalmente, ceifou vidas. O Paraná teve 30% de sua área queimada e 73 mortos relatados à época.

Passados cinquenta anos do ocorrido, vários jornais reviveram aquele período. A *Gazeta do Povo*, estampou a seguinte manchete, no dia 9 de agosto de 2013: “Quando o Paraná virou um inferno – Em 1963, quando o “demônio reinou”, um incêndio devastador atingiu 128 cidades do Estado e matou 110 pessoas”. A *Folha de Londrina*, em 5 de setembro de 2013, também publicou uma matéria: “Fogo e geada, uma tragédia há 50 anos.”

Segundo os pesquisadores Soares & Batista, mundialmente, aquele incêndio pode ser considerado o segundo mais dramático do planeta, devido aos números: 110 mortos oficialmente, centenas de feridos, 5,5 mil casas destruídas e 5,7 mil famílias desabrigadas.

Além disso, as áreas queimadas foram estimadas entre 965 mil e 2 milhões de hectares, atingindo mais de 100 municípios em todo o Estado do Paraná. A estiagem prolongada, após geada, facilitara a expansão do fogo. O incêndio teria iniciado na segunda quinzena de agosto e cessado entre os dias 18 e 20 de setembro de 1963.

Segundo esses mesmos pesquisadores, apesar dos reforços de outros Estados Federados e de outros países como Estados Unidos, além de suprimentos vindos da Itália, do Japão, da China e da Suíça, o incêndio só cessou após a chegada da chuva (Anexo 3).

A partir desse grande incêndio florestal no Paraná, houve um impulso para o desenvolvimento na área de incêndios florestais, nas esferas de ensino, pesquisa, equipamento, treinamento, planejamento, monitoramento, prevenção e controle, além da própria investigação.

E, como investigação, conforme Matos & Carvalho (2001), os enfoques deste trabalho não se restringem ao pressuposto da existência de crime, e sim se estendem para apontar as causas, a autoria, instruir processos na justiça, alimentar bancos de dados estatísticos a fim de subsidiar a elaboração de planos e sistemas de proteção, apontar eventuais falhas nas demais fases do ciclo operacional bombeiro militar, avaliar e quantificar danos, além de estimar a eficácia de métodos ou equipamentos empregados nas demais fases.

Eles acrescentam que os Corpos de Bombeiros têm especial interesse nessa investigação para a retroalimentação do sistema como um todo, que contempla as fases normativa, estrutural, ativa e investigativa, e conclui que a investigação é, em última análise, o órgão controlador do sistema, pois conhece, acompanha o desempenho e promove a evolução do sistema por completo.

4. NOÇÕES DE ECOLOGIA

Ecologia, conceitualmente, é a parte da Biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o meio ambiente em que vivem, bem como suas recíprocas influências (Ferreira, 1999).

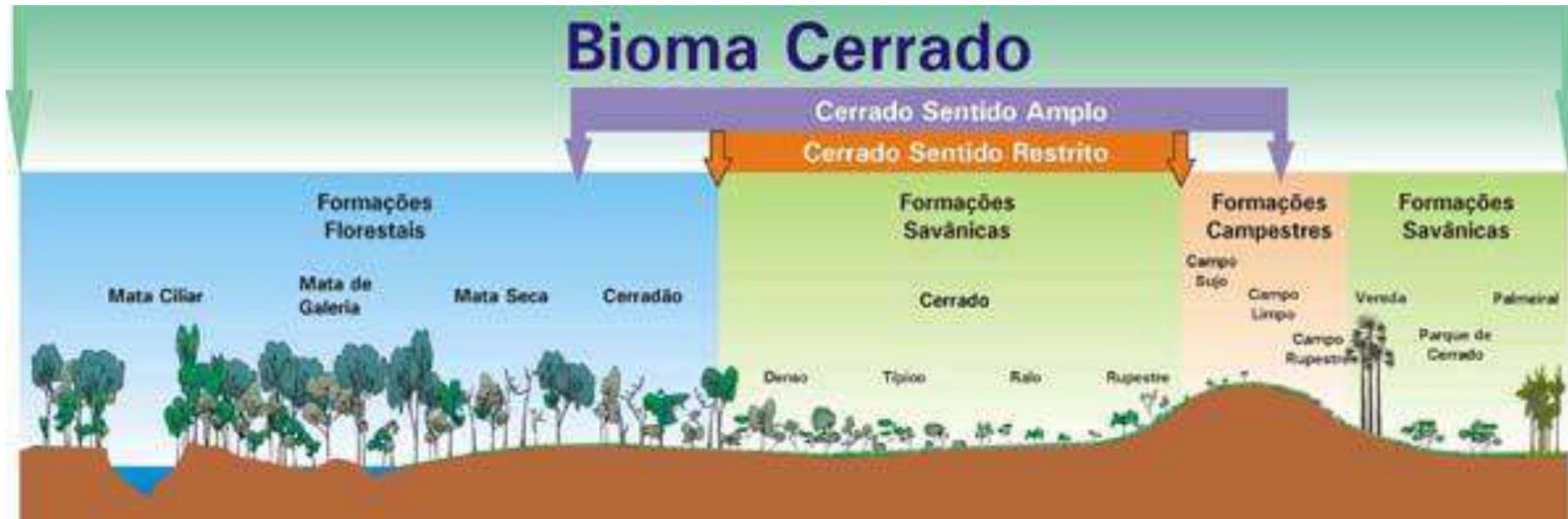
Neste capítulo, serão abordadas algumas questões que influenciam mais diretamente e com maiores variações a ocorrência e a dinâmica dos incêndios florestais. É imprescindível lembrar que todo e qualquer ambiente, onde tenha ocorrido um incêndio florestal a ser investigado, é fruto de uma série de processos ecológicos que resultaram no ambiente a ser estudado.

A principal característica de um incêndio florestal é não estar confinado e se propagar livremente. É um fogo que queima livremente, respondendo apenas às variações do ambiente. Devido às chances de combinações dos combustíveis naturais, clima e topografia, esse fogo pode permanecer somente como um pequeno ponto de combustão lenta ou pode rapidamente se desenvolver num fogo de grandes proporções. Nos dois casos, está respondendo livremente ao ambiente local (Batista & Soares, 1997).

No bioma Cerrado, as fisionomias são variadas e seus conteúdos e tipos de materiais combustíveis, complexos.

Os principais tipos fisionômicos, didaticamente divididos para melhor compreensão, são os que compõem as formações florestais, as formações savânicas e as formações campestres. O esquema apresentado a seguir demonstra essas variações e pode ser consultado no capítulo de Ribeiro & Walter, 2008 (*in* Sano, Almeida & Ribeiro, 2008). Todas as figuras relacionadas às fitofisionomias do bioma Cerrado, transcritas na Figura 50, são provenientes dessa publicação.

Figura 50 - Principais tipos fisionômicos do Bioma Cerrado



Fonte: Ilustração: José Felipe Ribeiro, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

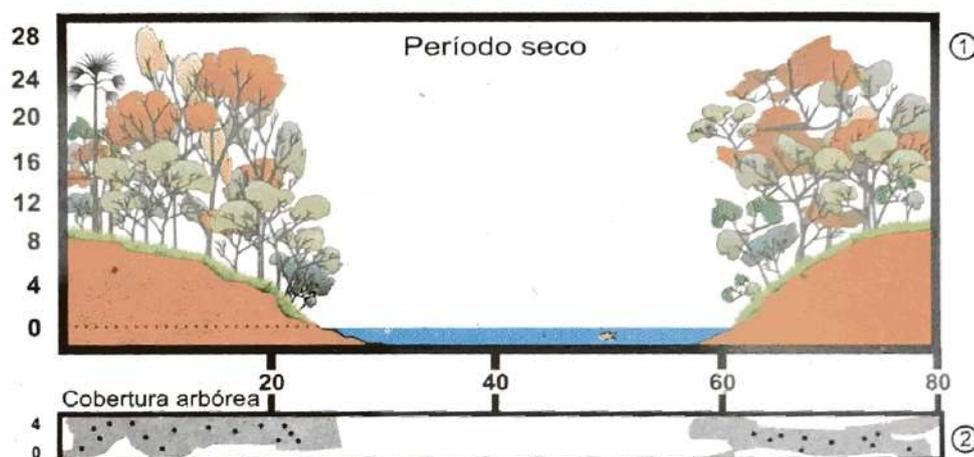
As formações florestais são as matas ciliares, as matas de galeria, as matas secas e o cerrado.

As formações savânicas são os tipos de cerrado: denso, típico, ralo e rupestre, além das veredas, parque de cerrado e palmeiral.

Já as formações campestres são os campos: sujo, limpo e rupestre.

Em cada uma dessas fisionomias há uma composição própria das espécies vegetais, além da cobertura do solo, conforme os esquemas a seguir apresentados.

Figura 51 - Mata ciliar



Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

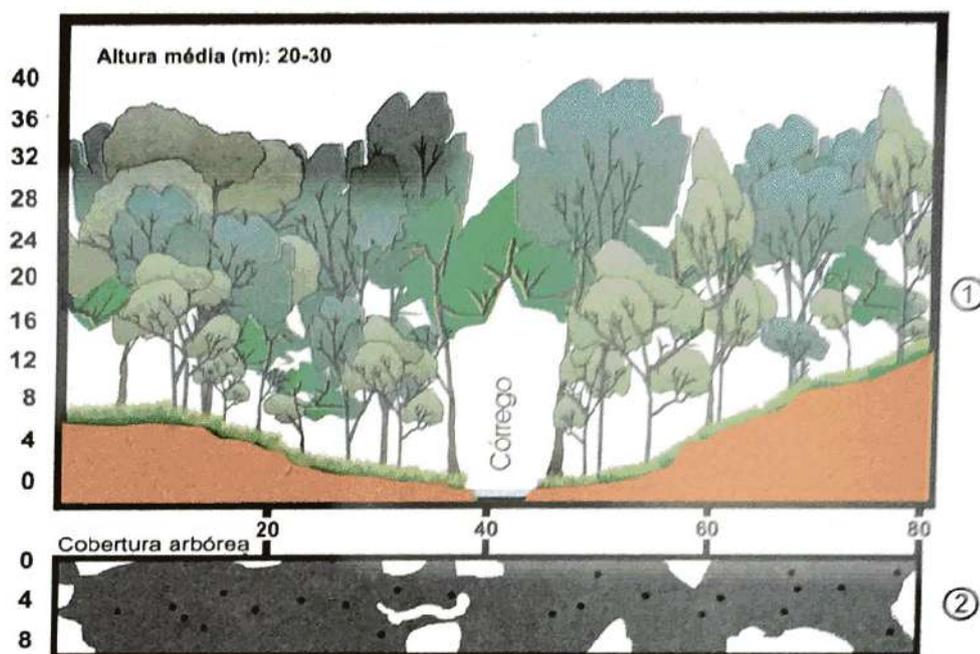
Mata ciliar pode ser representada conforme a figura acima, onde o leito do curso de água recebe luz solar diretamente e suas bordas são preenchidas com um complexo vegetacional de árvores, arbustos e, em menor expressão também gramíneas e ervas. A composição geral não se modifica com o período chuvoso, exceto pelo ligeiro aumento na largura do curso de água.

As matas de galeria mais comuns em todo o Distrito Federal e representadas conforme a Figura 52, apresentam o leito do curso de água que não recebe luz solar diretamente. A borda é também preenchida com

árvores, arbustos, ervas e gramíneas e, mesmo durante a estiagem, com algumas árvores que podem perder as folhas, raramente o leito do córrego é aquecido de forma direta pelo sol.

Uma outra informação contida neste esquema é a altura média das árvores, normalmente entre 20 e 30 metros. O esquema de cobertura arbórea entre elas e a mata ciliar pode ser considerado similar.

Figura 52 - Matas de galeria



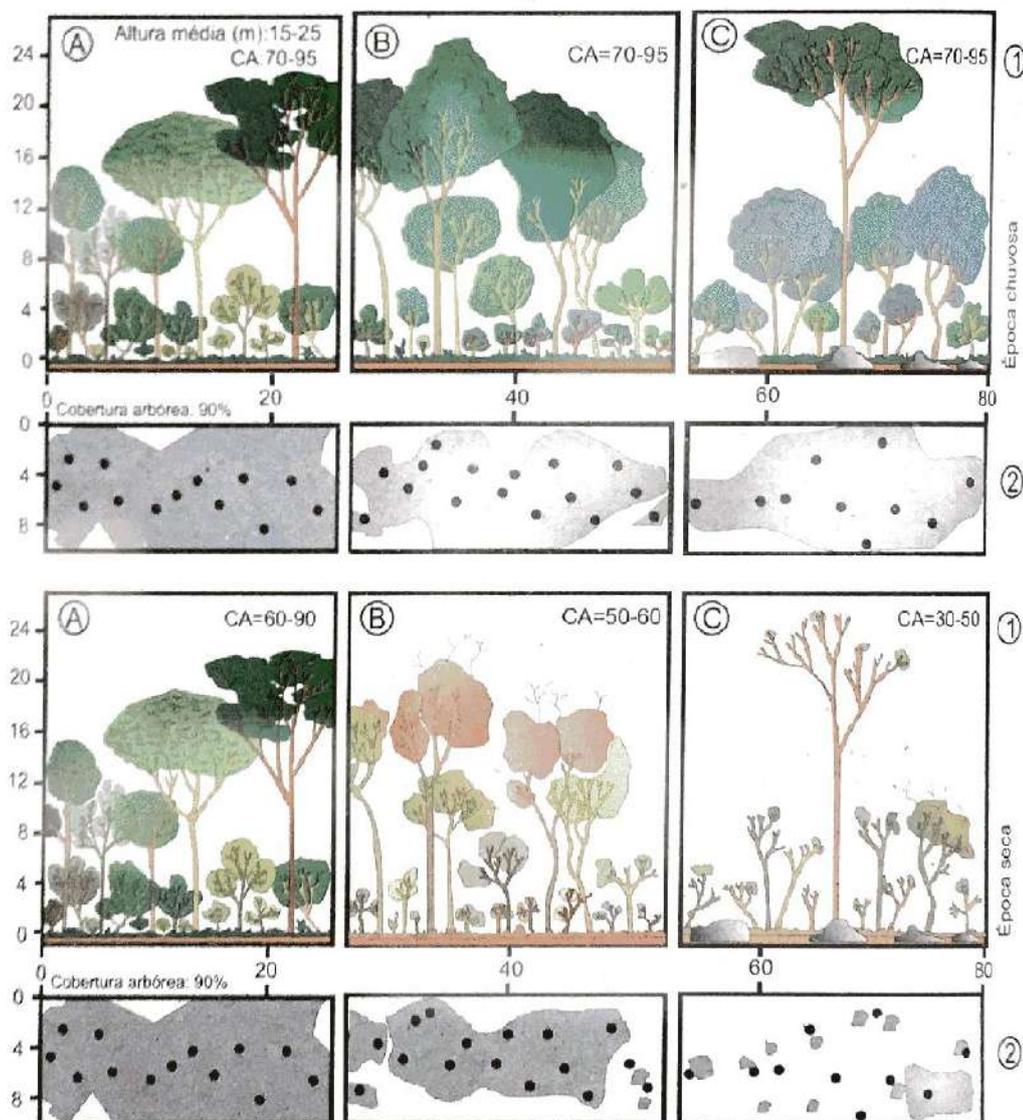
Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

As matas secas e os cerradões possuem uma composição vegetal que contempla a existência de algumas espécies que perdem as folhas durante a estiagem, para diminuir a evapotranspiração. Essas duas fisionomias, da categoria de fisionomias florestais, geralmente não estão associadas a cursos de água.

As matas secas, de árvores com alturas entre 15 e 25 metros, cobertura arbórea entre 70 e 85% apresentam dois cenários distintos entre a época chuvosa e a estiagem. Conforme a categoria de mata seca (por exemplo, a categoria C da Figura 53), a perda de folhas é tão significativa que chega a diminuir a cobertura arbórea (CA) em até 50%, permanecendo

somente alguns indivíduos arbóreos com copa, durante a estiagem. Veja este esquema das categorias de matas secas:

Figura 53 - Matas secas

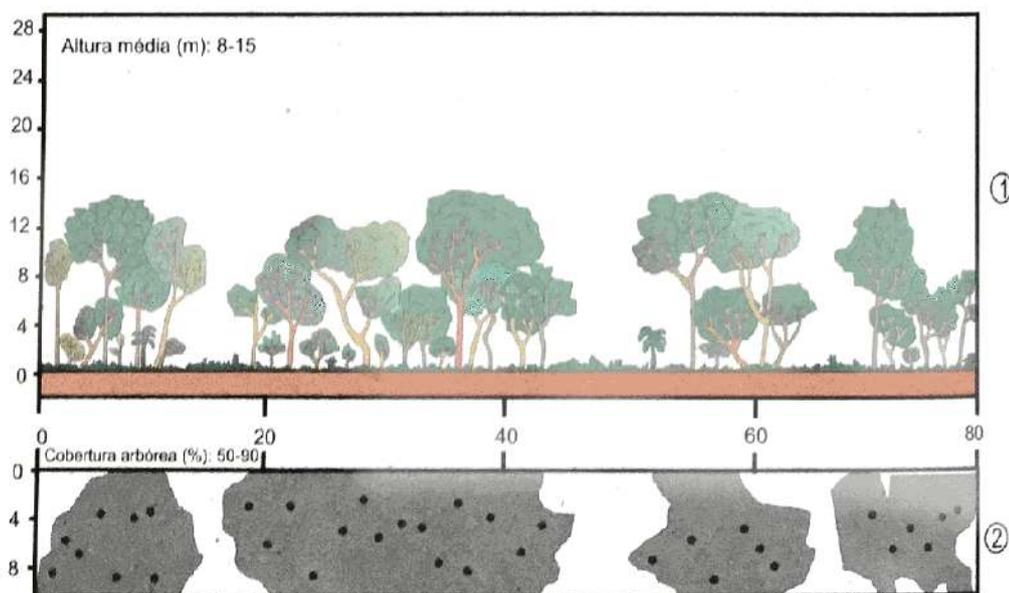


Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

O cerradão, com alturas médias das árvores entre 8 e 15 metros, e cobertura arbórea média entre 50 e 90%, pode ser representado conforme o esquema a seguir. Note que podem ocorrer ilhas de cobertura arbórea e lacunas de vegetação rasteira expostas diretamente ao sol.

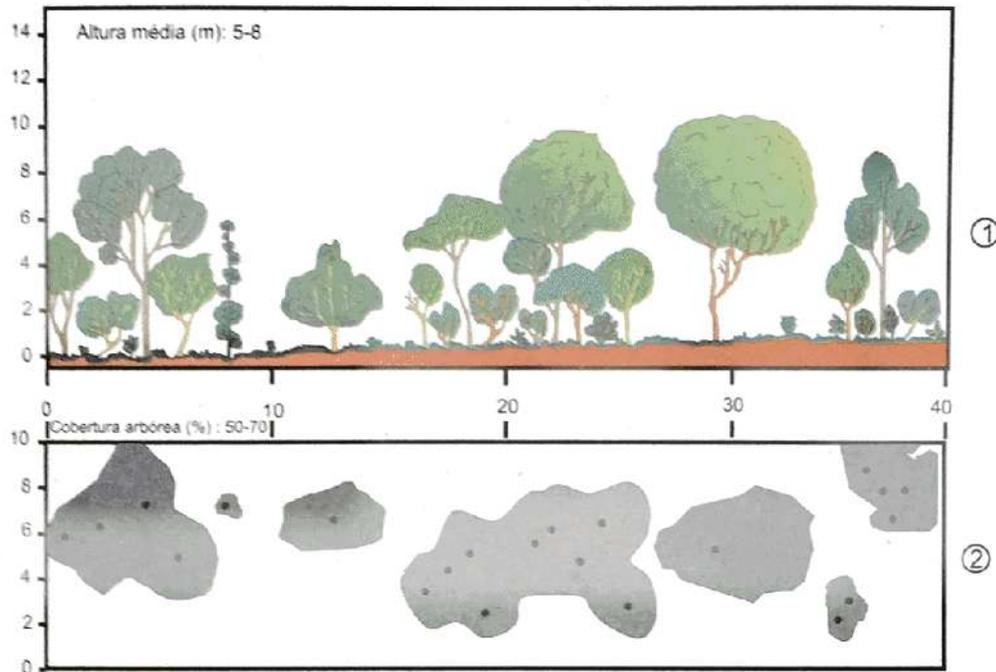
Isso denota uma possibilidade de continuidade horizontal de material combustível fino mais pronunciado nesta fisionomia que nas anteriores, na categoria de fisionomias florestais do bioma Cerrado.

Figura 54 – Cerradão



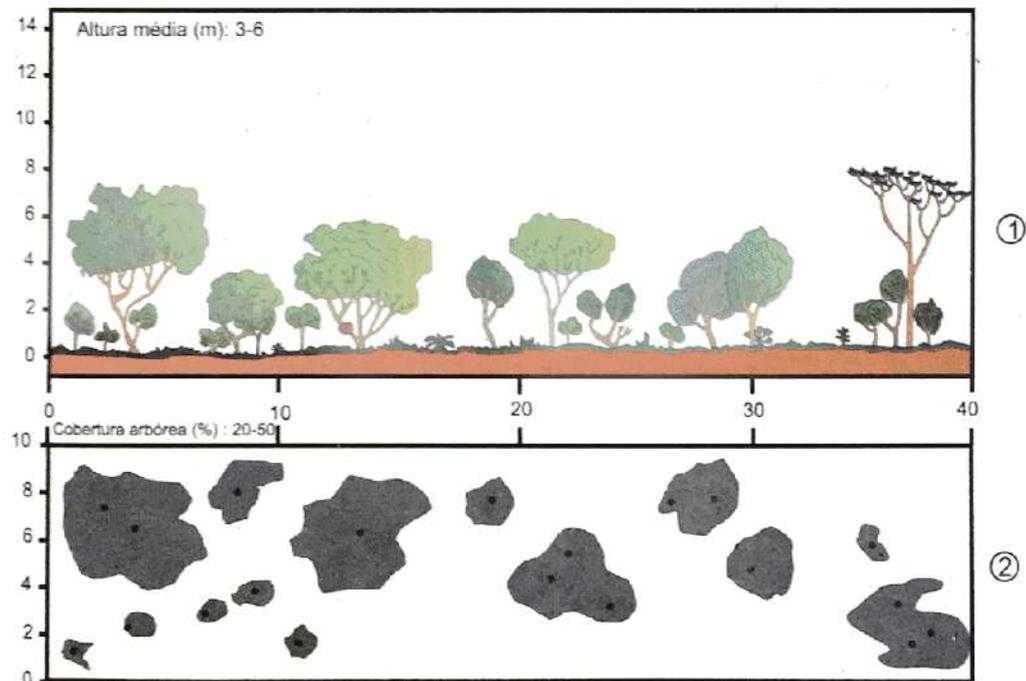
Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

As formações savânicas, que são os tipos de cerrado: denso, típico, ralo e rupestre, além das veredas, parque de cerrado e palmeiral, já apresentam uma característica diferenciada. O cerrado denso tem árvores de altura média entre 5 e 8 metros e cobertura arbórea entre 50 e 70%. Isso indica que todo o espaço restante é coberto com plantas de menor porte, como ervas e gramíneas.

Figura 55 - Cerrado denso

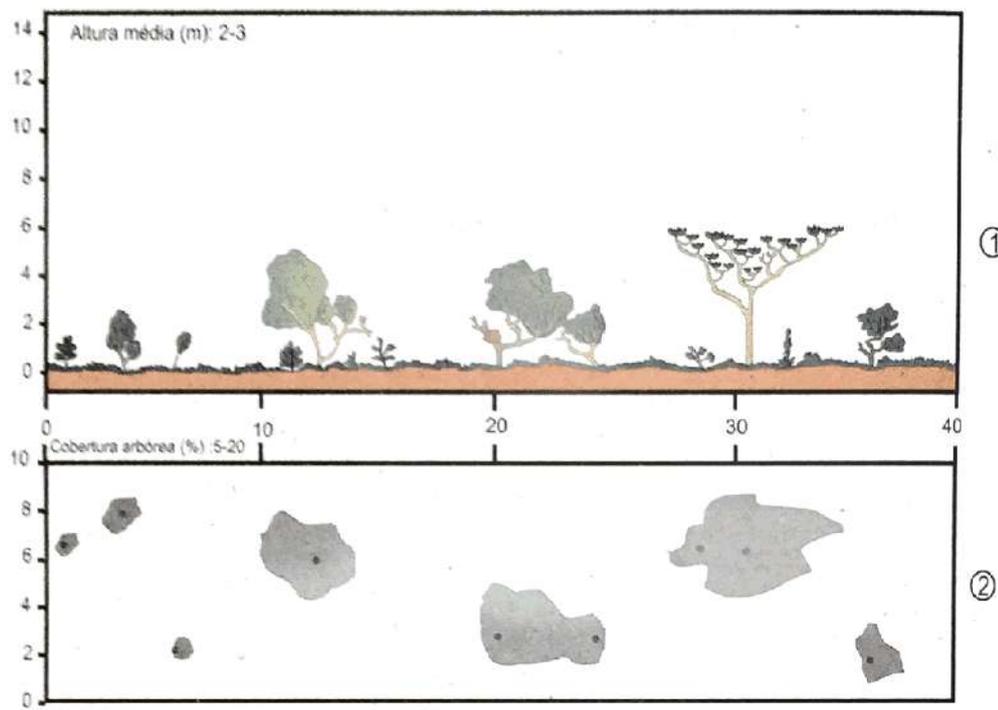
Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Cerrado típico, conforme a Figura 56, apresenta árvores com altura média de 3 a 6 metros e cobertura arbórea entre 20 e 50%. Desse modo e mais intensamente, o restante da cobertura é composta de arbustos, ervas e gramíneas.

Figura 56 - Cerrado típico

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

O cerrado ralo ainda apresenta árvores, com altura média entre 2 e 3 metros, porém sua cobertura arbórea raramente extrapola os 20%, como pode ser visto na Figura 57.

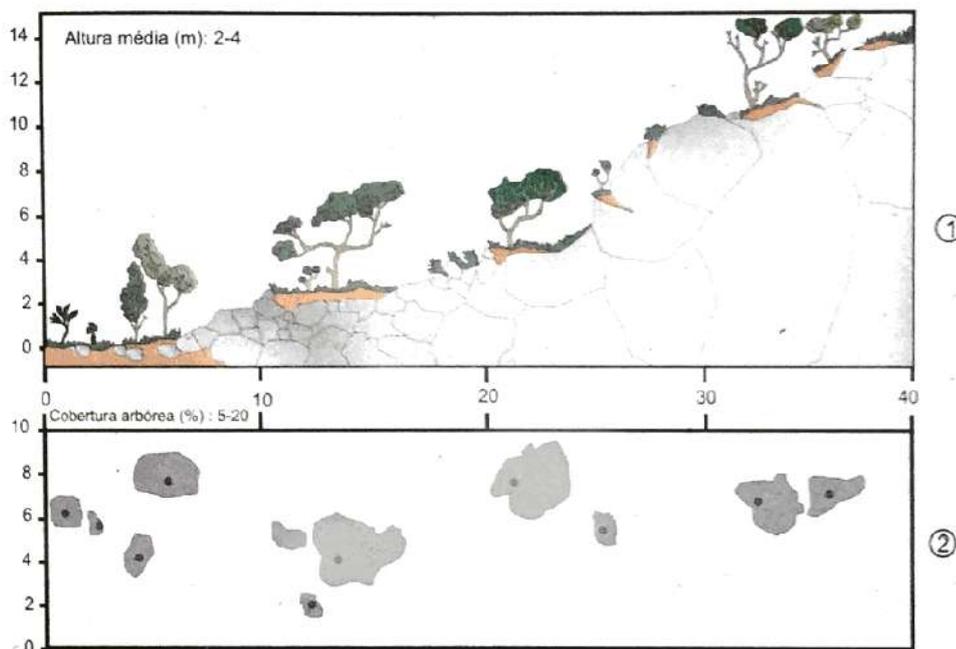
Figura 57 - Cerrado ralo

bb

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

O esquema a seguir (Figura 58) demonstra um típico cerrado rupestre, associado a ambientes rochosos. Sua cobertura arbórea é semelhante a do cerrado ralo, porém sua principal característica é o substrato, onde a vegetação está sobre pouco solo entre afloramentos de rocha.

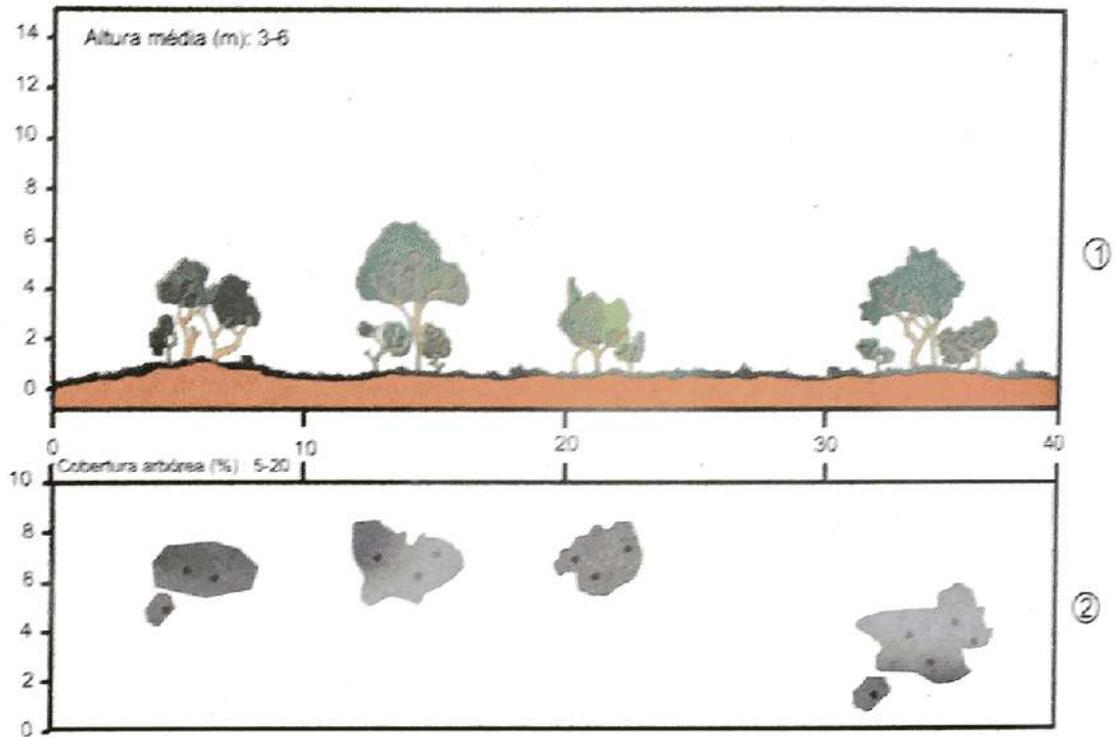
As árvores situam-se em fendas nas rochas, mas em geral, a vegetação arbustivo-herbácea é predominante. Nessa fisionomia há uma descontinuidade horizontal do material combustível bem frequente.

Figura 58 - Cerrado rupestre

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

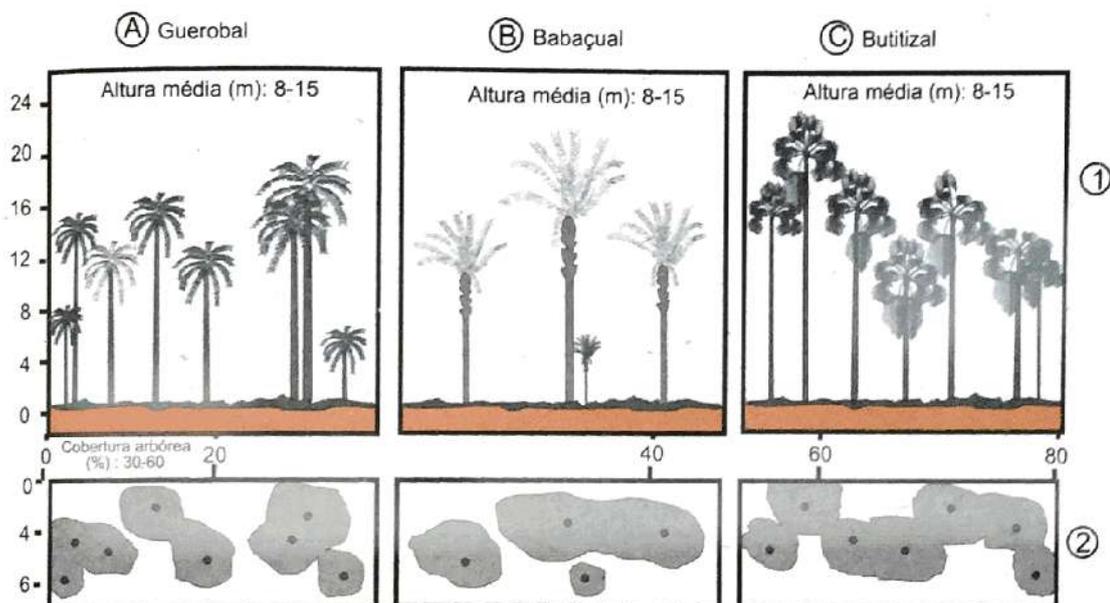
O parque de cerrado, também chamado de campo de murunduns, é semelhante ao cerrado rupestre em termos de cobertura arbórea. O diferencial é a presença de elevações e depressões no terreno, muitas vezes imperceptíveis a olho nu, mas que promovem o alagamento temporário ou certa saturação hídrica nas depressões.

Nas elevações, as espécies arbóreas são mais próximas às espécies do cerrado típico e, nas depressões, as espécies são mais parecidas às dos campos úmidos, o conjunto das gramíneas.

Figura 59 - Parque de cerrado, também chamado de campo de murunduns

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Já os chamados palmeirais, podem ser compostos com uma espécie predominante de palmeira, cujos nomes bem diferentes demonstram a dominante, por exemplo, babaçual ou guerobal. No DF, em terrenos mal drenados dos fundos de vales pouco íngremes, os buritis são dominantes, formando os buritizais.

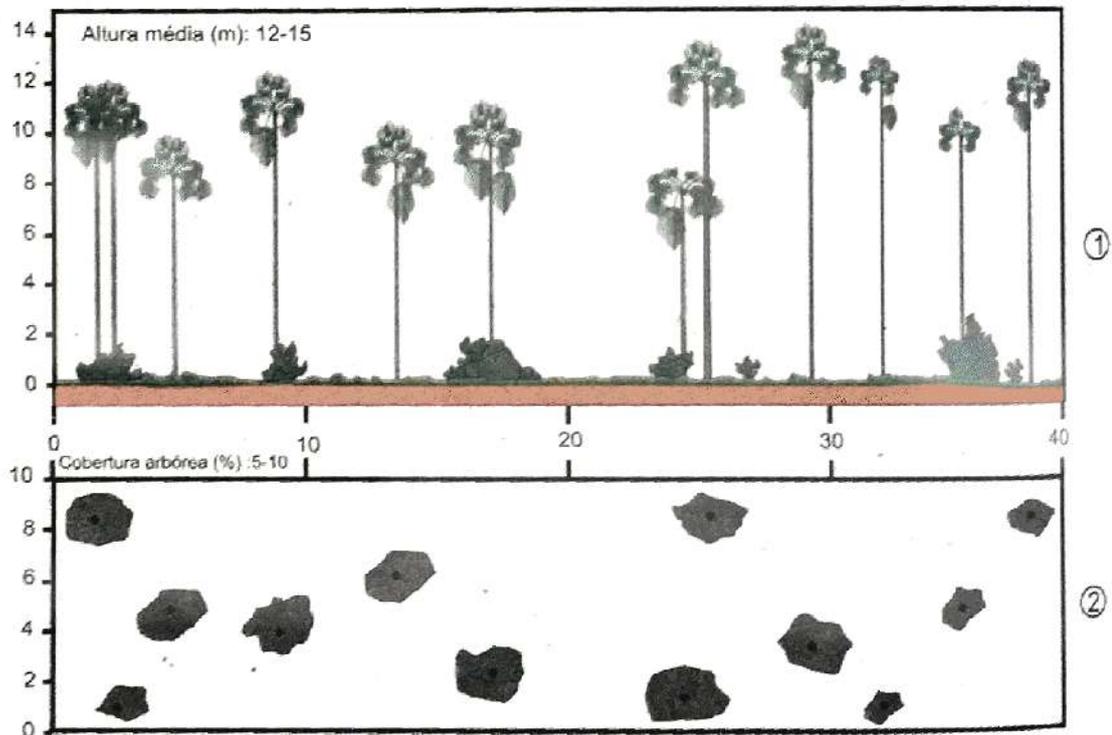
Figura 60 - Palmeirais

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Um diferencial na identificação entre o palmeiral e a vereda, é que no primeiro há uma formação de dossel, ou seja, as copas das palmeiras se tocam e formam uma cobertura aérea conjunta, mesmo que não contínua. A média de altura das palmeiras é de 8 a 15 metros.

Nas veredas, a cobertura é de um único indivíduo, pontualmente, com média de altura de 12 a 15 metros. Outro ponto importante é que a vereda é acompanhada de um estrato mais ou menos denso de espécies arbustivo-herbáceo.

Figura 61 - Veredas

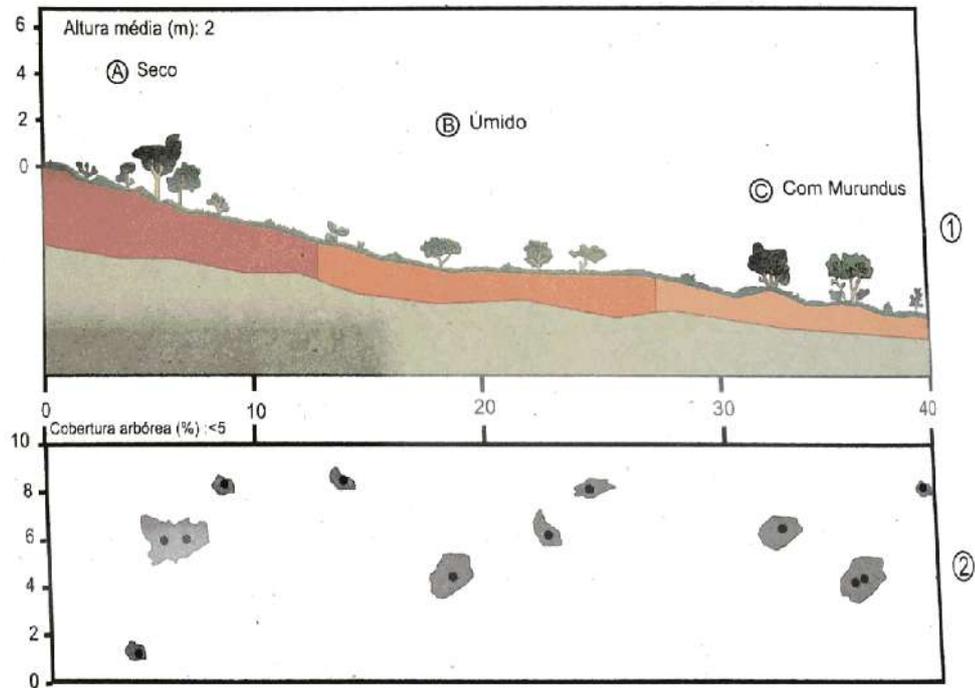


Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Das classificações citadas, as formações campestres compostas das fisionomias dos campos: sujo, limpo e rupestre se diferenciam por não apresentarem espécies arbóreas. Em todos e em cada um deles, há subtipos de acordo com o solo e com a saturação hídrica.

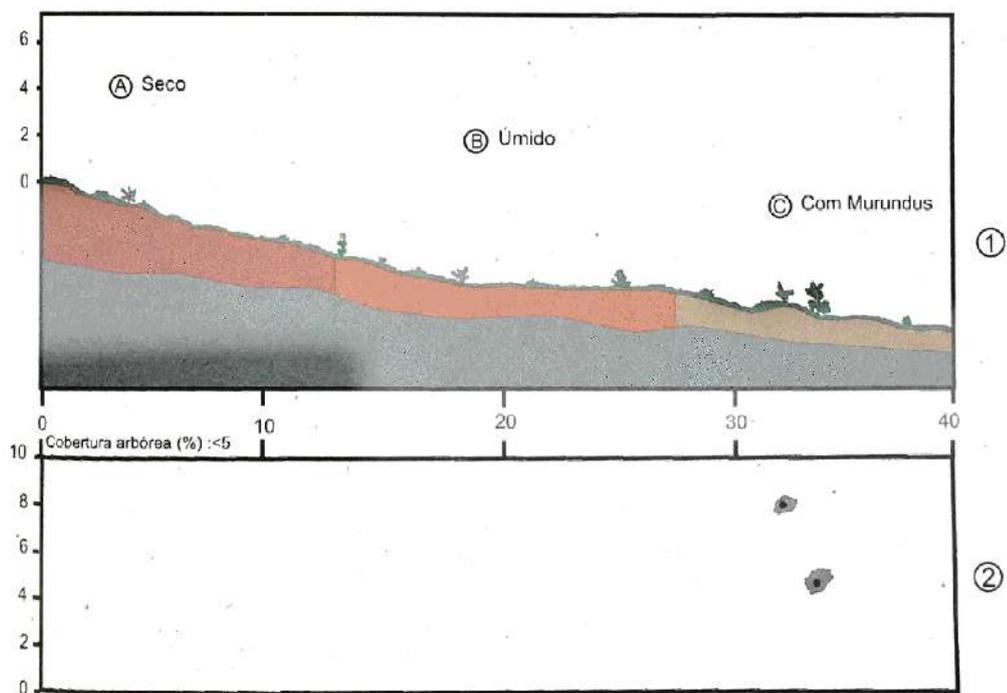
Os esquemas a seguir, em ordem, denotam as diferenças, porém o mais importante para um perito em incêndio florestal é compreender que essas áreas são basicamente compostas com vegetação herbáceo-arbustiva.

Figura 62 - Esquema de campo sujo

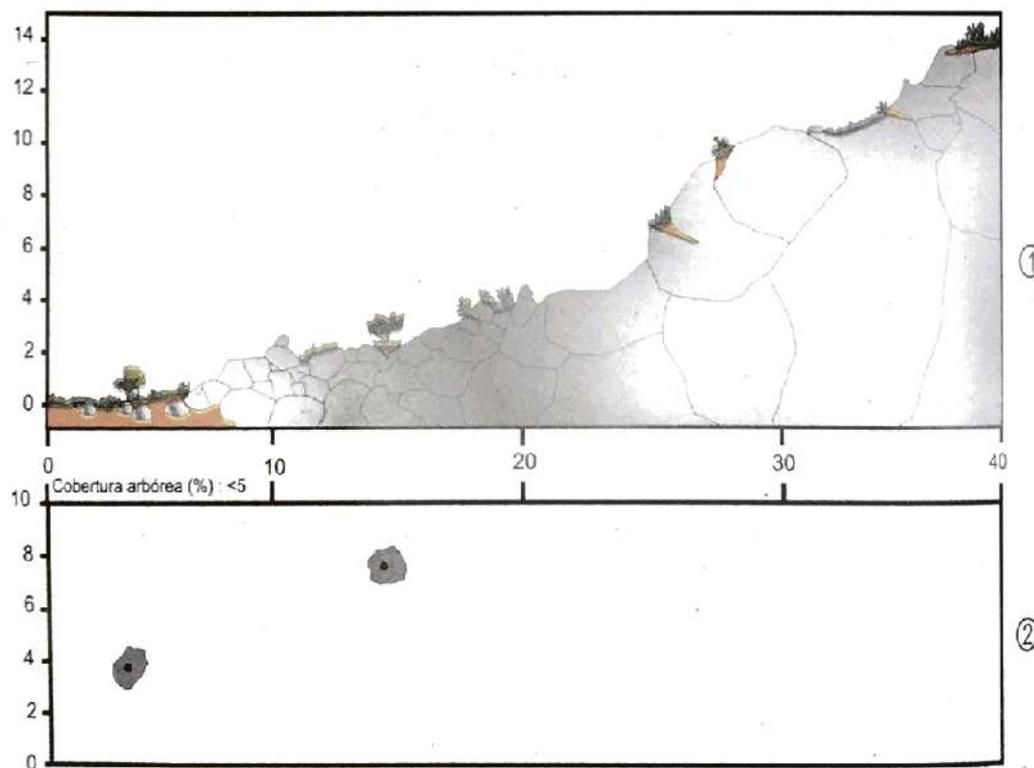


Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Figura 63 - Esquema de campo limpo



Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

Figura 64 - Esquema de campo rupestre

Fonte: Ilustração: Wellington Cavalcanti, em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>

A simples identificação da fisionomia afetada pelo incêndio não determina quaisquer fatores na investigação, mas ter esse conhecimento é a base para elaboração, por exemplo, da hipótese sobre o provável objeto causador do incêndio.

Dependendo do material combustível e a distribuição horizontal e vertical da área, disponível na zona de origem do fogo, pode ser mais provável um ou outro objeto causador. Conhecer as distribuições espaciais dos tipos de materiais combustíveis disponíveis, bem como a relação com as condições meteorológicas, é imprescindível para compreensão geral do comportamento do fogo no início, durante e ao final do incêndio.

Mais importante que saber qual fisionomia do bioma Cerrado o incêndio consumiu é a composição média, em termos dos materiais

combustíveis, e suas relações com as possíveis fontes de ignição, além de também estimar o comportamento do fogo.

Um caso de incêndio florestal que teve origem em uma área de campo sujo, cujo material combustível é predominantemente graminoso com alguns arbustos esparsos, pode ter sido iniciado com um objeto muito leve, como um fósforo. Dependendo das características dos materiais combustíveis nas proximidades que não sofreram incêndio, se eles estiverem mortos e/ou muito secos, pode ter ocorrido um comportamento mais agressivo, com uma alta velocidade de propagação, e cujo efeito do vento foi relevante para a progressão do incêndio.

Já, em outra situação, nas mesmas condições meteorológicas e de local do exemplo anterior, um incêndio florestal cuja origem ocorreu em uma mata de galeria, cuja composição é de material mais verde, poucas gramíneas e predomínio de árvores e arvoretas (árvores em estágio jovem de crescimento), a busca por um objeto causador como fósforo é menos viável que no caso anterior. Este incêndio tende a ter sido um incêndio mais lento, em termos de propagação e cujo efeito do vento foi menos determinante para a progressão.

5. NOÇÕES DE COMPORTAMENTO DO FOGO

A tarefa de investigar as causas de qualquer incêndio exige, dentre outras tantas, a habilidade de identificar os caminhos que o fogo traçou durante o avanço, retrocedendo, assim, ao ponto de origem. Para tanto, necessário se torna o conhecimento sobre o comportamento das diversas condições ambientais (meio físico e condições atmosféricas), uma vez que o fogo, ao deslocar-se, deixa registrado o rastro de evidências (indicadores). Caberá ao perito, basicamente, "ler" tais indicadores e percorrer o caminho inverso até o ponto de origem.

Tal competência não é algo exatamente simples de se adquirir, contudo a prática mostrará que olhos bem treinados aliados a um bom conhecimento do comportamento do fogo facilitarão sobremaneira essa parcela no trabalho investigativo, tornando-a tranquila e até prazerosa.

A observação minuciosa dos efeitos causados nos materiais combustíveis e não combustíveis mostram a direção e o sentido do andamento do incêndio florestal. O grau de dano nesses materiais já reflete as etapas dele. Baseado nos indicadores de queima e nos princípios básicos do comportamento do incêndio florestal, pode-se determinar a área de origem, o ponto onde o incêndio realmente começou e o objeto causador da ignição, quer seja um palito de fósforo, um dispositivo de ação retardada ou até mesmo uma partícula incandescente de um cano de descarga que foi ejetada no material combustível.

Tudo isso, porém, depende da acuidade no trabalho de interpretação dos indicadores de queima, cautela ao caminhar sobre a área do incêndio, observação minuciosa da "zona de confusão" e prática, muita prática em campo.

Convém reafirmar que os trabalhos investigativos devem ser desenvolvidos com o cuidado de não se alterar indicadores da marcha do incêndio, sendo tanto mais importante esse cuidado, quanto mais próximo do ponto de origem se encontre o perito.

Conceitos como "zona de confusão", "ponto de origem" e "causa da ignição" serão esclarecidos à medida que avançarmos na metodologia de investigação. Dentro da área queimada está a zona de confusão; dentro da zona de confusão, está o ponto de origem do fogo e neste ponto está a causa da ignição, onde se podem buscar os resíduos do objeto causador do incêndio, se esse for também o objetivo da investigação.

Antes porém, é necessário detalhar dois grupos de fatores que afetam os incêndios florestais e seu desenvolvimento: os que se relacionam aos combustíveis disponíveis para a queima e os fatores meteorológicos.

O primeiro grupo, o que influencia nas possibilidades de ocorrências é composto por um conjunto de fatores relacionados aos materiais combustíveis disponíveis para queima. Esses fatores podem facilitar ou dificultar o início de um incêndio florestal, o que confirma ou não se um princípio de incêndio se transformará em um incêndio florestal propriamente instalado.

5.1. Fatores relacionados aos materiais combustíveis

Os fatores relacionados aos materiais combustíveis que influenciam o incêndio florestal são inúmeros, porém vamos citar: quantidade, compactação, umidade relativa do material, inflamabilidade e uniformidade.

A quantidade de material combustível disponível determinará, pela quantidade de calor liberada da queima, se o incêndio se propagará e de que forma o fará. A compactação é o espaço entre as partículas do material combustível e, quanto mais compacto, menos inflamável será, dado a dificuldade de formação da base para a combustão (com a redução do comburente). A umidade relativa do material combustível é variável, em especial, quando vivo ou morto e; mesmo nessa segunda condição (morto), a variação também é notável. Quanto maior a umidade no material combustível, menor a liberação de calor e maior consumo de energia para sua secagem, o que provocará uma redução da velocidade de evolução no incêndio florestal. Já a inflamabilidade, essa é uma característica inerente de cada material vegetal, mas aliado ao tamanho reduzido, ou seja, material combustível fino e morto (folhas, acículas de *Pinus* e pequenos ramos, por exemplo), aumentam a expressão dessa característica, pois é com a mais rápida troca de calor e umidade desse tipo

de material combustível com o ambiente que é facilitada a combustão. Quanto à uniformidade, isso diz respeito à distribuição espacial de uma área, tanto no sentido horizontal quanto vertical. É uma característica muito importante porque controla, parcialmente, onde o fogo pode ir e a que velocidade se propaga. Em locais sem obstáculos e com distribuição uniforme dos materiais combustíveis, as chamas se propagarão livremente. Quando há interrupções nessa distribuição, ou seja, quando o material combustível está disposto de forma dispersa, o fogo tem mais dificuldade em se propagar na área.

5.2. Fatores relacionados às condições meteorológicas

As condições meteorológicas são o conjunto principal do segundo grupo que influencia na dinâmica e propagação dos incêndios florestais.

Destaca-se inicialmente a diferença entre os conceitos de clima e meteorologia: clima é o conjunto de condições meteorológicas características do estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre, obtido a partir de observações feitas durante décadas; meteorologia é a ciência que investiga os fenômenos atmosféricos e cujas observações possibilitam a previsão do tempo, sendo tempo o período em que se vive, o presente.

Em nível simples, clima é a descrição estatística em termos de média e variabilidade de quantidades relevantes durante um determinado período de tempo (INMET, 2016).

Clima, ainda segundo definição de Ferreira (1999), é o conjunto de 39 condições meteorológicas características do estado médio da atmosfera de um ponto da superfície terrestre. Meteorologia trata da observação do tempo, de forma contínua para criar um fluxo regular de dados, com o propósito de previsões e planejamento (INMET, 2016). Por outro lado, meteorologia, segundo Ferreira (1999), é da ciência que investiga os

fenômenos atmosféricos e cujas observações possibilitam a previsão do tempo.

Dados meteorológicos devidamente coletados, armazenados e analisados são a fonte das normais e padrões climáticos. As normais climáticas são os valores médios calculados por um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas. Já os padrões climáticos normais são as médias dos dados climatológicos calculados em períodos consecutivos de 30 anos (Tedeschi, 2013).

Nesse sentido, evidencia-se que as condições que afetam o desenvolvimento real dos incêndios florestais são as condições meteorológicas e não as condições climáticas. As condições climáticas estão mais ligadas à questão da possibilidade de ocorrência de um princípio de incêndio florestal e não do desenvolvimento do incêndio florestal propriamente instalado. Os principais fatores meteorológicos rotineiramente medidos são: precipitação atmosférica em forma de chuva ou pluviosidade (em número de dias sem chuva), déficit de saturação do ar (em milímetros), umidade relativa do ar (em porcentagem), temperatura do ar (em graus Celsius), velocidade do vento (em metros por segundo). Os principais equipamentos existentes nas estações meteorológicas que fazem essas medidas são: o pluviômetro (pluviosidade, chuva), sensores de temperatura e umidade relativa e o piranômetro (radiação solar) (INMET, 2016). Das condições meteorológicas que afetam o desenvolvimento dos incêndios florestais, os fatores precipitação, umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento são os principais a serem abordados.

a) Precipitação

A precipitação afeta, inicialmente, a umidade do material combustível e a temperatura do ar (Couto & Cândido, 1980). Estudos mostram que a distribuição temporal da pluviosidade é mais importante que as quantidades abundantes de chuva de forma concentrada. Outra

vinculação importante com esse fator é a relação com a evaporação, pois daí pode resultar o déficit hídrico, mesmo que temporário e sazonal. (Tedeschi, 2013).

b) Umidade relativa do ar

Ela interage com a temperatura do ar e determina a capacidade de secagem do material combustível (Couto & Cândido, 1980). A baixa umidade relativa do ar significa maior evaporação, e assim, maior secagem do material combustível. Esse fator é bastante volátil e variável, dia a dia, hora a hora. É um dos fatores decisivos para a ocorrência e o desenvolvimento do incêndio florestal. Conjugado à temperatura do ar, promovem uma rápida desidratação do material combustível, predispondo-o à queima. A umidade relativa do ar está diretamente relacionada com a baixa pluviosidade.

É um índice de comportamento do incêndio, quando já iniciado, dado que facilita ou dificulta ainda mais sua propagação por esta forte relação entre a umidade relativa do ar e a umidade do material combustível. Tendo a análise restrita a esse fator, espera-se que, quando a umidade relativa do ar estiver abaixo de 25%, possa haver grande probabilidade de surgir um incêndio florestal que se propague de forma violenta e tenha seu controle dificultado.

É de extrema relevância para o perito, conhecer as condições reinantes de temperatura e umidade relativa do ar no local e na hora em que teve início o incêndio. Essas informações podem ser obtidas dos depoimentos de testemunhas ou, no caso de incêndios em unidades de conservação, das informações prestadas por servidores, guardas florestais, vigilantes entre outros. A maioria das unidades de conservação também mantém sistemas de registro dos índices de periculosidade nos incêndios florestais. Os institutos e órgãos de Meteorologia e Climatologia são fontes

confiáveis desses dados, em locais onde haja o monitoramento meteorológico.

c) Temperatura do ar

Temperatura do ar tem influência indireta porque se relaciona com a umidade relativa do ar. Elas se concatenam de forma estreita, mas abaixo de 12,8 °C tem baixa probabilidade de ocorrer o incêndio. Aqui cabe esclarecer ainda um outro fator: o ponto de orvalho é a temperatura ambiente no que o ar resfriado sob pressão constante se torna saturado. Considerada uma situação na temperatura do ar constante, quanto menor for a umidade relativa do ar, mais baixo o ponto de orvalho, maior a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, o que faz crescer o risco de incêndio.

d) Vento

Vento é conceitualmente o movimento horizontal do ar; distinto da corrente de ar, cuja direção é vertical. É o fator de maior influência no alastramento, na velocidade e muitas vezes, até na intensidade do incêndio florestal. É também o fator mais inconstante e variável, especialmente durante a ocorrência dos incêndios florestais. O vento aumenta a velocidade de propagação porque intensifica o suprimento de oxigênio para a combustão, impulsiona o ar aquecido para adiante da cabeça do fogo, resseca os combustíveis à frente e dispersa fagulhas, possibilitando o surgimento de novos focos (focos secundários). O vento também impele as próprias chamas do incêndio para adiante, conduz calor por radiação e condução e, em algumas situações, facilita o desenvolvimento de incêndios em copa.

Focos secundários podem confundir o perito, levando-o a um ponto de origem falso. Daí porque recomenda-se a máxima redução da

área a ser analisada. As estratégias de redução da área a ser analisada serão tratadas mais adiante (em Metodologia para Investigação).

O fogo a favor do vento (cabeça do incêndio) tem maior velocidade que o fogo contra o vento (traseira do incêndio) e portanto, nesses dois pontos observa-se claramente a diferença nos tipos de carvão e na quantidade de combustível consumido.

O vento determina a direção e o sentido do incêndio, dissemina novos focos além da área do incêndio, produz movimentos enganosos, turbilhões e mudanças no sentido do fogo. Os incêndios florestais produzem vento devido ao aquecimento do ar que promove a ascensão de massas de ar quente, causando zonas de baixa pressão atmosférica. O vento depende das diferenças de pressão atmosférica e do relevo terrestre. Ele sopra das áreas de alta pressão para as áreas de baixa pressão atmosférica; essas pressões são causadas pela diferença de temperatura do ar. Quando o ar é aquecido ele se expande, fica mais leve e eleva-se; desse modo é substituído pelo ar mais frio. O ar que sobe produz uma zona de baixa pressão atmosférica e o ar mais frio que desce comprime o ar que está mais próximo à superfície da terra, produzindo assim uma zona de alta pressão atmosférica.

Tabela 8 - Pressão atmosférica

AUMENTA	DIMINUI
Com o aumento na densidade do ar	Com o aumento na umidade do ar
Com o aumento na latitude	Com o aumento na temperatura
	Com o aumento na altitude

Fonte: IBAMA, Manual

O deslocamento do vento ocorre de uma zona de alta pressão atmosférica para uma zona de baixa pressão atmosférica. Como conhecimento, há de se relatar que as brisas da terra e do mar são

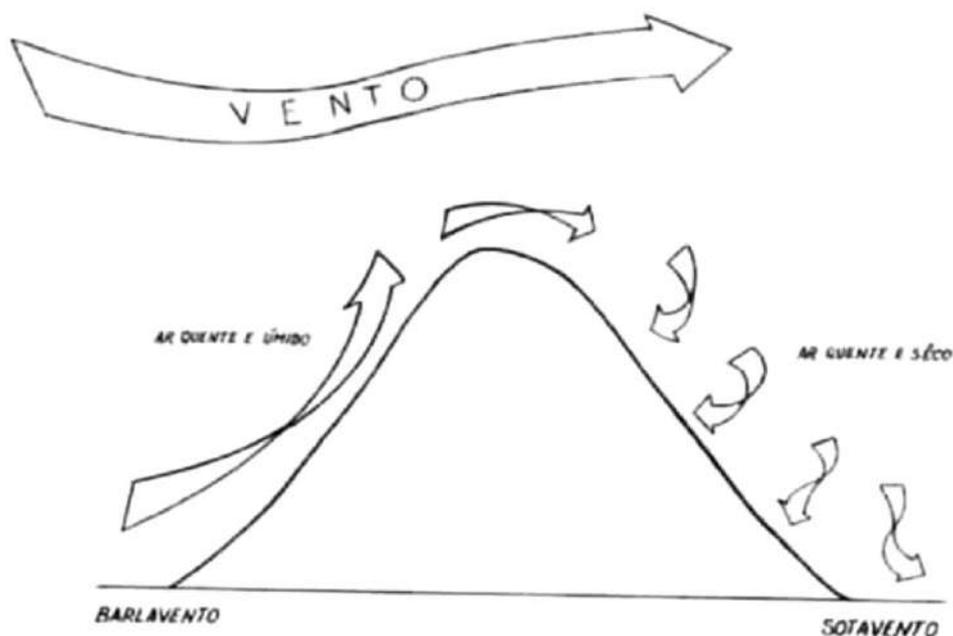
produzidas pela diferença de pressão entre a terra e o mar. De dia, a terra se torna quente e o ar sobe formando uma zona de baixa pressão sobre a terra que recebe, portanto, a brisa marítima. Durante a noite, a terra torna-se mais fria que o mar, transformando-se numa zona de alta pressão atmosférica, ocorrendo então a brisa terrestre. Esse processo ocorre com incêndios florestais, longe das áreas marítimas, nas encostas e morros, entre dia e noite. Essa base de conhecimento torna-se importante e deve ser levada em conta quando o incêndio florestal a ser investigado perdurou por vários dias e noites.

Tabela 9 - Sentido dos ventos

DIA	NOITE
Sopram da base para o topo das encostas e morros	Sopram do topo para a base das encostas e morros
Ocorre a brisa marítima (que é mais forte que a brisa terrestre), entrando até 50 km, sobre a terra	Ocorre a brisa terrestre, entrando até 20 km sobre o mar

Fonte: IBAMA, Manual

Veja a figura a seguir:

Figura 65 - Efeito dos ventos em montanhas

barlavento lado de onde sopra o vento.
sotavento lado oposto ao lado de onde sopra o vento.

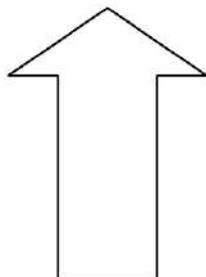
Fonte: IBAMA, Manual

Outros fatores meteorológicos que afetam os incêndios florestais são insolação e radiação solar, evaporação, raios que atrelados a fatores fisiográficos, como topografia, altitude, relevo e outros demonstram a complexidade da análise das áreas a serem investigadas em toda e qualquer parte da superfície terrestre (Tedeschi, 2013).

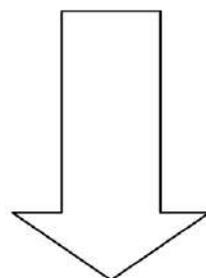
De qualquer modo, a figura a seguir demonstra resumidamente alguns desses fatores meteorológicos e influência geral na intensidade do incêndio florestal, e no desenvolvimento.

Figura 66 – Fatores que influenciam na intensidade do incêndio florestal

Intensidade do Incêndio Florestal:



- Maior volume de combustíveis de queima rápida;
- Predomínio dos combustíveis uniformes;
- Menor teor de umidade nos combustíveis;
- Aclives à frente do fogo;
- Ventos fortes;
- Baixa umidade relativa do ar;
- Temperatura atmosférica elevada.



- Menor volume de combustíveis de queima rápida
- Predomínio dos combustíveis desuniformes
- Maior teor de umidade nos combustíveis
- Declives à frente do fogo
- Ventos fracos
- Elevada umidade do ar
- Temperatura baixa

Fonte: Ibama, Manual

5.3. Índices de Risco e Perigo de Incêndios Florestais

Em complemento das condições meteorológicas, seus componentes têm sido muito úteis na formulação de índices de risco e perigo de incêndios florestais. Em essência, risco é probabilidade ou possibilidade de perigo; e perigo é o estado ou situação que inspira cuidado.

Índices são geralmente números, formulações matemáticas que expressam uma medida absoluta ou relativa. Índices de risco e índices de perigo de incêndios florestais contêm diversos conceitos (Nunes, 2005), porém os índices de perigo que se baseiam na variação de alguns fatores meteorológicos são de adoção mais ampla em todo o mundo. Os índices de perigo podem ser divididos em duas categorias: os índices de ocorrência e os índices de propagação. O primeiro diz respeito à possibilidade do

surgimento de um princípio de incêndio; o segundo traz a noção do comportamento dos incêndios, após sua eclosão. (Manta, 2003, apud Nunes, 2005). Esse mesmo autor ainda esclarece que tais índices podem ser acumulativos ou não, dependendo da análise diária somado às condições de dias anteriores ou apenas as condições do próprio dia. Os países mais desenvolvidos no campo da Ciência Florestal, como Rússia, Suécia, Canadá e Estados Unidos, cujos sistemas de proteção florestal são bastante eficientes, preferem os índices acumulativos complexos.

Índices de inflamabilidade são números que refletem, antecipadamente, a possibilidade de ocorrer e a facilidade de se propagar um princípio de incêndio florestal em determinada localidade coberta por um tipo de vegetação específica, de acordo com as condições atmosféricas do dia (Soares, 1972, apud Couto & Cândido, 1980). Essa terminologia também se encaixa na categoria de índices de perigo. A previsão das condições de perigo permite provocar uma adoção de medidas preventivas mais eficientes e econômicas nos períodos mais críticos e, em caso de ocorrência de princípios de incêndios, prever seu comportamento esperado. A maioria desses índices é cumulativa, o que quer dizer que o valor encontrado em um dia é somado ao valor do dia seguinte, se não houver chuva suficiente para os decréscimos conforme uma escala pré-determinada, e assim, sucessivamente (Couto & Cândido, 1980).

Várias formulações matemáticas foram testadas e aplicadas ao redor do mundo, inclusive há uma fórmula brasileira, a Fórmula de Monte Alegre⁷ (FMA). Os mais difundidos em todo o mundo são: Fórmula de Angstron⁸, Índice de Inflamabilidade de Nesterov⁹, Índice Logarítmico de Telycin¹⁰ e a Fórmula de Monte Alegre.

⁷ $FMA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{H_i}\right)$ onde FMA = Fórmula de Monte Alegre, H = umidade relativa do ar (%) medida às 13 e 15 h, e n = número de dias sem chuva

⁸ $B = 0,05H - 0,1(T - 27)$, onde B é o índice de Angstron, H = umidade relativa do ar em %, e T = temperatura do ar em °C.

Mais detalhes estão em Couto & Candido (1980), Batista & Soares (1997), entre outros autores. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) calcula e disponibiliza em sua página na internet, diariamente, o Índice de Inflamabilidade de Nesterov para centenas de estações meteorológicas automáticas. Esse índice foi adotado devido a vários fatores, além de sua confiabilidade relacionada a possibilidade de ocorrência real dos incêndios florestais no Cerrado, dentre eles: é probabilístico para a ocorrência de incêndios florestais, é cumulativo, é baseado em parâmetros meteorológicos, inclusive de estações meteorológicas automáticas, atende a todos os Estados Federativos do Brasil além de ser de disponibilização gratuita e diária através da página do INMET (www.inmet.gov.br). No Distrito Federal esse índice é calculado para três localidades, o que se refletiu e se confirmou no Decreto nº 17.431/1996 – Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (consulte Anexo).

5.4. Indicadores de queima

Os principais indicadores de queima foram observados experimentalmente nos incêndios florestais. Apesar disso, um ou dois indicadores não darão a certeza do sentido do caminamento do fogo; há de se observar, portanto, o máximo de padrões existentes na área para que a conclusão sobre a origem do incêndio seja correta. O perito necessita ter senso de observação espacial, conhecimento de comportamento do fogo e das influências ambientais, cautela e concentração ao inspecionar a área incendiada. As informações fornecidas por pessoas que viram o incêndio não devem influenciar no trabalho de levantamento da área. Somente após o perito fazer a avaliação inicial da cena, conforme o capítulo de Metodologia, a fim de buscar a dinâmica do incêndio, elaborar o croqui da área com os indicadores observados e orientados em relação aos pontos cardeais, e só então é que deverá analisar detidamente os depoimentos

⁹ $G = \sum_{i=1}^n d_i \cdot t_i$, onde G é o índice de Nesterov, d é déficit de saturação do ar em milibares, e t é temperatura do ar em °C.

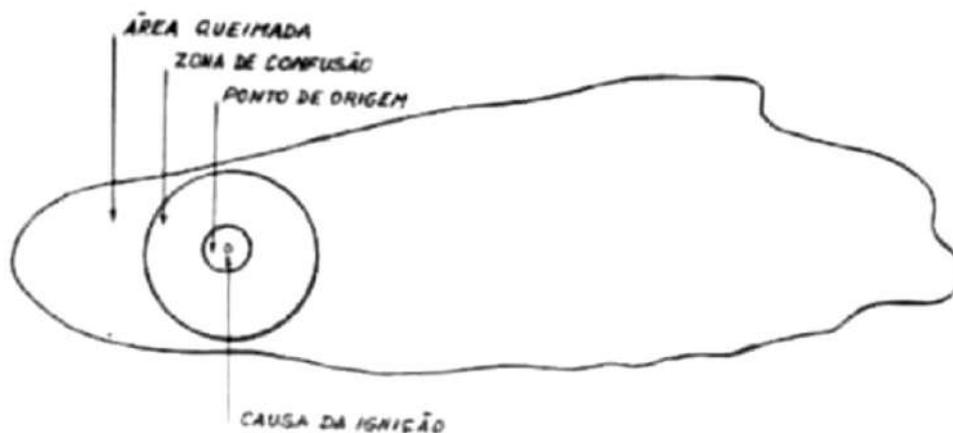
¹⁰ $I = \sum_{i=1}^n \log(t_i \cdot r_i)$ onde I = índice de Telicyn, t = temperatura do ar em °C, r = temperatura do ponto de orvalho em °C, e log = logaritmo na base 10

sobre o ocorrido, compondo assim o seu trabalho, tanto com o levantamento técnico, quanto com os depoimentos de testemunhas. Devido a importância das testemunhas, o outro perito que não participará de imediato na investigação de campo, deverá anotar sem hesitação, os depoimentos das pessoas presentes durante o incêndio contendo nome, endereço, identificação e qualificação, pois, com o passar do tempo essas mesmas pessoas relutarão em prestar qualquer informação sobre o ocorrido.

5.4.1. Para se conhecer o incêndio florestal:

Um perito em incêndio florestal deve saber que as partes principais da ocorrência que ele avaliará são: a área queimada, a zona de confusão, o ponto de origem e a causa da ignição.

Figura 67 - Representação da área queimada, zona de confusão, ponto de origem e causa da ignição



fonte: IBAMA, Manual

Incêndios florestais são complexos, mas para serem iniciados várias fases interdependentes de forma ascendente são cumpridas, para que se efetivem. As principais fases que ocorrem em um incêndio florestal são:

- pré-aquecimento do material combustível;
- liberação e combustão dos gases;

- queima do material combustível.

Quanto às classificações dos incêndios florestais, elas são baseadas no grau com que os combustíveis estão envolvidos na combustão, desde o solo até o topo das árvores. Em resumo: incêndio no solo ou subterrâneo, incêndio superficial e incêndio em copa.

Incêndios em solo ou subterrâneo são ocasionados por fogo que queima abaixo da superfície do solo devido a uma acumulação de matéria orgânica que forma uma manta, muitas vezes espessa. Eles são incêndios de difícil detecção e controle, de propagação lenta e que podem manter-se com um pequeno ponto de combustão em raízes subterrâneas de árvores secas, progredindo até alcançarem a superfície do solo, dando início a incêndios superficiais. Seus efeitos podem abranger inclusive na fauna do solo.

Os incêndios superficiais são os incêndios que queimam os combustíveis depositados no chão da floresta, até uma altura média de 1,80 metros. Pode ser um fogo rasteiro, de baixa intensidade que consome pouco material combustível ou pode ser um incêndio intenso propagando-se em grande velocidade, consumindo muito material combustível. Um incêndio superficial pode atingir a vegetação mais alta e chegar até a copa das árvores, iniciando um incêndio em copa. O material combustível existente no solo da floresta é também conhecido como "transporte" de incêndio. Quando o transporte se compõe predominantemente de combustíveis leves, a propagação do incêndio é mais rápida e, portanto, a queima não produz temperaturas muito altas. Gramíneas, nesse caso, costumam deixar indicadores que apontam claramente o caminho percorrido pelo incêndio. São os incêndios mais comuns e, apesar disso, não são os mais difíceis de se combater e controlar. Em condições apropriadas, os incêndios superficiais podem originar incêndios em copa e incêndios subterrâneos.

Incêndios em copa avançam através das copas das árvores e arbustos, mais ou menos independentes do incêndio superficial. Com exceção dos incêndios por raios, quase todos os incêndios em copa são provenientes de incêndios superficiais. É o tipo mais perigoso de incêndio florestal que existe e o que provoca maiores danos. Isso ocorre especialmente por causa da grande intensidade e rapidez de propagação; cujo principal fator preponderante é a presença de vento ou aclive acentuado que aproxima as copas das árvores e facilita a propagação do fogo.

Convém lembrar que, mesmo em condições naturais de pouco vento, o incêndio florestal, depois de adquirir certa intensidade, produz o "seu próprio vento", consequência dos movimentos convectivos resultantes do aquecimento das massas de ar ao redor, e principalmente, à frente da cabeça do fogo.

5.4.2. Partes do Incêndio Florestal

A figura abaixo mostra as principais partes de um incêndio florestal: cabeça ou frente, retaguarda ou cauda, flancos (direito e esquerdo), dedos, focos secundários, ilha não queimada.

Figura 68 - Partes principais de um incêndio florestal



Fonte: internet

Na **cabeça ou frente** do incêndio, as chamas estão a favor do vento e em direção aos combustíveis ainda não consumidos; é onde o dano é maior, o fogo é mais “forte e quente” pois os meios de propagação do calor estão mais intensos.

Na **retaguarda ou cauda** do incêndio, as chamas propagam-se contra o vento, portanto a velocidade de alastramento do fogo é menor, assim como a energia total produzida pela combustão.

Os **flancos** são as laterais do incêndio, e os dedos são áreas de propagação do incêndio que ocorrem em sentido diferente do incêndio principal por questões de disponibilidade de combustível ou de mudanças do vento pontuais e de curta duração de tempo.

Já os **focos secundários** ocorrem quando há um lançamento de algum material incandescente proveniente do incêndio em área próxima, mas não contígua, que gera um novo ponto de combustão do material combustível disponível. Em sua grande maioria, esses focos secundários são

englobados pelo incêndio principal, quando da continuidade no desenvolvimento desses incêndios.

Os incêndios florestais começam pequenos e aumentam de intensidade ao evoluírem. Os danos na origem do fogo são geralmente bastante menores que na cabeça do incêndio. O perito, em busca da causa do incêndio, deve ter conhecimento operacional de como o incêndio florestal se comporta sob condições variáveis, para durante a procura da zona de confusão conjugar seus conhecimentos sobre o comportamento do fogo com indicadores de queima, pois há sempre a possibilidade de alastramento irregular devido ao comportamento variável do fogo sob as diferentes influências ambientais.

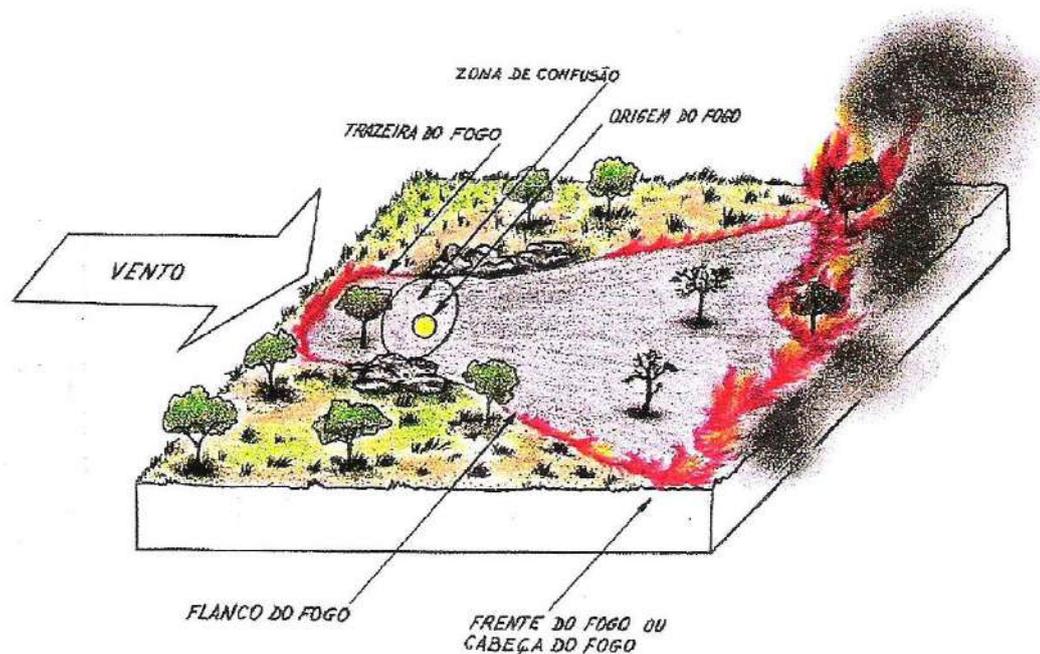
No início, o incêndio não define claramente a direção principal, daí o conceito de zona de confusão, pois os indicadores nessa fase apontam para praticamente todas as direções de propagação. Depois de adquirir intensidade, o incêndio define uma direção predominantemente determinada na direção predominante pelo vento na região.

Uma vez definida a direção predominante de propagação, o incêndio passará a "traçar" um rastro marcante de queima, que pode ser comparado a uma espinha dorsal do incêndio. Chamamos a essas espinhas dorsais de "túnel negro". São semelhantes a "corredores" por onde avançou o incêndio com o maior poder de destruição. Didaticamente dizemos que pode haver mais de uma espinha dorsal, pois o túnel negro, em princípio, liga a zona de confusão à cabeça, ou às cabeças, ou aos dedos do incêndio. O que caracteriza o túnel negro é a maior intensidade de queima e, portanto, o maior poder de destruição do fogo nesse percurso.

A tarefa do perito é identificar o túnel negro o mais próximo possível da zona de confusão, área do incêndio onde os indicadores de propagação são contraditórios, o que gera reavaliações repetidas do sentido principal da propagação e, posicionando-se de costas para a

cabeça do incêndio, percorrê-lo, retrocedendo, até essa zona de confusão, sempre guiado pelos indicadores de queima. Somente o treinamento garantirá ao perito a habilidade de enxergar o túnel negro com clareza. Veja a figura a seguir:

Figura 69 - representação do túnel negro



Fonte: IBAMA, Manual

5.4.3. Conceitos relativos ao comportamento do incêndio florestal

Combustível, calor e oxigênio são os três elementos imprescindíveis à ocorrência de fogo e podem variar resultando na mudança de comportamento do fogo. Assim, acúmulo de vegetação nos estratos gramíneo e arbustivo da floresta, temperaturas elevadas e ventos intensos são fatores predisponentes a incêndios de grande intensidade.

É necessário lembrar, mesmo que de forma simples e rápida, as formas básicas de transmissão de calor, as quais têm papel preponderante para o entendimento de como se propaga o incêndio florestal: radiação, convecção e condução. Esses conceitos podem ser revistos no Manual de Combate a Incêndio, do CBMDF.

É importante destacar, dentre as formas de propagação do incêndio florestal, a *convecção*, por ser determinante da velocidade e da direção predominante do incêndio.

O "gradiente" ou inclinação (active ou declive), por ser fator modificador dos efeitos da convecção e da radiação, tem relevante papel no comportamento do fogo e, portanto, produzirá indicadores que lhe são peculiares.

Existem vários fatores que afetam o incêndio florestal, e destacamos: combustível, condições meteorológicas, topografia e barreiras, sendo que serão tratados a seguir, exceto o fator relacionado às condições meteorológicas, que foram tratadas em Noções de Comportamento de Fogo, item 2, deste capítulo.

5.4.3.1. Combustível

Os combustíveis florestais classificam-se, basicamente, em:

- a. combustíveis leves, menores ou ligeiros: gramíneas (capim), ervas, folhas, acículas, ramos finos;
- b. combustíveis pesados ou maiores: troncos, galhos, raízes;
- c. combustíveis verdes: plantas vivas ou folhagens.

Fatores como a natureza, a disposição e a umidade dos combustíveis terão enorme impacto na forma como eles ardem e, portanto, produzirão diferentes indicadores de queima. Combustíveis menores, leves ou ligeiros ardem mais rapidamente e queimam de modo mais completo. Combustíveis pesados possuem queima mais lenta, mas produzem muita energia calorífica e, conseqüentemente, deixam as marcas características desse tipo de queima.

Quanto maior a uniformidade no arranjo dos combustíveis, mais regulares são a expansão e os danos do incêndio. Combustíveis desuniformes resultam em modificações na velocidade de expansão,

intensidade e direção do incêndio florestal. Quanto maior o volume de combustível de queima rápida, maior será a expansão e intensidade do incêndio. O teor de umidade afeta a velocidade de expansão, intensidade e direção do incêndio. Quanto maior a umidade contida nos combustíveis ou na atmosfera, mais haverá material cuja queima foi incompleta. O conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a inflamabilidade dos combustíveis vivos e mortos. A umidade do material combustível é consequência das condições atmosféricas e pode variar rapidamente.

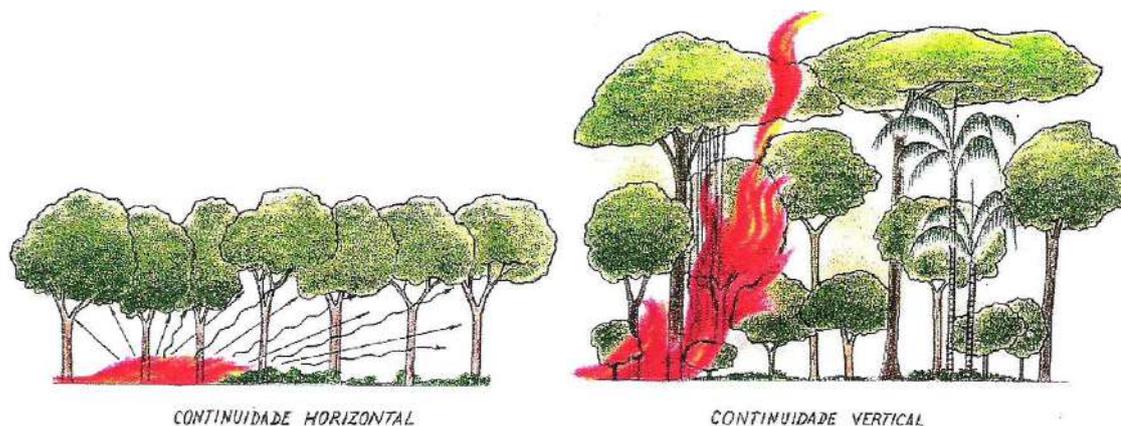
Os combustíveis vivos e mortos têm diferentes mecanismos de retenção de água e diversas respostas às variações do clima. O conteúdo de umidade no material vivo é mais estável e maior do que o existente no material morto. Desta forma, o material morto é mais seco e responde mais rapidamente às variações meteorológicas, sendo, portanto, o principal responsável pela propagação do incêndio. O conteúdo de umidade do material morto pode apresentar uma grande variação, raramente descendo abaixo de 2%.

Lembre-se um dos fatores que influem no comportamento dos incêndios e diz respeito aos combustíveis é a continuidade, ou seja a distribuição dos materiais a serem consumidos, tanto no sentido horizontal, quanto vertical. A combinação da disposição contínua horizontal com a disposição contínua vertical (das copas) proporciona a ocorrência de incêndio de grande intensidade, devido à proximidade das massas de combustíveis. Esse item foi discutido no primeiro tópico de Noções de Comportamento do Fogo, no grupo de fatores relacionados aos combustíveis disponíveis para queima, entre outros.

Quando ocorrem incêndios em que há continuidade vertical e descontinuidade horizontal, os incêndios nas copas serão dispersos. Já a existência apenas da continuidade horizontal só possibilitará a instalação de um incêndio na copa causado por correntes de convecção, seja pela

proximidade das copas com o solo devido a existência de aclives, por exemplo, ou em virtude de elevada inflamabilidade das copas, como no caso de espécies resinosas, tal qual os conhecidos pinheiros (*Pinus* sp.).

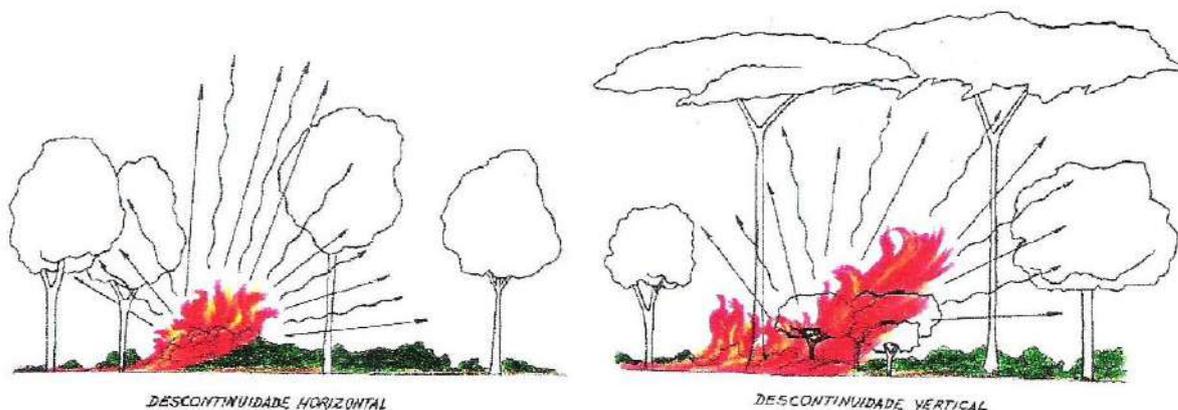
Figura 70 - Continuidade de vegetação



Fonte: IBAMA, Manual

A descontinuidade horizontal pode ser decorrente de afloramentos rochosos, solos rasos ou encharcados que interrompem, por não proporcionar substrato adequado, a continuidade na vegetação graminosa/herbácea, arbórea ou arbustiva. Também pode ser devido a uma entropia qualquer que suprima a continuidade nos extratos (entropia, em Física, é a grandeza que dimensiona a degradação de energia num sistema).

Figura 71 - Descontinuidade de vegetação

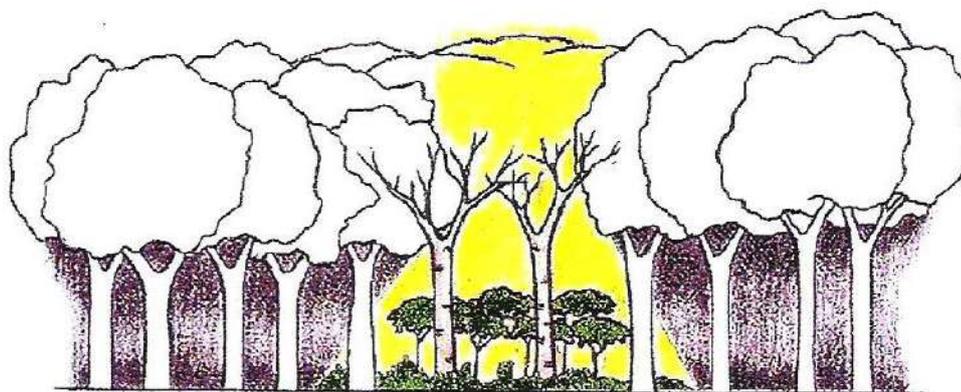


Fonte: IBAMA, Manual

A ação humana na extração de madeira ou a consequência do primeiro incêndio numa floresta heterogênea com densa continuidade horizontal possibilitam que a luz solar, antes retida em grande parte pelas copas arbóreas densas e úmidas, atinjam o solo, dinamizando o surgimento de vegetação rasteira (graminosa/herbácea) e arbustiva que formarão uma escada para que o próximo fogo atinja a copa das árvores.

A cada incêndio, a floresta heterogênea torna-se mais suscetível a incêndios posteriores de maiores intensidades. Esse cenário é bem comum nas matas de galeria no Distrito Federal, pois ocorrem incêndios recorrentes com pequeno intervalo de tempo, o que dificulta a recomposição vegetal da fisionomia.

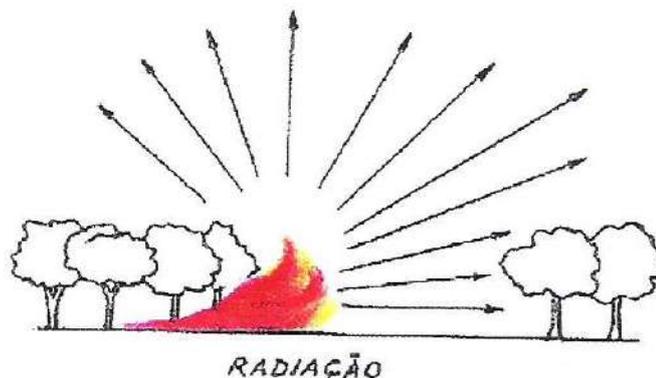
Figura 72 - Nascimento da vegetação arbustiva



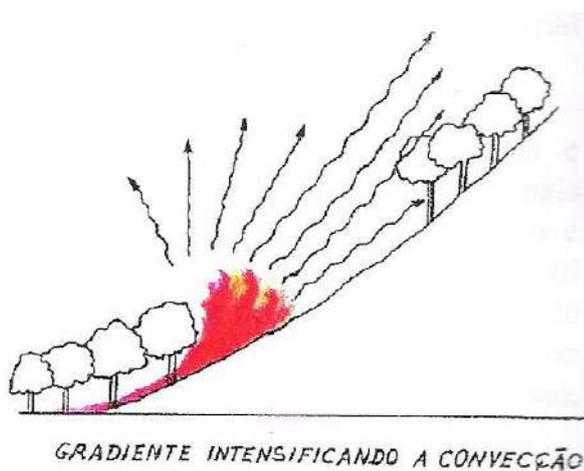
Fonte: IBAMA, Manual

5.4.3.2. Topografia

A topografia influencia de várias maneiras a propagação de um incêndio florestal, em especial se o terreno não for plano em toda a extensão do incêndio. Ele possibilita a intensificação das correntes de convecção e radiação, no caso de acive à frente da cabeça do fogo, aumentando a velocidade de propagação e a intensidade dos danos.

Figura 73 - Efeito da radiação em terreno plano

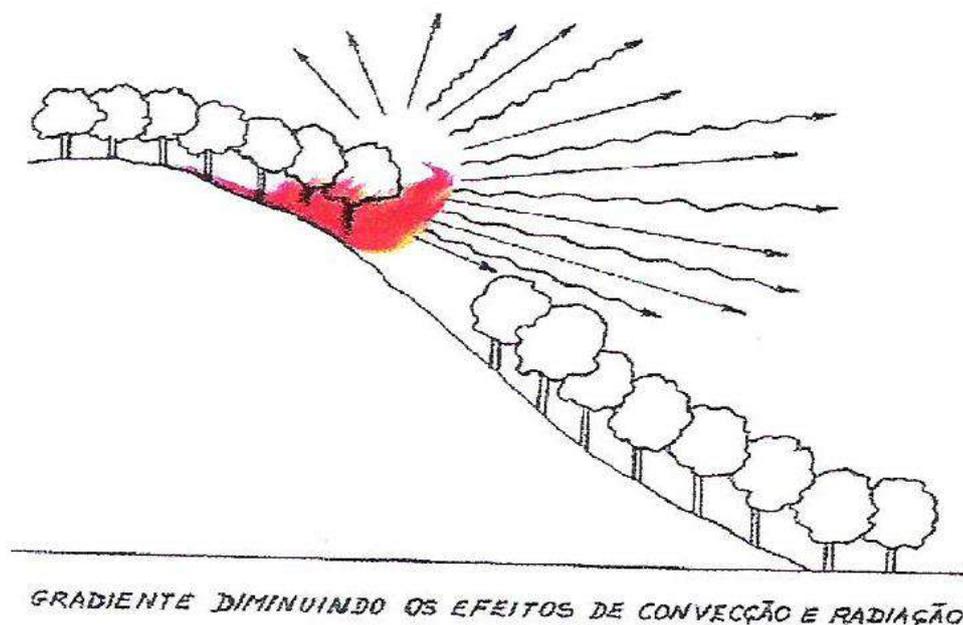
Fonte: IBAMA, Manual

Figura 74 - Terreno em aclive, cuja propagação do incêndio segue a inclinação, intensificando o fenômeno da convecção

Fonte: IBAMA, Manual

Ocorre o contrário, no caso de haver declive à frente do fogo. As características de danos, no caso de aclives adiante do fogo são semelhantes as que ocorrem no incêndio impulsionado pelo vento. Um segundo fenômeno que interessa ao perito, em caso de declive à frente da cabeça do incêndio, é o rolamento de material combustível em chamas, produzindo focos secundários.

Figura 75 - A propagação do incêndio segue a inclinação do terreno, em declive, reduzindo os efeitos dos fenômenos da convecção e da radiação



Fonte: IBAMA, Manual

5.4.3.3. Barreiras

Barreiras podem ser formadas por rochas, elevações ou baixios sem vegetação suficiente para sustentar o fogo, cursos de água, e outros. Elas podem ser também as chamadas "cortinas contra fogo", cujo princípio é semelhante aos dos "quebra-ventos", desde que formadas por espécies com baixa inflamabilidade.

As barreiras afetam a velocidade e o alastramento do fogo, podendo até mesmo extingui-lo, e também influem nos efeitos de radiação e convecção. As barreiras geralmente causam turbilhões de vento que podem mudar a direção do fogo, ao menos em pequenas distâncias, independentemente do vento dominante.

O homem tem usado frequentemente como barreiras para a propagação dos incêndios florestais, os aceiros.

Aceiros são áreas sem vegetação ou com vegetação reduzida, que permeiam áreas vegetadas a serem protegidas do fogo, podendo ser também usadas como estradas ou áreas de apoio, escoamento de águas pluviais ("bigodes"), entre outras finalidades.

Os aceiros podem ser feitos com o próprio fogo, desde que de forma controlada, em período contrário ao de maior risco, como ferramenta de manejo preventivo contra grandes incêndios florestais.

6. INDICADORES DE PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO E DE FONTE DE IGNIÇÃO

6.1. Indicadores de Propagação do Incêndio

Os indicadores de propagação do incêndio ou indicadores de queima indicam a direção do fogo e poderão ocorrer tanto nos combustíveis grandes quanto nos pequenos.

Jamais deve-se usar apenas um indicador ou um único tipo de indicador de queima; é importante observar cuidadosamente mais indicadores, conjugando-os sempre com conhecimentos sobre o comportamento do fogo. Um raciocínio interessante, que pode auxiliar na avaliação dos indicadores de propagação é o da soma de vetores, como se cada indicador observado formasse um vetor que somado aos demais da área, criasse um vetor resultante com direção e sentido bem marcado.

Uma queima completa de material combustível proveniente da vegetação resultará em cinza clara, embranquecida e uma queima incompleta em cinza escura.

Geralmente, quanto mais distante estiver do ponto de origem, o incêndio fica mais intenso e a queima mais rápida e incompleta. Essas observações são também relacionadas ao tempo de permanência do fogo sobre o material combustível, pois quanto maior esse tempo, mais claro é o material das cinzas resultantes.

Um exemplo disso é o conjunto das cinzas de uma fogueira que se consumiu até o fim de todo o material combustível disponível; as cinzas resultantes são claras, não escuras. O tamanho e a definição dos indicadores diminuem à medida que se aproxima da origem do incêndio, pois, próximo da origem, a intensidade do fogo é menor, porém o tempo de permanência pode ser maior.

Supondo que ocorra indicadores incoerentes, o perito em incêndio e explosões deve seguir sempre a maioria dos indicadores para determinar o percurso do fogo e lembrar do raciocínio relacionado à soma de vetores.

A cada indicador de queima, use a bússola ou outro instrumento (por exemplo, GPS¹¹) para posicioná-lo no croqui da área queimada. Modernamente o uso do GPS, nesse sentido, é mais recomendado. No entanto, independentemente do instrumento utilizado, importa a confecção de um croqui claro e coerente com o cenário do incêndio e com as informações colhidas e os indicadores apontados.

Outro ponto a ser destacado é relacionado aos formatos dos troncos e a arquitetura das árvores, que podem influenciar na análise dos indicadores, em especial as árvores do bioma Cerrado, com seus troncos retorcidos. Além disso, é necessário estar atento a marcas de incêndios anteriores que permanecem, como as manchas em troncos de árvores vivas ou em moirões de cercas.

O detalhamento da feitura de um croqui está no capítulo de Metodologia, mas é importante destacar que o desenho deve ser feito em papel, com lápis ou caneta e com os recursos disponíveis para os exames de campo, de forma objetiva e com uma certa noção de escala.

¹¹ Global Positioning System, ou, em tradução livre, sistema de posicionamento global.

Os principais símbolos a serem empregados no caminhamento do incêndio florestal são os relativos ao fogo, a favor e contra o vento, respectivamente a seta e o “v”. Lembre-se da marcação do Norte Magnético, ainda em campo.

6.1.1. Indicador 1: talos de gramíneas

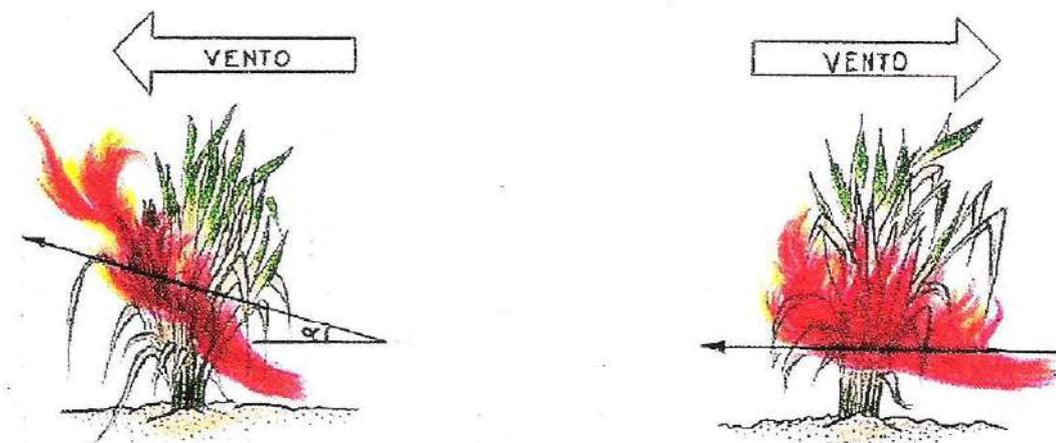
A aproximação do fogo causa um pré-aquecimento nos talos das gramíneas, especialmente nas situações com pouco ou nenhum vento, aquecendo e carbonizando-os primeiramente de um lado, reduzindo-os em tamanho pelo efeito da rápida desidratação e diminuindo suas resistências. Consequentemente, os talos cairão para o do lado enfraquecido.

A observação de outros indicadores torna-se imprescindível pois podem ocorrer circunstâncias, tais como o vento, que determinam o sentido de tombamento, independentemente da ação do fogo.

Detalhes do topo dos talos poderão determinar se o fogo foi contra ou a favor do vento. O topo dos talos das gramíneas preservado, caído sobre um solo enegrecido é um exemplo de fogo contra o vento que consumiu esse tipo de material combustível. O topo do talo da gramínea, ainda preservado, indica para onde o incêndio caminhou.

Lembre-se que a maior parte do material combustível num incêndio florestal no Cerrado diz respeito à vegetação rasteira, ou seja, às gramíneas e às ervas secas. Folhas e galhos finos também queimam com facilidade, em contraposição ao material verde e troncos grossos que resistem mais ao fogo (Bizerril, 2009). Veja as figuras:

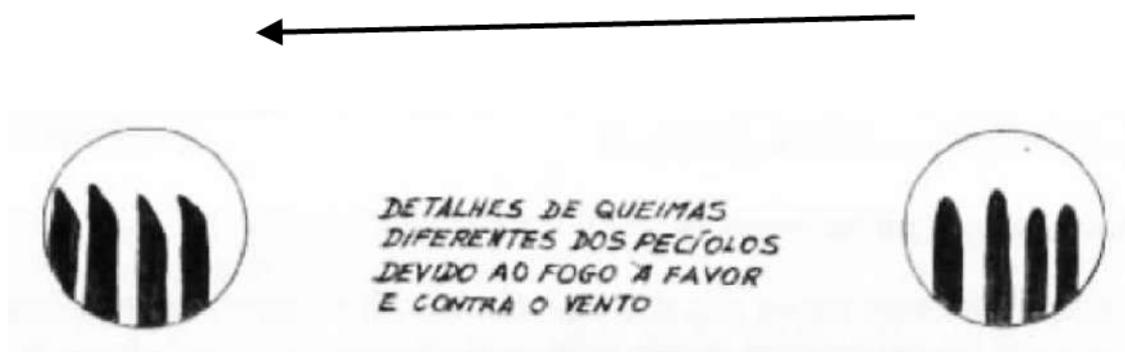
Figura 76 - Queima de vegetação rasteira



Fonte: IBAMA, Manual

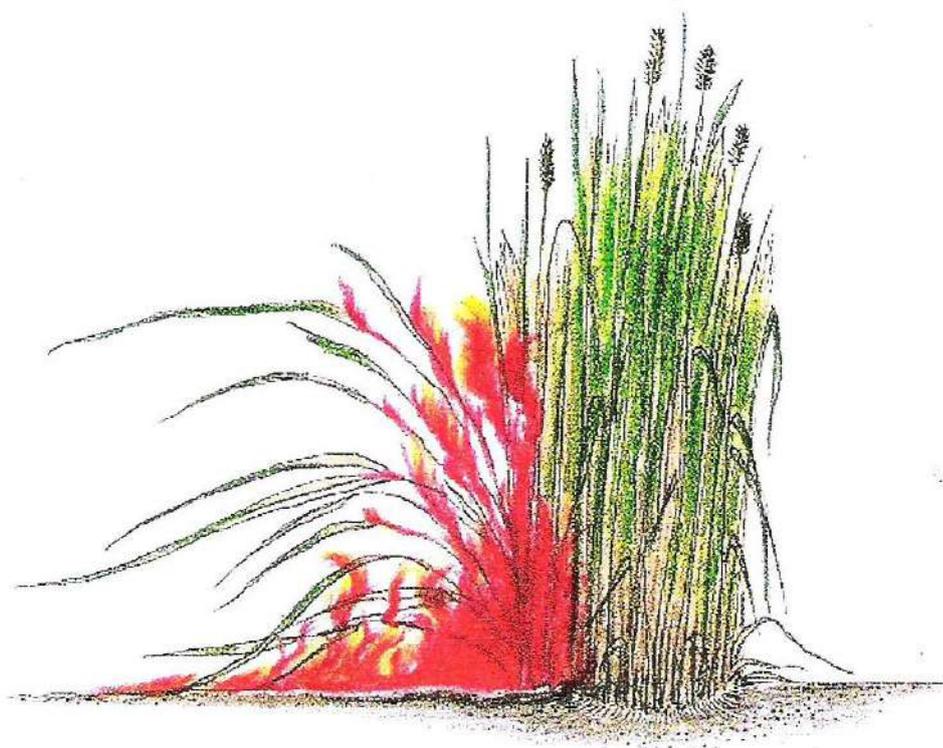
Figura 77 – Detalhe do topo dos talos das gramíneas

Sentido de propagação do fogo



Fonte: IBAMA, Manual

Outra situação em gramíneas, de fogo sem vento, é apresentado a seguir.

Figura 78 - Gramíneas sujeitas ao fogo sem vento

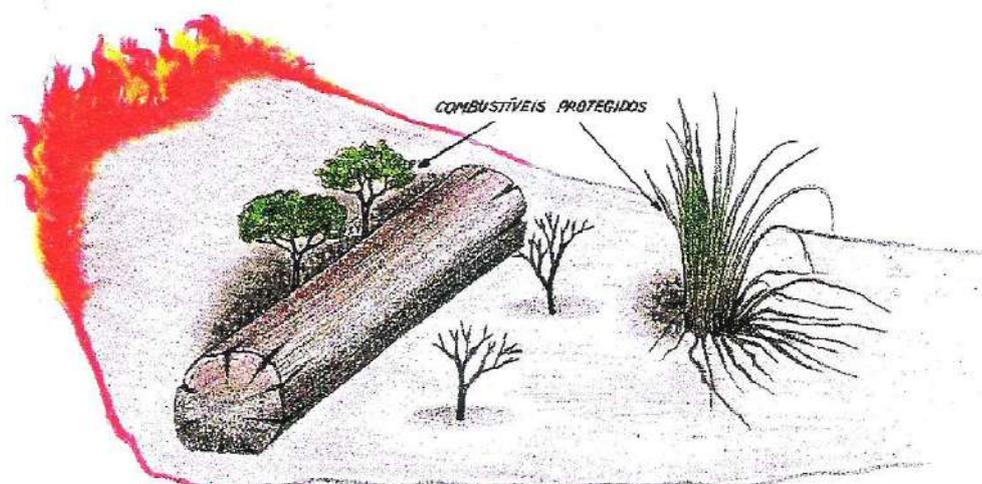
Fonte: IBAMA, Manual

6.1.2. Indicador 2: combustíveis protegidos

Uma queima vagarosa, de baixa temperatura, queimará somente a vegetação que está frontalmente exposta ao fogo. Analise o conjunto das plantas queimadas. Geralmente, os combustíveis protegidos não mostram sinais de queima.

Uma grande área que queime vagarosamente apresentará, quando vista de longe do ponto de origem, uma coloração mais clara devido a uma queima mais completa. Próximo ao ponto de origem do fogo, a combustão será incompleta e portanto, as cinzas mais escuras.

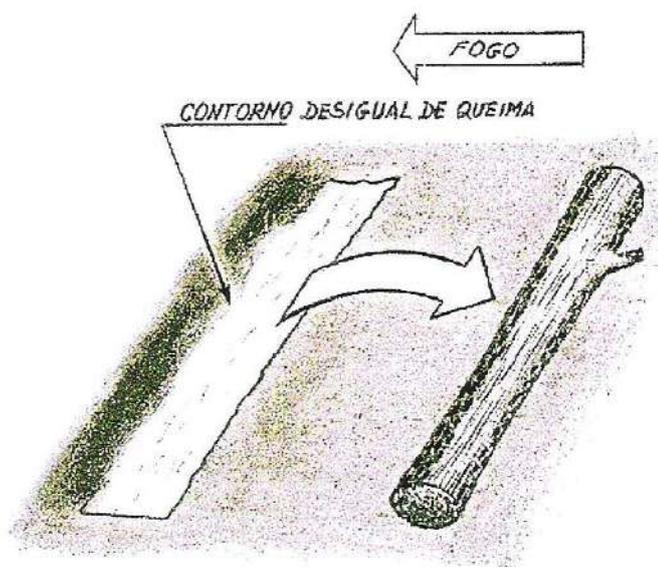
A parte da planta ou madeira atingida pelo fogo apresentará uma queima mais intensa, mais completa, uma cinza embranquecida no lado voltado frontalmente ao fogo enquanto ao lado oposto (protegido), haverá menos sinais de ter sido queimado. Observe a figura:

Figura 79 – Queima de combustíveis protegidos

Fonte: IBAMA, Manual

Qualquer objeto protetor apresentará um tipo específico de queima; a área protegida apresentar-se-á bem distinta. Haverá uma linha clara de queima na parte frontal ao fogo e um contorno desigual, de queima incompleta, na parte oposta à frente do fogo.

Quando retirado do local onde se encontrava o objeto no momento do incêndio, há marcas preservadas em ambas as superfícies.

Figura 80 - Preservação de marcas devido a um objeto protetor

Fonte: IBAMA, Manual

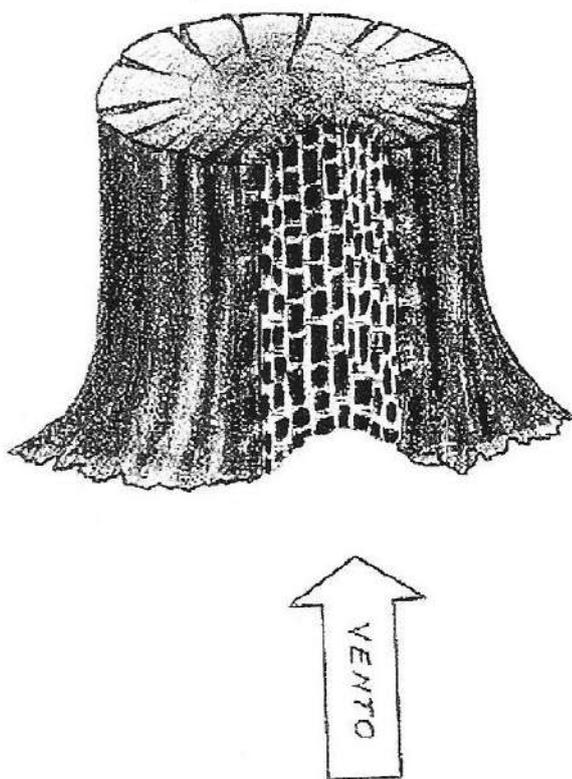
6.1.3. Indicador 3: Carbonização em forma de cava

Os aprofundamentos da queima (cavas) nos combustíveis, em geral ocorrem frontalmente ao sentido do vento, pois é o lado exposto ao vento e portanto, a queima é mais intensa.

Esse efeito ocorre até em gramíneas e pode ser examinado friccionando-se as costas da mão na área queimada. Esse movimento, quando feito na área carbonizada posicionada frontalmente ao sentido do fogo proporcionará a sensação de algo aveludado.

No lado oposto (protegido) haverá a sensação de algo áspero. Há que se fazer esse movimento em todas as partes queimadas até encontrar as áreas que proporcionam mais acentuadamente as sensações ásperas e aveludadas.

Figura 81 - Carbonização em forma de cava



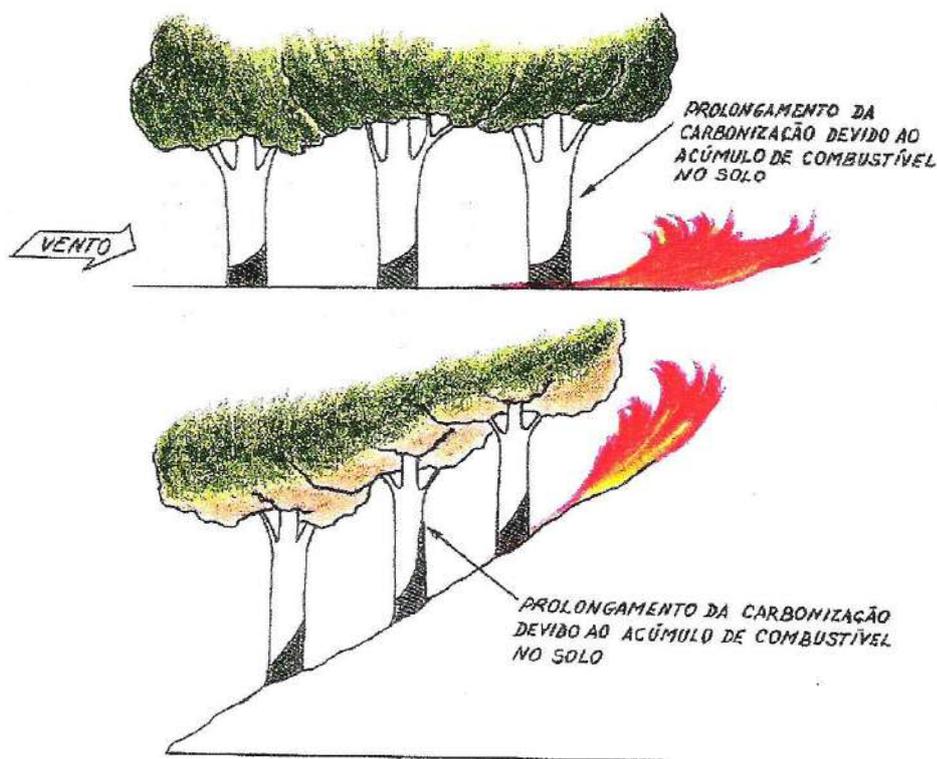
Fonte: IBAMA, Manual

6.1.4. Indicador 4: Linha de Carbonização

Esse tipo de indicador é muito comum em troncos de árvores e permanecerá por muitos anos após o incêndio. Trata-se de um marcador importante, mas que deve ser analisado com cautela em áreas de incêndios florestais recorrentes, pois a marca observada pode não ter sido testemunha do incêndio no momento investigado, e sim, de incêndios anteriores.

Quando um incêndio queima morro acima ou num plano horizontal a favor do vento, a linha superior de carbonização incide em ângulo agudo sobre o solo. Observe as figuras e lembre-se do raciocínio sobre a soma de vetores:

Figura 82 - Queima morro acima ou num plano horizontal a favor do vento



Fonte: IBAMA, Manual

Observe uma fotografia de um caso real de um incêndio florestal. Esta árvore estava na borda de uma mata de galeria; o fogo havia passado a meses. A marca de queima continua no tronco e denota o

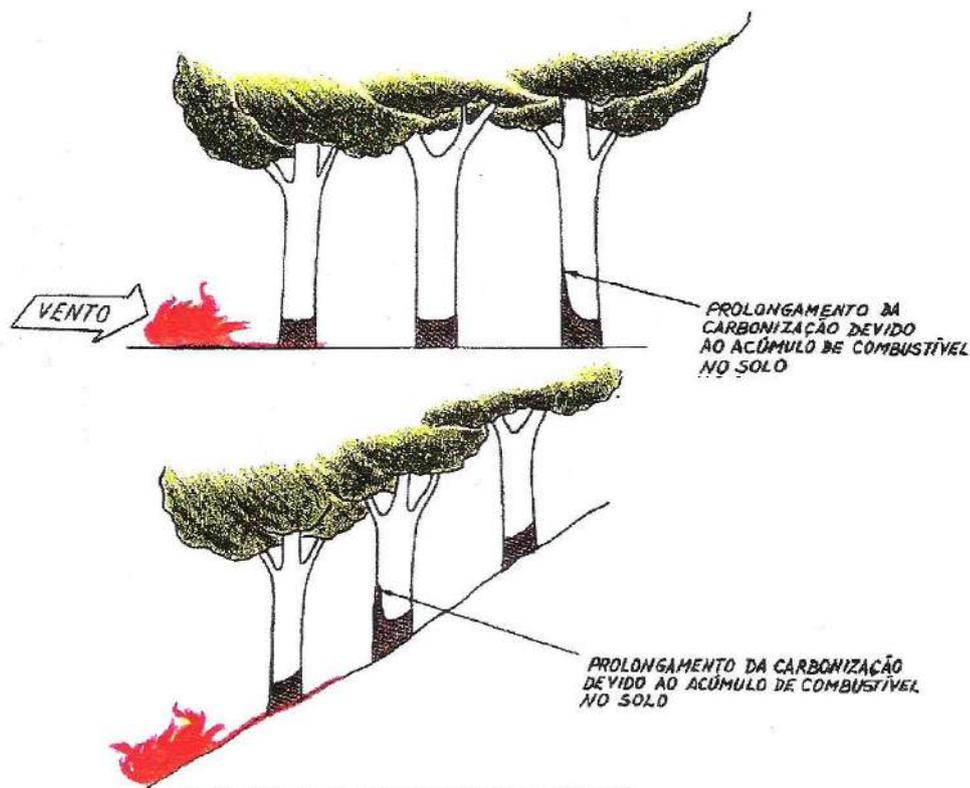
sentido do fogo nesse ambiente, naquele ponto. Apesar de não haver aclive perceptível, a marca em ângulo agudo demonstra que a disponibilidade maior de comburente na borda da mata de galeria provocou o mesmo efeito (marca no tronco) que o da existência de um aclive pronunciado.

Figura 83 - Linha de carbonização em uma situação real



Fonte: Ten Cel QOBM/Compl. Maria Luiza S. P. Tedesch

Quando um incêndio queima morro abaixo ou num plano horizontal contra o vento, a linha superior da carbonização será paralela ao solo.

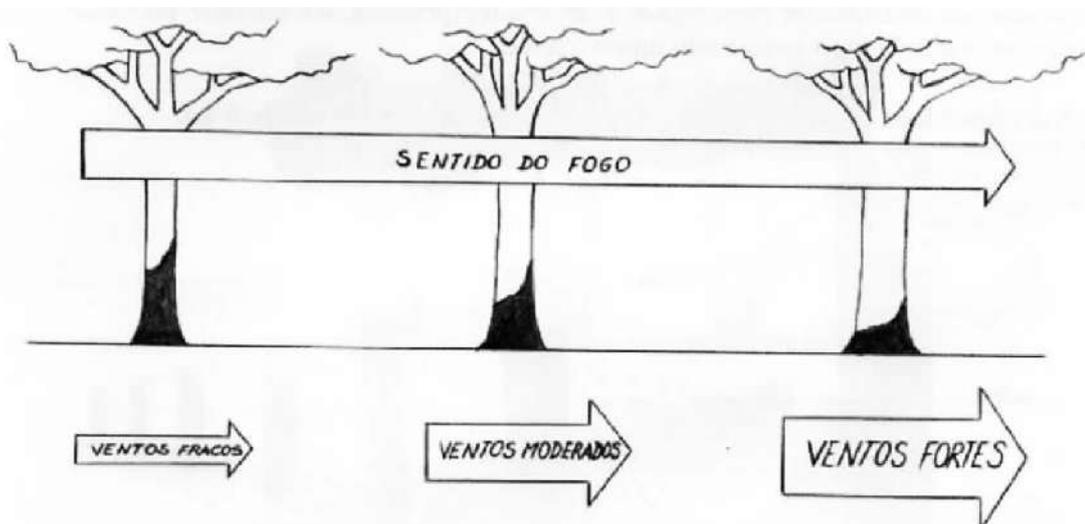
Figura 84 - Queima morro abaixo ou num plano horizontal contra o vento

Fonte: IBAMA, Manual

Em qualquer dessas situações, o acúmulo de combustível (folhas, galhos) num lado do tronco causará um aumento no ângulo da linha de carbonização apenas naquele lado, mas não afetará o padrão de carbonização no restante do perímetro do tronco.

6.1.5. Indicador 5: Altura de Carbonização e Intensidade do Vento

A intensidade do vento determina a altura de carbonização nos troncos das árvores. Quanto mais fraco for o vento, maior altura alcançará a carbonização; quanto mais forte o vento, menor a altura de carbonização.

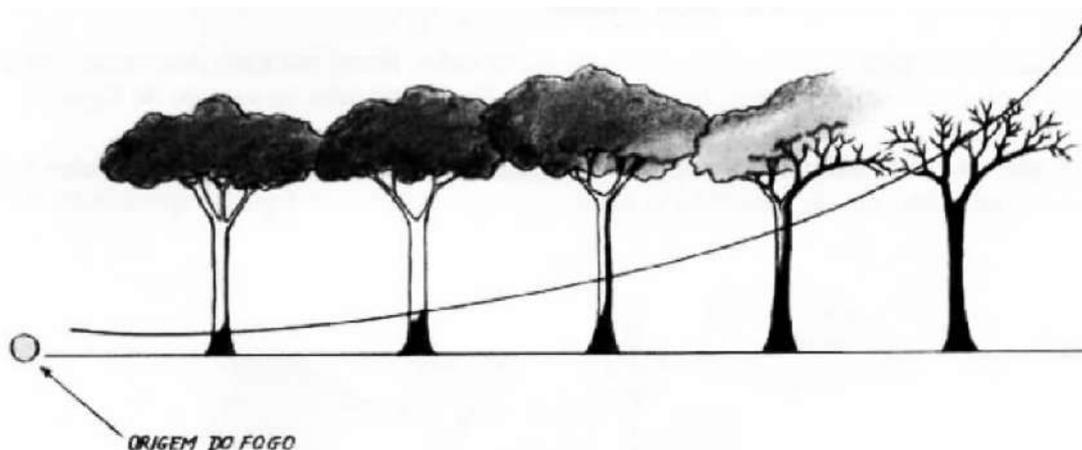
Figura 85 – Influência da intensidade do vento na altura de carbonização

Fonte: IBAMA, Manual

6.1.6. Indicador 6: Distância da Origem e Intensidade do Fogo

O fogo, na sua origem, movimenta-se vagarosamente, só desenvolvendo calor e velocidade na medida em que se afasta da origem.

Na área de origem, o fogo produz temperaturas relativamente baixas e as copas das árvores sofrem poucas ou nenhuma consequência. Ao se afastar da origem, o incêndio vai aumentando a intensidade, produzindo correntes de ar quente e elevadas temperaturas que aquecem, desidratam e queimam as copas das árvores.

Figura 86 - Influência da distância da origem nas marcas de queima

Fonte: IBAMA, Manual

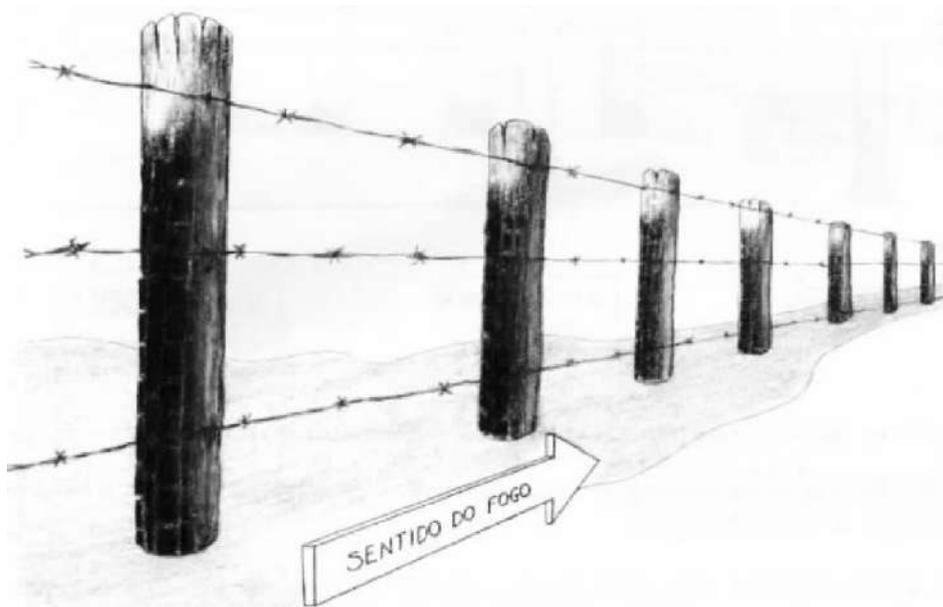
Quando a origem do incêndio ocorre em áreas de campos limpos (onde são raros ou inexistentes os indivíduos arbóreos), tais indicadores certamente não serão encontrados. Esse fato obrigará o perito em incêndios e explosões a valer-se de outros indicadores que possam, somados às demais evidências, suplantar tal carência.

6.1.7. Indicador 7: Forma de escamas de Jacaré

É uma forma de carbonização normalmente encontrada em estacas de cercas, estruturas de madeira, suporte de placas de sinalização, entre outros elementos dessa natureza.

Caso as formas de escamas de jacaré se apresentem com aspecto de escamas largas e brilhantes, a queima foi resultado de fogo rápido e de alta temperatura.

As escamas pequenas e opacas são resultado de fogo lento e não muito quente. A profundidade de carbonização é um bom indicador do sentido do fogo. Cabe ressaltar que marcas de incêndios anteriores nesse tipo de indicador podem confundir o perito durante a investigação, como dito no início desse tópico.

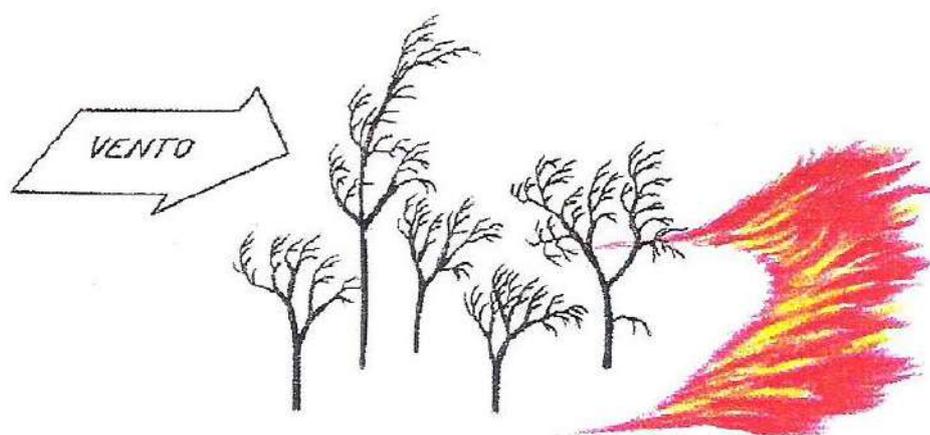
Figura 87 - Carbonização em forma de escamas de jacaré

Fonte: IBAMA, Manual

6.1.8. Indicador 8: Congelamento de Galhos ou "Freezing"

Quando as folhas e galhos finos recebem muito calor, ficam macios e facilmente se curvam no sentido do vento. Ao esfriarem, ficam geralmente curvados para o sentido do fogo.

É um excelente indicador, porém a observação de outros indicadores conjugados a esse e aos conhecimentos do perito sobre o comportamento do fogo é imprescindível. Observe a figura:

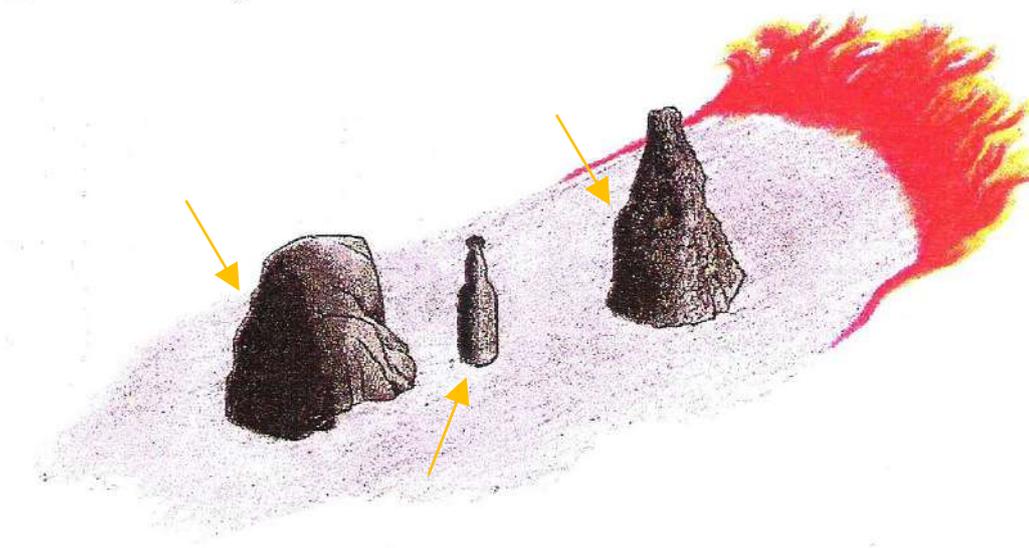
Figura 88 - "Congelamento" de galhos

Fonte: IBAMA, Manual

6.1.9. Indicador 9: Manchas em objetos não combustíveis

Rochas, latas, vidros, metais, torrões de terra, cupinzeiros e outros objetos não combustíveis, bem como materiais combustíveis não atingidos pelo fogo, ficarão manchados pelos vapores liberados dos combustíveis queimados e por minúsculas partículas impulsionadas pelo fogo, que ficarão aderidas nas superfícies.

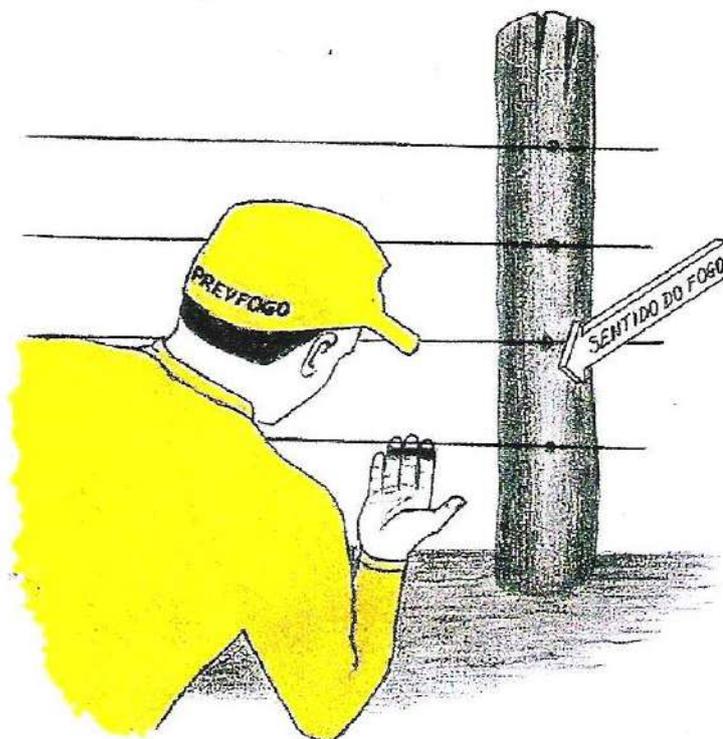
Figura 89 - Manchas em objetos não combustíveis



Fonte: IBAMA, Manual

6.1.10. Indicador 10: Fuligem

A fuligem é depositada nas cercas metálicas de lado voltado frontalmente ao fogo. Os arames mais próximos ao solo apresentam maior evidência desse indicador de queima.

Figura 90 - Marca de fuligem em cerca

Fonte: IBAMA, Manual

Para finalizar este item dos indicadores da propagação do fogo ou indicadores de queima, cabe ressaltar a importância de se usarem vários tipos de indicadores, durante todo o percurso dentro da área incendiada, assim como nas circunvizinhanças da área ardida e marcá-los claramente no croqui.

Nenhum indicador deve ser, isoladamente, o determinante do sentido de propagação do incêndio florestal, senão um somatório do conjunto de indicadores que apontam o caminhamento feito pelas chamas.

Por fim, em qualquer estudo que se faça no processo investigativo, é possível encontrar indicadores conflitantes devido a incêndios anteriores ou outros condicionantes, mas o que deve prevalecer é o raciocínio do somatório de vetores, com vistas a minimizar os erros na avaliação do fenômeno de propagação do incêndio florestal.

6.2. Indicadores de Fonte de Ignição e Objeto Causador

Uma vez que o perito, valendo-se de seus conhecimentos acerca do comportamento do fogo e guiado pelos indicadores de queima que identificou, tenha chegado ao ponto de origem do incêndio, passará à etapa seguinte, qual seja, a identificação da fonte de ignição do incêndio.

Convém lembrar que a fonte de ignição está intimamente relacionada à "causa do incêndio", embora não deva se confundir com ela. Adiante estão relacionadas as fontes de ignição mais comuns e, só então, serão abordadas as causas do incêndio.

6.2.1. Cercas elétricas

O fogo pode ocorrer em qualquer parte da cerca que esteja em contato com a vegetação. Um indicador dessa fonte de ignição é uma estaca ou haste de vegetal queimada a partir da altura do arame da cerca até o solo.

6.2.2. Cigarro

Para que o cigarro seja o objeto causador do incêndio, há que ocorrer simultaneamente as seguintes condições:

- umidade relativa do ar abaixo de 25%;
- o material combustível em contato com a brasa do cigarro tem que ser leve, extremamente fino e seco (gramíneas e ervas, por exemplo);
- parte da brasa do cigarro tem que estar em contato direto com o combustível. Se o cigarro for realmente a causa do incêndio e estiver em contato com o solo, essa parte do cigarro que está em contato com o solo não ficará totalmente queimada, como ocorre na queima livre progressiva de um cigarro, longe do contato com algum sólido ou quando é fumado. Por outro lado, se o cigarro foi

jogado na área antes do incêndio, após a passagem do fogo, ele poderá ter uma aparência típica denominada aspecto explodido.

6.2.3. Combustão espontânea (ignição sem nenhuma fonte externa de calor)

A ação bacteriana em feno, sementes, cereais ou serragem em condições especialíssimas de ausência de oxigênio e teor de umidade adequado num espaço isolado propício para uma completa oxidação em um tempo considerável para que essas condições desenvolvam calor suficiente na combustão, são fatores imprescindíveis da ocorrência dessa fonte de ignição.

Feno molhado ou montes de serragem úmida são ambientes bem adequados. É uma situação possível e provável, especialíssima, porém incomum.

6.2.4. Ação Pessoal realizada por crianças

Pode ser a fonte de ignição, principalmente em locais próximo de residências, em áreas de brincadeiras ou escolas. Geralmente são encontrados um grande número de fósforos no ponto de origem do fogo ou vestígios de pequenas fogueiras.

6.2.5. Incêndios Intencionais (verificar se em metodologia, esse termo é utilizado)

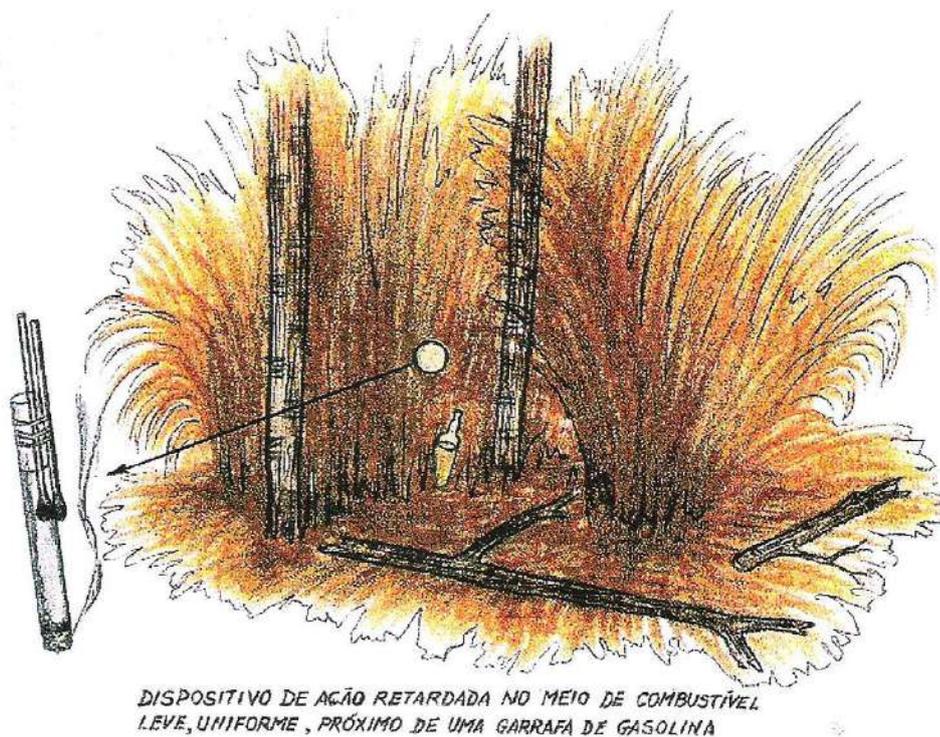
Os incêndios intencionais, portanto premeditados, podem envolver o uso de dispositivos. Esses dispositivos podem ocorrer sob diversas formas e combinações, mas geralmente, usam elementos como fósforos, cigarros, velas, barbantes, arames, tiras de borracha, vasilhames contendo combustível, entre outros.

No caso do uso de vasilhames contendo combustível, sendo ele plástico, derreterá com aspecto bastante carbonizado; já latas e vidros se apresentarão intensamente manchados de fuligem, resultante de vapores liberados pelo próprio combustível. Geralmente, cigarro e fósforo são os componentes mais comuns dos dispositivos elaborados por incendiários.

Quando for utilizado um isqueiro, não haverá dispositivo a ser detectado na investigação, porém essa ausência de dispositivo também é um indicador. Quando tiver sido usado fósforo, um ou mais palitos podem ser encontrados na área de origem do incêndio. Mais uma vez, quando nenhum dispositivo for encontrado, o perito em incêndios e explosões pode ainda assim localizar o ponto de ignição, embora não tenha encontrado exatamente o objeto causador.

Sem provas físicas, há que raciocinar por exclusão e eliminando as demais possibilidades, dois ou mais focos com frequência, em especial próximo a estradas e trilhas, pois geralmente, o incendiário não quer ter “muito trabalho” para atear fogo.

Podem ser encontrados dispositivos de retardo (cigarro), ignição (fósforo) e amarração (barbante ou arame, para amarrar os dois juntos) ou restos desses materiais na proximidade do ponto de origem do incêndio. Observe:

Figura 91 - Exemplo de dispositivo de ação retardada

Fonte: IBAMA, Manual

Outra análise importante nesse tipo de incêndios intencionais é a característica do incendiário. Existe o incendiário considerado “organizado” e o incendiário considerado “desorganizado”.

O incendiário desorganizado é impulsivo (possui vontade de atear fogo), tem alvos variados, faz diversos focos, geralmente próximos a estradas e trilhas, usa materiais disponíveis na área (tochas de capim seco, por exemplo), não planeja a ação, mas em geral é prontamente acessível a prestar informações sobre o incêndio e não tem tempo para se afastar muito do local de incêndio, pois usa o fogo a partir de chamas e não com dispositivos incendiários de ação retardada. Os principais motivos e motivações são: vandalismos, problemas mentais, vontade de encobrir um crime, incendiário por hábito ou cultura, vingança e lucros (quando há questões de seguro associadas).

Já o incendiário organizado usa dispositivos incendiários de ação retardada, faz planejamento, escolhe o local mais propício para o

rápido alastramento do fogo, não se envolve com informações sobre o incêndio, pois se concentra nos próprios pensamentos e somente observa o incêndio a se propagar e a atividade em volta, aproxima-se do local após o incêndio já ter se instalado e já havendo outras pessoas presentes na área, costuma seguir os mesmos padrões de atitude, pois tem sempre o mesmo hábito de instalar seus dispositivos incendiários (*modus operandi*), e por fim, sempre se concentra em mecanismos de retardo na origem do incêndio. Geralmente os motivos são distúrbios mentais.

6.2.6. Fogos de artifício e foguetes sinalizadores

Esses tipos de objetos causadores deixam resíduos, como borra branca (com aspecto de porcelana) e pó no local onde arderam os foguetes sinalizadores, que podem ser encontrados.

Os resíduos de fogos de artifício são mais difíceis de detectar, dado que pequenas partículas inflamáveis e não inflamáveis podem ser espalhadas a alguma distância do local da explosão. A área onde ocorreu a explosão de fogos de artifício pode ficar ligeiramente comprimida e até mesmo haver a formação de um buraco; possivelmente, um exame cuidadoso nesse ponto pode mostrar fragmentos de papel que são misturados ao solo no momento da explosão.

Neste item, citam-se também os balões, cuja prática é comum durante os festejos juninos e julinos em todo o País. A soltura de balões coloridos é prática de várias comunidades tradicionais, mas a queda deles pode causar incêndios, não só florestais, quando ainda têm material incandescente em seu interior.

Alguns Estados Federados promovem campanhas educativas e preventivas específicas para evitar a disseminação de tais práticas. Resíduos das partes constituintes e da armação podem ser encontrados, desde que facilitados através da indicação do local de queda do balão.

6.2.7. Fogueira de acampamento

Nesse caso, podem ser encontrados indícios de atividades humanas recentes, inclusive com o encontro de restos de fogueira.

Uma prática de rituais religiosos com uso de fogueira ou velas ou pólvora, ou também um conjunto desses elementos, é fonte de ignição de incêndios florestais. A prevenção aos incêndios florestais nesses casos é uma vertente educativa imprescindível em comunidades com tais práticas. Persistem elementos dos rituais mesmo após a eclosão do incêndio florestal, os quais podem ser encontrados pelo perito.

6.2.8. Linhas de transmissão de alta tensão

Incêndios florestais, especialmente, os superficiais, podem ser causados por fios elétricos caídos no chão. Para mais informações, consulte o capítulo sobre eletricidade deste manual. Um dos pontos que pode chamar a atenção do perito em incêndios e explosões é o fato de encontrar algum animal eletrocutado nas proximidades.

Em que pese a existência de mecanismos de proteção das redes de transmissão de energia elétrica, defeitos ou sobrecargas elétricas no sistema podem gerar aquecimento de componentes das linhas de transmissão ao ponto de provocar a fundição de metais que, lançados na vegetação, têm potencial para iniciar incêndios.

Nesse caso o perito, após identificar o ponto de origem, deverá buscar os fragmentos de metal fundido, os quais, naturalmente, deverão ser compatíveis com os metais existentes na rede. Curtos circuitos podem produzir violentas "explosões", de modo que fragmentos de porcelana ou outro material isolante usado nas redes de transmissão também poderão ser encontrados próximos ao ponto de origem.

Devido ao perigo potencial das linhas de transmissão de alta tensão, foram inclusas neste item as seguintes informações:

1. os cabos condutores de energia das linhas de transmissão são instalados a uma altura compatível com o nível de tensão que conduzem. Assim, a camada de ar funciona como um capacitor que garante a diferença de potencial existente entre a linha de transmissão e a terra, evitando dessa forma o desligamento da linha de transmissão;
2. a camada de ar em volta do cabo condutor fica totalmente ionizada devido ao gradiente de potencial ou campo elétrico da linha de transmissão;
3. durante a ocorrência de um incêndio sob a linha de transmissão, o calor do fogo ioniza toda a camada de ar e, a fumaça contendo partículas de carbono e fuligem, condutores de corrente elétrica, abre um buraco na camada de ar que vai do solo (onde passa o incêndio) às linhas de transmissão, formando assim um caminho para a corrente elétrica escoar para o solo. Assim, acontece a descarga elétrica (ou falha elétrica) provocada por um incêndio que passa sob as linhas de transmissão de energia, resultando no desligamento imediato após a falha elétrica e podendo ocorrer também o religamento automático em poucos minutos;
4. as linhas de transmissão de alta tensão emitem um ruído de Efeito Corona que se ouve quando energizadas, mas o crepitar do fogo pode dificultar e até impedir a audição e, mesmo que haja certeza de que a linha está desligada, existe a possibilidade de religamento automático, mais de uma vez. A atitude correta, nesse caso, é combater o fogo antes ou após a sua passagem pelas linhas de alta tensão. Na eventualidade da ocorrência de falha elétrica numa linha de transmissão, o indicador seria um buraco no solo causado pela descarga elétrica ou troncos de árvores ou arbustos próximos com lascas evidenciando a descarga, porém este

indicador seria consequência do incêndio e não causa, daí a importância de observarem-se vários indicadores.

Em qualquer circunstância, o combate ao fogo em linhas de transmissão jamais deve ser feito a menos de 30 metros da linha; nunca utilizando abafador, pois seu uso implica caminhar e apoiar-se com os pés afastados, criando nessa posição uma diferença de potencial ou tensão de passo, possibilitando a passagem de corrente elétrica pelo corpo do ser humano. A forma segura é usar jatos de água, sempre direcionados ao solo, nunca em direção aos cabos condutores de energia elétrica, distanciado 30 metros da linha, com vistas a apagar o incêndio nessa área.

6.2.9. Projéteis luminosos e munição incendiária

O lançamento desses projéteis luminosos pode causar incêndio a longas distâncias, caso o projétil caia em material de fácil combustão. Eles geralmente contêm fósforo ou outros componentes explosivos que poderão causar a ignição.

Os projéteis luminosos (dispositivos sinalizadores) costumam deixar restos razoavelmente fáceis de serem encontrados. No entanto, munições incendiárias (ou mesmo tiro traçante) são muito difíceis de serem localizadas.

6.2.10. Queimadas agrícolas

As queimadas agrícolas, autorizadas ou não, podem dar origem a incêndios florestais. Como já citado no item 2, em Legislação Geral e Aplicada, essas práticas precisam ser analisadas detidamente. Podas de árvores queimadas e queima de lixo, associadas às ocorrências anteriores desse tipo podem indicar uma possível reincidência dessa atitude. Clareiras na mata também podem indicar a recorrência dessa prática na área. Até mesmo certas comunidades com uso cultural e ancestral do fogo, como

ferramenta de manejo para uso em culturas agrícolas e florestais, devem ser avaliadas cuidadosamente.

6.2.11. Raio

Essa é a causa natural mais comum no Brasil, embora não seja a única possibilidade. O raio é uma descarga atmosférica, geralmente entre uma nuvem e o solo, acompanhada de relâmpago e trovão (Ferreira, 1999). Ele deixa marcas nas árvores ou em objetos combustíveis atingidos, podendo provocar lascas em troncos, raízes ou em qualquer outro material combustível atingido.

O raio pode perfurar a terra e provocar o derretimento e a vitrificação de grânulos de areia, numa profundidade de 20 a 30 cm, em terrenos arenosos. Um dos pontos a serem analisados nesse caso é a distância ou impossibilidade de atividade humana na área queimada e sempre associado a ocorrência recente de tempestade elétrica. Mais recentemente, é possível confirmar com certa precisão a localização dos raios que atingem determinada região nos institutos de clima e meteorologia, como INMET e ELAT/INPE.

6.2.12. Soldas

Elas podem ser de vara de eletrodo de solda ou de corte. Elas fornecem fragmentos de metal ou metal derretido às proximidades. Em havendo material combustível leve, seco e exposto ao vento, com temperatura ambiente elevada, isso possibilita um incêndio.

6.2.13. Veículos pesados

Veículos pesados são considerados os caminhões, locomotivas e tratores. Eles deixam rastros característicos de pneus de maior dimensão. Ocorrem geralmente próximo a rodovias ou ferrovias, com material combustível fino e seco nas redondezas. Partículas incandescentes, expelidas pelo escapamento de veículos pesados que utilizam motores de

baixa compressão caem em combustíveis finos e secos também podem gerar incêndios florestais. Essas partículas têm, geralmente, um lado arredondado, liso e o outro lado, enrugado ou serrilhado. Observe:

Figura 92 – Forma das partículas incandescentes, expelidas pelo escapamento de veículos pesados que utilizam motores de baixa compressão



Fonte: IBAMA, Manual

Tais partículas são extremamente pequenas e somente serão identificadas com o uso de equipamentos próprios para esse fim. Há de se ressaltar que qualquer motor pode ejetar partículas quentes, mas um motor mal regulado acumulará maior quantidade de carbono nos cilindros e no escapamento. Motores de alta compressão (gasolina) tem menor probabilidade de ejetar partículas incandescentes. Um detalhe a ser observado é que em trechos onde é necessária a redução de velocidade ou a aceleração súbita é mais provável a ejeção de partículas.

Em ferrovias, as partículas das sapatas de freio das locomotivas em descidas acentuadas das estradas de ferro também são possíveis focos de incêndios. Os focos, nesse caso, podem ocorrer em ambos os lados da ferrovia, sempre a menos de 2 metros dos trilhos. Os pontos mais prováveis são as curvas, desvios e declives da ferrovia, onde o uso dos freios é mais solicitado.

6.2.14. Vidro, material refletivo e espelho

A probabilidade de ignição causada por esses materiais é extremamente remota, embora não descartável, pois a concentração dos

raios solares por esses meios não produz temperatura tão elevada para que ocorra a ignescência (produção de fogo).

Seriam necessárias a ocorrência simultânea em condições excepcionais de todos os fatores predisponentes à queima tais como: combustível fino, homogêneo, com baixíssima umidade, umidade relativa do ar muito baixa, brisa suave e sol incidindo forte e favoravelmente sobre o objeto concentrador dos raios solares.

7. CAUSAS DE INCÊNDIO FLORESTAL

As causas de incêndio florestal podem ter ação humana ou não. Sua importância reside no fato de, dependendo de como foi ateado fogo em determinada área, essa causa pode ser trabalhada nos planos de prevenção. Já a análise dessas causas, em incêndios recorrentes de determinada área, traz ainda a possibilidade de avaliação do grau de risco, de acordo com as principais fontes de fogo.

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, as principais causas de incêndios florestais que ocorrem ao redor de todo o mundo podem ser agrupadas:

- a. Raios;
- b. Incendiários;
- c. Queimas para limpeza;
- d. Operações florestais;
- e. Fumantes;
- f. Fogos de recreação;
- g. Estradas de ferro;
- h. Diversos.

Nesses grupos, o único de fonte natural é o de raios. Estatísticas demonstram que as principais causas de incêndios florestais no Brasil são as queimas para limpeza e realizadas pelos incendiários.

8. METODOLOGIA E PRÁTICA PARA INVESTIGAÇÃO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS

Os incêndios florestais, embora ocorram em ambientes abertos e sob fatores inesperados (meteorologia e outros), ainda que possuam um comportamento errático e fora de controle, apresentam características presumíveis.

Todos eles se iniciam pequenos e se tornam maiores e mais quentes, conforme se propagam. Eles crescem em formato de U ou V, sob a influência do vento predominante e tendem a mover-se na mesma direção e sentido dele.

Um outro ponto bem característico é que os incêndios florestais movem-se mais rapidamente morro acima, conforme já explicado no item sobre topografia. Desse modo, com esses princípios bem fundamentados, os peritos em incêndios e explosões buscam as pistas para localizar a fonte do incêndio e descrever, o mais fielmente possível, o comportamento do fogo durante o incêndio florestal.

Durante a investigação em um incêndio florestal, deve-se proceder da seguinte forma.

8.1. Entrada na área queimada

Circule a área queimada, sempre que possível por completo, observando indicadores que permitam verificar o sentido do fogo. Se necessário, circule a área várias vezes ou até ter a certeza de haver encontrado o caminho que o fogo percorreu a favor do vento – e não entre

na área se não tiver certeza absoluta, pegue todos os pontos do perímetro, com o GPS, a cada vértice da poligonal.

Se possível, faça um sobrevôo na área de grandes incêndios e aproveite a aeronave para plotar pontos da poligonal do incêndio florestal. Ao estar certo de por onde passou a frente de fogo, aí sim, já em solo, entre cautelosamente na área, em busca do maior número possível de indicadores de queima. Lembre-se que se adentra pela área queimada da última parte afetada pelo incêndio, e sempre em zigue-zague.

Figura 93 - Imagem aérea de uma área queimada



Fonte: CBMDF

Use uma prancheta de campo, GPS ou bússola, trena, lápis e borracha e desenhe e esquematize, com a maior precisão possível, todos os indicadores de queima encontrados.

Marque o Norte Magnético da bússola no croqui.

Esforce-se para anotar as distâncias e a direção (azimute) do indicador encontrado, e georreferencie-o de forma que se saiba o sentido do fogo e o corredor do incêndio a favor do vento (túnel negro e circunvizinhanças), usando a seta → como símbolo.

Onde não foi o túnel negro, ou seja, fogo contra o vento, assinale o símbolo de “v” ou escama, no sentido inverso ao da seta.

Estes são os dois principais símbolos a serem usados nas anotações de campo: a seta → e o símbolo de “v” ou escama, como pode ser visto no exemplo de croqui apresentado na Figura 97.

Ambas as áreas podem não ter características homogêneas, por isso, as medidas das larguras dos corredores são importantes para o desenho final do corredor principal por onde o fogo progrediu mais intensamente, sem que se desconsidere a importância dos corredores secundários. O tipo de aparelho GPS empregado pode dispensar a trena e também fornecer outros dados da fisiografia do terreno.

Quando encontrar uma área cujas características de queima são iguais em todas (ou quase todas) as direções, e onde a queima é mais branda e incompleta, talvez com a forma mais ou menos circular e onde os indicadores de queima são menores e muito confusos, pare, pois há a possibilidade de ter encontrado a zona de confusão.

A zona de confusão é a área onde o fogo tinha pouca intensidade, pois é o local onde se iniciou a propagação, ocorrendo uma queima leve; conseqüentemente, os indicadores de queima são menos definidos, mais confusos. Nessa área é visível a queima incompleta e muito semelhante em todas as direções.

Não entre nessa zona ainda.

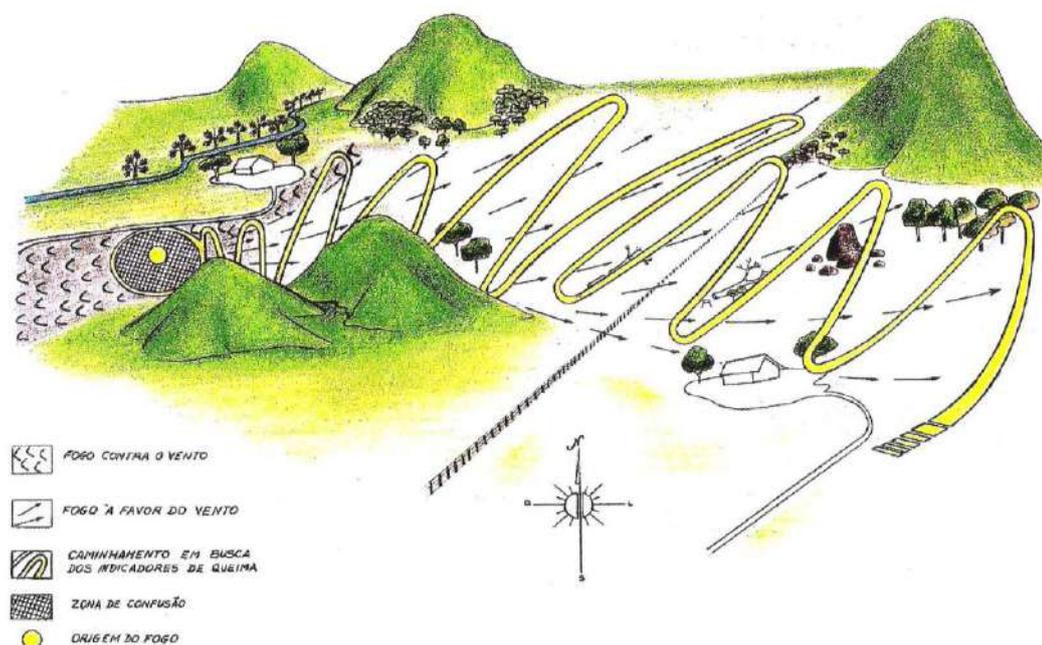
Primeiro, circule essa zona e delimite-a com barbante, fita zebrada ou qualquer outro recurso disponível. Essa área deve ser protegida da melhor forma possível.

Plote essa área e verifique se há necessidade de vistoriar essa parte meticulosamente. Analise mais uma vez os indicadores ao redor e, caso não seja a zona de confusão, revise o croqui feito e analise novamente o possível caminho que o fogo percorreu no incêndio.

Repense e continue na busca de mais indicadores de queima até encontrar uma nova área com as características da zona de confusão e repita o procedimento.

Lembre-se de conjugar todos os conhecimentos obtidos, especialmente sobre o comportamento do fogo e os dos indicadores de queima. Considere também as informações obtidas de testemunhas e, principalmente, de bombeiros ou guardas florestais que detectaram ou estiveram no incêndio desde o início. Observação e concentração são comportamento decisivos na busca da zona de confusão. É sabido que é uma tarefa árdua e desafiadora.

Figura 94 - Entrada na área queimada, com o Norte Magnético marcado, de onde se inicia o zigue zague da última parte queimada até a zona de confusão



Fonte: IBAMA, Manual

No caso de grandes áreas queimadas, em que houve o combate ao incêndio florestal por militares do Corpo de Bombeiros ou voluntários, busque o chefe da operação de campo para mostrar onde estava a linha de fogo quando foi iniciado o combate, pois assim se ganha tempo na busca do melhor local de entrada na área queimada.

Pilotos das aeronaves de combate acionadas para o incêndio possuem informações valiosas que podem ajudar a reduzir a área a ser analisada pelo perito. O sobrevoo de helicóptero, por exemplo, também se torna uma importante ferramenta para delimitar áreas de campo, a serem exploradas e avaliadas como possíveis zonas de confusão do incêndio florestal.

Observe a foto a seguir:

Figura 95 – Vista aérea da delimitação da área queimada



Fonte: CBMDF

8.2. Análise da zona de confusão

Após o mapeamento dos indicadores de queima existentes nas áreas onde o fogo foi a favor e contra o vento, a fonte de ignição poderá ser visível. Caso contrário, há que se analisar detalhadamente a zona de confusão.

Como dito anteriormente, a zona de confusão é a área onde o fogo tinha pouca intensidade, pois é o local em que iniciou a propagação, ocorrendo uma queima leve.

Conseqüentemente, os indicadores de queima são menos definidos, mais confusos, com a presença de queima incompleta e muito semelhante em todas as direções.

As características dessas zonas são:

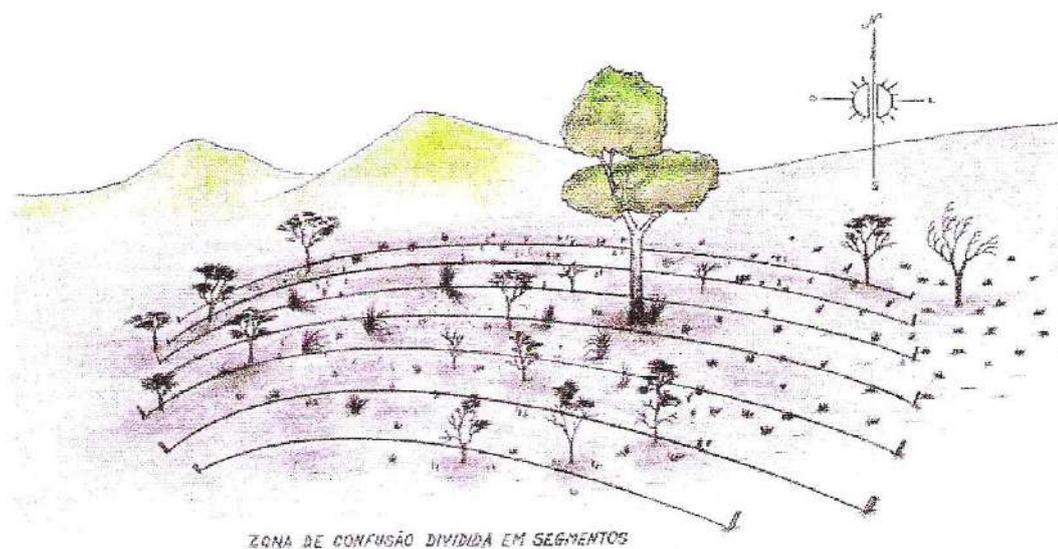
- queima mais leve;
- queima semelhante em todas as direções;
- costuma ter forma circular com características semelhantes tanto no sentido da cabeça do fogo quanto no sentido da traseira do fogo;
- indicadores de queima menores, menos definidos e confusos.

Na metodologia norte-americana, ao encontrar a zona de confusão, inicia-se o momento de procurar o possível objeto que causou o incêndio e também o ponto de origem, onde foi aplicado o dispositivo de ignição.

Essa prática é comum nos Estados Unidos, mas a busca do objeto causador não é o foco da investigação nos incêndios florestais no Brasil, em especial no Distrito Federal.

Para encontrar o objeto causador do incêndio, ainda sem entrar na zona de confusão, deve-se dividi-la com barbante em segmentos longos e estreitos. Quanto mais estreito o segmento, mais criteriosa e completa será a busca do objeto causador da ignição. O perito em incêndio e explosões deve, então, entrar em um segmento da zona de confusão e concentrar sua atenção em pequenas áreas por vez, podendo usar uma vara com a largura do segmento, a fim de marcar os setores já analisados.

Figura 96 - Análise da zona de confusão, dividida em segmentos, com Norte Magnético marcado



Fonte: IBAMA, Manual

Ao observar os indicadores de queima, o perito em incêndios e explosões deve se lembrar:

- Que a zona de confusão possui esse nome por ser realmente confusa, com aspectos que podem enganar os investigadores;
- De observar os diversos tipos de indicadores de queima;
- De seguir sempre a maioria dos indicadores; apesar de pequenos, devido à baixa intensidade do calor, estão presentes; para tal, o perito pode valer-se de uma lente de aumento sempre que necessário;
- De fazer um croqui dos segmentos localizando os indicadores de queima para sua orientação nessa busca;
- De, ao encontrar a causa da ignição, fotografar o objeto, inserindo-o no croqui e, por fim, se houver indícios de incêndio criminoso, obedecer as instruções normativas da Diretoria de Investigação.
- Se for também o responsável pela perícia criminal, recolha os restos do objeto causador da ignição utilizando uma

luva, acondicionando em caixa adequada forrada de algodão para mantê-lo intacto;

- De fazer, preferencialmente, um croqui georreferenciado, usando softwares especializados, como o AUTOCAD, ARQVIEW, TRACKMAKER, ou outro, bem como utilizar imagens de satélites para elaborar o mapa temático, incluindo cada tipo de vegetação perdida.
- Se não houver imagens atualizadas, é possível utilizar as imagens do *Google Earth*, mas lembrando que diversas organizações governamentais possuem cartas e imagens atualizadas, como por exemplo, SEMARH, SEDHUMA, no DF e IBAMA, INPE e MMA entre outros, no Brasil.

O mais importante em tudo isso que foi escrito é a capacidade dos peritos em incêndios e explosões do CBMDF, adquirida pelo treinamento, de ler com precisão os indicadores de queima cuja única finalidade é indicar a direção e o sentido do fogo para que se possa chegar até a causa da ignição do incêndio florestal, valendo-se sempre do raciocínio da soma de vetores, a fim de determinar a direção e o sentido do caminhamento e progressão do incêndio florestal. Só assim, determina-se o caminhamento em direção à zona de confusão, onde se iniciou o incêndio.

8.3. Equipamentos

Os principais equipamentos de campo são elencados a seguir, embora em cada situação de investigação, um ou mais possam ser substituídos por outros que estiverem disponíveis:

- prancheta, lápis, borracha e régua;
- GPS, preferencialmente o tipo geoestacionário;
- bússola;
- lente de aumento;
- trena (50m);

- sacos plásticos, caixa ou outro recipiente adequado para acondicionar vestígios;
- pinça grande;
- barbante, fita zebrada ou outro material para demarcação;
- máquina fotográfica;
- fita adesiva;
- suporte técnico – trabalho de processamento e georreferenciamento de imagens e criação/plotagem de mapas;
- manuais ou outras fontes de consulta contendo tabelas e informações que possam apoiar o trabalho pericial.

8.4. Fotografia

A fotografia permite levar ao laudo a evidência que não pode ser transportada (aspectos topográficos) ou que é susceptível de se apagar com o tempo, tais como algumas marcas de combustão.

As fotografias devem aparentar o aspecto mais natural possível. Para uma vista geral de toda a cena as lentes devem estar à altura dos olhos do fotógrafo e direcionadas horizontalmente, envolvendo aspectos próximos (evidências e causas) e distantes (acidentes topográficos).

Sempre que possível deve haver a sinalização (por números ou setas, por exemplo), na fotografia, dos pontos relevantes e das marcas de queima indicadas no croqui.

Registrar, ao máximo, a área de origem do incêndio, com a finalidade de demonstrar o maior número de informações possíveis. Elas devem possibilitar ao observador entender onde e como o incêndio começou e por onde se propagou, a partir de diferentes posições no caminhar dentro da área incendiada.

A sequência fotográfica deve conter:

- fotografias da cena geral – fotografias de diversos ângulos, mostrando os dados importantes, evidências e aspectos topográficos que caracterizam a área, por exemplo, um indicador de queima em primeiro plano (mostrando o sentido do incêndio) e uma característica topográfica da região em segundo plano (mostrando onde se situa a área investigada);
- fotografias de média distância – têm a finalidade de mostrar as áreas importantes, com mais detalhes que as fotos da cena geral, porém, devem ser facilmente identificadas nas fotos da cena geral;
- fotografias de proximidade – todas as evidências importantes devem ser fotografadas o mais próximo possível para registrar o maior número de detalhes, procurando captar, em segundo plano, aspectos que caracterizam a região do incêndio, objetivo contido nas fotografias da cena geral.

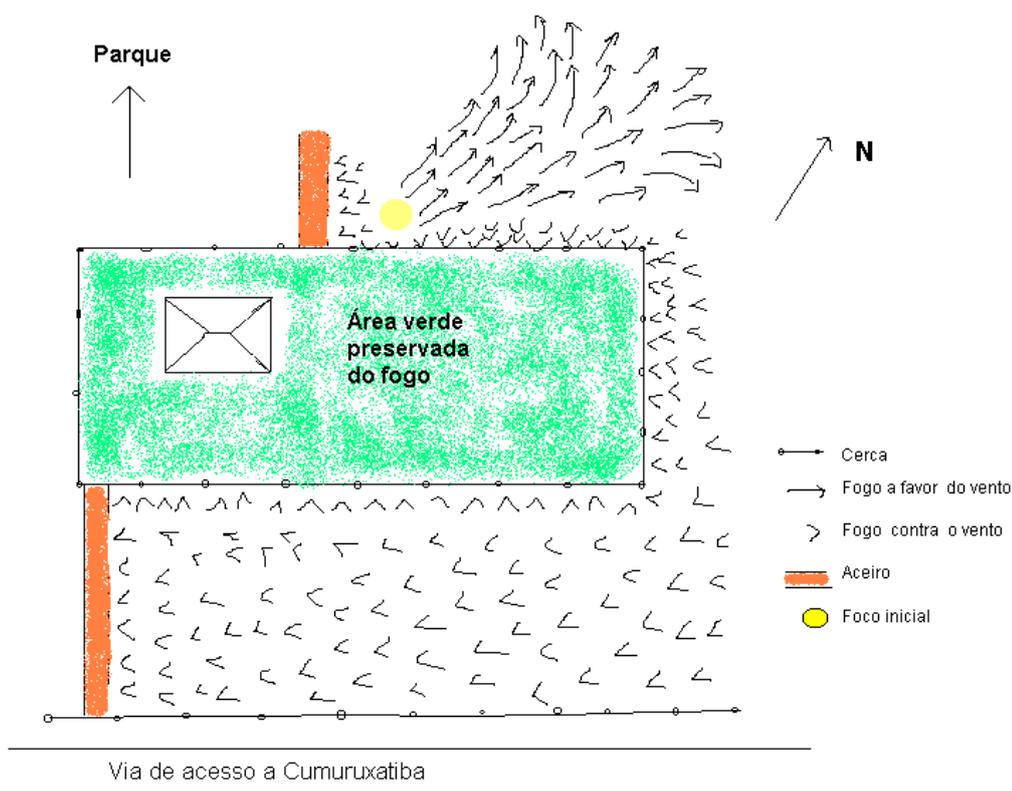
Atualmente, equipamentos como VANT e DRONE têm sido utilizados em diversas finalidades e na investigação dos incêndios florestais são muito úteis para tomada aérea de fotografias (da cena geral e de média distância), bem como na observação de pontos de difícil acesso dos peritos no campo. Para mais informações e aplicabilidades, consulte Munaretto, 2015.

8.5. Croqui e memorial descritivo

O desenho deve ser claro, objetivo e feito em escala, para ser compreensível. Uma escala de 1:10.000 é uma sugestão. Um exemplo de croqui é demonstrado abaixo, onde são vistos os dois principais símbolos do fogo a favor e contra o vento e algumas referências físicas (cerca, telhado

de uma edificação). Um detalhe é a falta do Norte Magnético devidamente marcado, conforme as figuras anteriores o demonstram.

Figura 97 – Exemplo de croqui



Fonte: IBAMA, Manual

Deve, sempre que possível, ser acompanhado:

- do mapa da área queimada, indicando o foco inicial e o sentido de propagação do incêndio, georreferenciado, contendo as legendas conjugadas com as legendas das fotografias.
- da imagem de satélite sobre a poligonal do incêndio;
- do mapa temático, com o trabalho da imagem do satélite, onde é possível mostrar todos os tipos de vegetação existente na área.

O memorial descritivo deve conter a área total do incêndio, data, hora, fatores meteorológicos (como umidade, temperatura,

velocidade e direção do vento, índice de inflamabilidade), área de cada tipo de vegetação queimada e danos indiretos, técnica usada no tratamento das imagens e a origem da imagem usada. Todas as informações obtidas devem conter a fonte, seja de meio real ou virtual.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agee, J. K. **Fire ecology of Pacific Northwest Forests**. Island Press. 1993. 477p.
- Aguiar, L. M. de S. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Embrapa Cerrados. 2004. Planaltina/DF. 249p.
- Augusto, M.M. & Mesquita, I.M. – **Relatório anual da coordenação do Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do DF**. SEMARH, Brasília/DF, 2004.
- Azevedo, M.C.X. et al. - **Avaliação da taxa de urbanização do Bioma Cerrado através dos produtos DMSP-OLS: uma análise preliminar para os anos de 1992 a 2009**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba/ PR, 2011.
- Barbosa, J. P. et al., **Parque Nacional de Brasília – 50 anos**. ICMBio, Brasília/DF, 2012.
- Batista, A. C. & Soares, R. V. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. FUPEF. 1997. Curitiba/PR. 50p.
- Batista, A. C. **Incêndios Florestais**. 1ª Edição. Volume 1. Imprensa Universitária UFRPE. 1990. Recife/PE. 115p.
- Bizerril, M. **Vivendo no Cerrado e aprendendo com ele**. Ed. Saraiva. 2009. São Paulo/SP. 77p.
- Branco, S. M. **Cerrado: origem, natureza e curiosidades**. Ed. Moderna. 2003. São Paulo/SP. 63p.
- Cavedon, A. D. & Sommer, S. **Levantamento semidetalhado dos solos, escala 1:10000**. 1990. Fundação Zoobotânica do Distrito Federal. Brasília/DF. 95p.
- Couto, E. A. & Couto, J. F. **Incêndios Florestais**. Universidade Federal de Viçosa. 1980. Viçosa/MG. 101p.
- Felfili, J. M. & Santos, A. A. B. **Legislação ambiental APA Gama e Cabeça de Veado**. Universidade de Brasília. 2002. Brasília/DF. 59p.

Ferreira, A.B. de H. **Novo Aurélio – o dicionário da língua portuguesa Século XXI**. Ed. Nova Fronteira. 1999. Rio de Janeiro/RJ. 2128p.

Fiedler, N. C. **Estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais para a região Centro-Oeste**. In: Anais do VI fórum do Plano de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais do Distrito Federal. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal. Brasília, 2003. p. 83-99.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Anais do VI Fórum do Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Distrito Federal**. SEMARH. 2003. Brasília/DF. 126p.

IBAMA. PREVFOGO. Pereira, A. de M. M. et. al. **Investigação de Incêndio Florestal**. Brasília/DF, 2.010. 75p. Il.

IBAMA. **PREVFOGO. Termos usuais relativos aos incêndios florestais**. MMA. 1994. Brasília/DF. 8p.

INMET – página virtual, <http://www.inmet.gov.br/> acessada em 22 de junho de 2016, 2016.

Johnson, E. A. **Fire and vegetation dynamics**. Cambridge University Press. 1992.

Marinho-filho, J.; Rodrigues, F. H. G. & Guimarães, M. M. (Edt.) **A fauna de vertebrados da Estação Ecológica de Águas Emendadas – história natural e ecologia em um fragmento de Cerrado do Brasil Central**. Secretaria de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Distrito Federal. 1999. Brasília/DF. 92 p.

Matos, E. F. & Carvalho, R. V. T. G. **Perícia em incêndios florestais – enfoques**. In: Anais do I Workshop sobre Incêndios Florestais no Cerrado. 2000. Fiedler, N. C. (coord.). **Departamento de Engenharia Florestal**, Universidade de Brasília. Brasília/DF. Pág. 29-34.

Ministério do Meio Ambiente. IBAMA. **Glossário – termos usuais relativos aos incêndios florestais**. 1994. 8p.

Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas – Cerrado**. MMA. 2011. Brasília/DF. 200p.

Miranda, H. S. et al (Orgs). **Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga**. 1996. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília/DF. 197p.

Miranda, H. S. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do Projeto Fogo**. 1ª Edição. IBAMA/MMA. Brasília/DF. 2010.

Miranda, H. S. et al. (Orgs) **O comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: Impactos de queimadas em áreas de Cerrado e Restinga**, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília DF. 1996.

Munaretto, L. **Vant e drones – a Aeronáutica ao alcance de todos**. Edição Independente. 2015. São Paulo/SP. 166p.

Nunes, J. R. S. et al. **Ajuste da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+) para o Estado do Paraná**. Revista Floresta, v. 37, n. 1. Curitiba/PR. 2007.

Nunes, J. R. S. **FMA+ - Um índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná – Brasil**. Tese de Doutorado. 106p. Curitiba/PR. 2005.

Pyne, S. J. **Introduction to wildland fire**. John Wiley & Sons. 1984. 455p.

Ribeiro, J. F. & Walter, B. M. T. **As principais fisionomias do Bioma Cerrado**. Capítulo 6, p. 151-212, in Sano, S. M.; Almeida, S. P. de & Ribeiro, J. F. (Edts. Técnicos), EMBRAPA Informação Tecnológica. Brasília/DF. 2008.

Sano, S. M.; Almeida, S. P. de & Ribeiro, J. F. (Edts. Técnicos). **Cerrado – Ecologia e Flora**, vol. 1. 406 p. EMBRAPA Informação Tecnológica. Brasília/DF. 2008.

Scariot, A.; Sousa-Silva, J.C.; Felfili, J.M. (orgs.) **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília/DF. Ministério do Meio Ambiente. 439 p. il. 2005.

SEMARH. **Prevenção e combate aos incêndios florestais em Unidades de Conservação – Caderno Técnico**. Brasília/DF. 96 p., il. 2004.

Soares, R. V. **Incêndios florestais - Controle e uso do fogo**. 2ª Edição. Ed. FUPEF. 1985. Curitiba/PR. 213 p.

Soares, R. V. & Batista, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. 1ª Edição. Ed. Curitiba. 2007. Curitiba/PR. 264 p.

_____. **Meteorologia e climatologia florestal**. 1ª Edição. Ed. Curitiba. 2004. Curitiba/PR. 195p.

Soares, R. V. ; Batista, A. C. & Nunes, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil – o estado da arte**. 1ª Edição, volume 1. Ed. Curitiba. 2009. Curitiba/PR. 246p.

_____. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. 2ª Edição, volume 01. 2008. Curitiba/PR. 55p.

Soares, R. V. ; Batista, A. C. & Tetto, A. F. **Meteorologia e climatologia florestal**. 2ª Edição. Ed. Curitiba. 2015. Curitiba/PR. 215p.

Tedeschi, M. L. S. P. **Incêndio florestal: índice de inflamabilidade como ferramenta técnica de monitoramento, análise e priorização de áreas no**

Distrito Federal. Monografia apresentada no Curso de Altos Estudos para Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. 2013. Brasília/DF.

Tendências Negócios. **QUEIMADAS – o grande enfrentamento do Cerrado.** Revista. Edição XV, ano II, julho 2013. Brasília/DF. 82p.

Tetto, A. F.; Batista, A. C. & Soares, R. V. **Prevenção e combate aos incêndios florestais.** SENAR-PR. 2011. Volume 01. 76 p.

UNESCO. **Vegetação no Distrito Federal: tempo e espaço.** 2ª Edição. Brasília/DF. 80 p. 2002.

VICENTINI, K. R. V. **Análise palinológica de uma vereda em Cromínia – GO.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília/DF. 1993.137p.

_____. **História do fogo no Cerrado: uma análise palinológica.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília/DF. 1999. 208p.

Whelan, R. J. **Ecology of fire.** Cambridge University Press. 1995. 345p.

ANEXO 1

a) Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC

LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000

Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

b) Lei de Proteção à Fauna

LEI Nº 5.197, DE 3 DE JANEIRO DE 1967

Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências.

c) Política Nacional de Meio Ambiente

LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981

Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

d) Lei de Crimes Ambientais

LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998

Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

e) Resoluções CONAMA – disponível em pdf, na página do Ministério do Meio Ambiente. Edição Especial Rio+20. Resoluções vigentes entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. 1126p.

Resolução CONAMA n. 11, de 14 de dezembro de 1988 – dispõe sobre as queimadas de manejo em Unidades de Conservação

f) Código Florestal

LEI Nº 41, DE 13 DE SETEMBRO DE 1989

Institui o novo Código Florestal

g) Novo Código Florestal

LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012

Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

h) Política Nacional de Resíduos Sólidos

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010

Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

i) Plano de manejo de unidade de conservação federal

ANEXO 2

- 1) Manejo de cana-de-açúcar com fogo, em SP,

LEI ESTADUAL Nº 11.241, DE 19 DE SETEMBRO DE 2002

Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas.

- 2) Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, no DF

DECRETO Nº 17.431, DE 11 DE JUNHO DE 1996

Institui o Plano de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do Distrito Federal e dá outras providências.

- 3) Lei contra a queima de lixo, no DF

LEI Nº 4.329, DE 5 DE JUNHO DE 2009

Dispõe sobre a proibição da queima de restos vegetais e lixo no território do Distrito Federal

- 4) Política Ambiental do Distrito Federal

LEI Nº 41, DE 13 DE SETEMBRO DE 1989

Dispõe sobre a Política Ambiental do Distrito Federal e dá outras providências.

- 5) Plano de manejo de unidade de conservação estadual ou distrital

- 6) Autorização de queima controlada

ANEXO 3 – EXTRATO DE INFORMAÇÕES SOBRE O EVENTO “PARANÁ EM FLAGELO”

Quando o Paraná virou um inferno

Em 1963, quando o “demônio reinou”, um incêndio devastador atingiu 128 cidades do estado e matou 110 pessoas

Diego Antonelli

Figura 98 - Edição da Gazeta do Povo de 50 anos atrás relata a destruição causada pelas chamas



Estragos

Estado decretou calamidade pública por causa das queimadas

No dia 28 de agosto de 1963, o governo do Paraná decretou Estado de Calamidade Pública. O fato, que estampou a manchete da Gazeta do Povo, foi motivado pelos estragos causados pelo incêndio e os problemas sociais gerados, como desabrigados e desempregados. A atividade agrícola na época praticamente parou.

O governador Ney Braga chegou a contratar, em outubro, por 300 milhões de cruzeiros, uma equipe dos Estados Unidos para auxiliar no desenvolvimento do Paraná, que estava sofrendo com os efeitos da tragédia. Os peritos norte-americanos orientaram os produtores rurais para que não fizessem uso de queimadas para limpar o terreno antes do plantio.

Foram enviados ao estado medicamentos, ferramentas agrícolas, roupas e alimentos oriundos de diversos países, como Estados Unidos, Itália, Japão, China e Suíça.

Quando o Paraná virou um inferno

Figura 99 – Foto do incêndio



Em foto de 1963, o Paraná em chamas: florestas e araucárias foram devastadas. Ajuda para combater o fogo veio de outros estados.



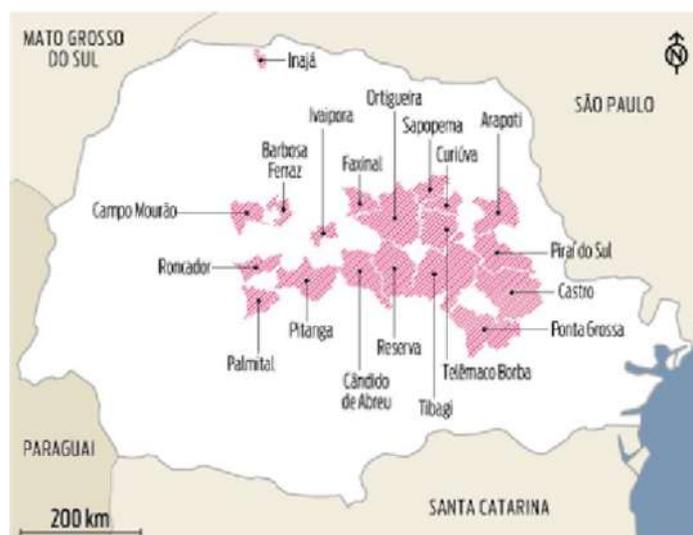
Há exatamente 50 anos, o Paraná ardia em chamas. Uma série de incêndios florestais entre os meses de agosto e setembro de 1963 causou uma tragédia histórica – 110 pessoas morreram e 10% do território do estado foi consumido pelas chamas. Foi o pior incêndio registrado no Brasil e um dos maiores do mundo. O cenário foi descrito na época pelo trabalhador rural João Arruda, uma das centenas de vítimas do fogo, como o “ano da penitência”. “O demônio reinou por aqui e trouxe todo o fogo do inferno com ele”, disse, em um relatório elaborado pelo governo do estado.

O flagelo foi resultado da combinação de baixas temperaturas com uma estiagem prolongada. Os campos estavam secos em razão das fortes geadas daquele ano. Como era de costume, os lavradores faziam pequenas queimadas para limpar o terreno. Não demorou muito para o fogo avançar sem controle.

Figura 100 - cidades que mais sofreram com o incêndio de 1963

FOGO NO PARANÁ

Confira as cidades que mais sofreram com o incêndio que devastou 10% do Paraná há 50 anos.



Fonte: Redação. Infografia: Gazeta do Povo.

Ao todo, 128 cidades das Regiões Norte, Central e dos Campos Gerais foram afetadas. Dois milhões de hectares foram completamente devastados ao longo de dois meses. “Foram 20 mil hectares de plantações, 500 mil de florestas nativas e 1,5 milhão de campos e matas secundárias”, relata o pesquisador Antônio Carlos Batista, professor de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Aproximadamente 8 mil imóveis, entre casas, galpões e silos, viraram cinzas. Cerca de 5,7 mil famílias – a grande maioria formada por trabalhadores rurais – ficaram desabrigadas. Tratores, equipamentos agrícolas e incontáveis veículos foram atingidos pelo incêndio. Em 14 de agosto de 1963 foram noticiados os primeiros focos de incêndios em Guaravera, Paiquerê e Tamarana, que eram distritos de Londrina. As chamas se estenderam a Sengés e Jaguariaíva, o que provocou a perda de pelo menos 15 milhões de araucárias. O relatório do governo estadual da época revelou que Ortigueira teve 90% da área queimada. Mais de 70% das reservas florestais das Indústrias Klabin de Papel e Celulose, cultivadas em uma fazenda de Tibagi, se perderam. Só nesse local, 200 milhões de araucárias foram destruídas. As perdas em todo o estado eram calculadas em 200 milhões de cruzeiros. A ajuda para combater o incêndio veio de outros estados, com o fornecimento de helicópteros e aviões. “Não tinha muito que fazer”, afirma Batista. O fim do inferno paranaense acabou naturalmente. “O fogo cessou só com a volta da chuva”, conta o professor.

Outros incêndios e os impactos das chamas de 1963

O incêndio florestal registrado no Paraná há 50 anos é um dos maiores e com consequências mais drásticas em todo o mundo. Segundo o livro *Incêndios Florestais – Controle, Efeitos e uso do Fogo*, escrito pelos pesquisadores Ronaldo Viana Soares e Antônio Carlos Batista, o incêndio de Peshigo, nos Estados Unidos, em 1871, foi um dos mais graves já registrados, matando 1,5 mil pessoas. Nos grandes incêndios de Idaho, também nos Estados Unidos, 500 mil hectares foram devastados em 1933.

“O incêndio de 1963 foi não só o maior e mais destrutivo já registrado no Brasil como um dos maiores e mais destrutivos do mundo. Felizmente, no Brasil, nenhum outro chegou perto desse. O segundo maior em extensão ocorreu em Roraima, em 1998, atingindo cerca de 1,5 milhão de hectares”, afirma o pesquisador Viana Soares.

Segundo ele, no quesito de mortes, a tragédia no Paraná foi a segunda pior do mundo – perdendo para o de Peshigo, no estado de Wisconsin. No Brasil, o segundo incêndio com maior número de vítimas foi registrado no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, em 1967, que matou 12 pessoas.

Impactos

A partir da tragédia de 1963, Batista revela que começou a se trabalhar para evitar outras calamidades. “Foi preparado um sistema de alerta, que monitora e avisa sobre os perigos de incêndios florestais”, conta.

Segundo ele, não se pode afirmar que nunca mais irá ocorrer um incêndio como aquele. “Existem formas de tentar prevenir e controlar as chamas. Mas não há estrutura suficiente para cessar imediatamente um fogo do porte do de 1963”, ressalta.

O pesquisador Soares concorda. “Até hoje não existe no mundo tecnologia capaz de combater incêndios de grande intensidade. Nesse caso, somente mudanças climáticas podem resolver o problema.” Foi o que aconteceu no Paraná quando a chuva chegou.

IV. EXPLOSÕES

1. INTRODUÇÃO

1.1. Conceitos básicos de explosões

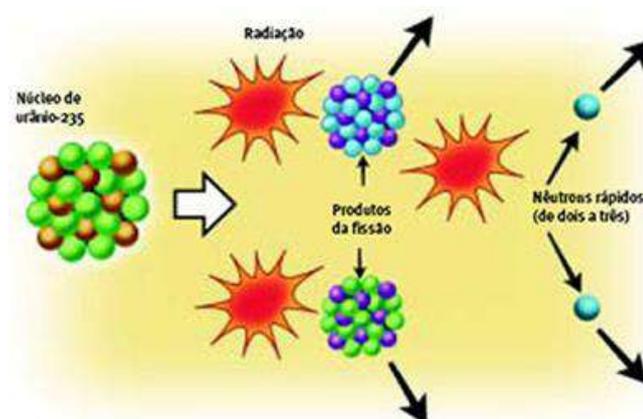
Uma Explosão é uma reação física ou química que resulta em uma rápida e violenta liberação de energia em um pequeno intervalo de tempo, tendo como consequência o aumento rápido de pressão, o deslocamento de um grande volume de gases, a geração de luz e de onda de calor.

As explosões são classificadas em nuclear, elétrica, mecânica e química.

A explosão nuclear é causada por fissão e fusão nuclear.

Na fissão, os átomos de isótopos instáveis são fundidos através de nêutrons em alta velocidade e a divisão do núcleo libera energia e mais nêutrons. Esses nêutrons vão dividir mais núcleos que criam uma reação em cadeia.

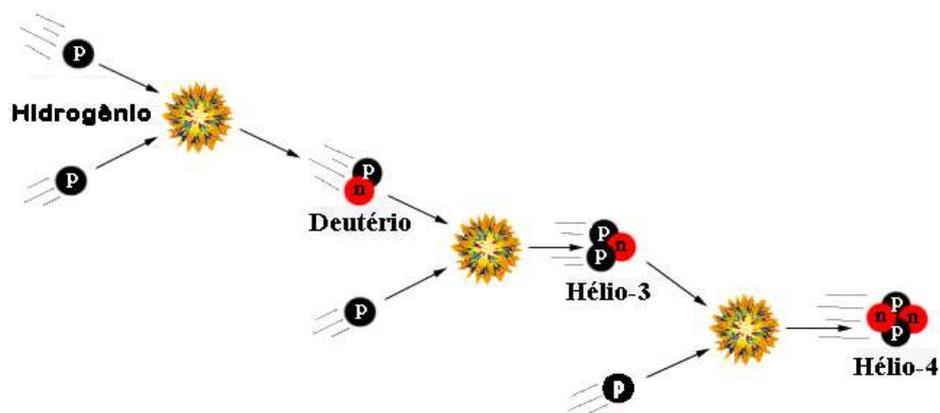
Figura 101 - Fissão Nuclear



Fonte: internet

Na fusão, os núcleos leves de hidrogênio e hélio combinam-se para formar elementos mais pesados e liberam, nesse processo, enormes quantidades de energia. O resultado é a explosão que cria uma intensa onda de calor e choque. Essa reação produz calor e radiação e a energia liberada é muito maior do que em explosões químicas (por massa de explosivo).

Figura 102 - Fusão Nuclear



Fonte: internet

A explosão elétrica é causada por descarga de corrente elétrica de alta intensidade, ocorrendo uma expansão gasosa por centelhamento.

Figura 103 - Explosão Elétrica em poste de Alta Tensão



Fonte: internet

A explosão mecânica é causada pelo aumento interno da pressão que rompe o invólucro, cuja resistência é menor do que a força interna decorrente de uma explosão. Ex: pneu de ar, cilindro de gás combustível, caldeira de água, compressor de ar, etc.

Figura 104 - Explosão em Reservatório de Compressor de Ar



Fonte: internet

As explosões químicas são oriundas de reações físico-químicas da combustão nas quais a liberação súbita de energia é proveniente de uma velocidade de reação extremamente alta e, como produto, altas pressões e elevações bruscas de temperatura são geradas. A energia liberada da combustão possui dois mecanismos de propagação que dão prosseguimento na reação, na deflagração e na detonação.

Figura 105 - Explosão em Indústria Petroquímica



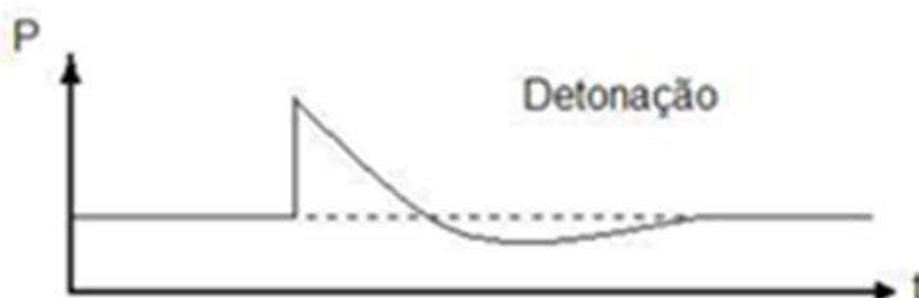
Fonte: internet

A deflagração pode ser entendida por um processo de combustão lenta, ou seja, é um fenômeno térmico que origina calor e luz no qual a velocidade de propagação da reação dá-se pela transferência de calor; os elementos vão sendo inflamados a uma velocidade inferior a do som no gás de modo que não originam ondas de choque, Krehl (2009).

Por outro lado, a detonação é uma reação explosiva que produz uma onda de choque que se propaga na velocidade supersônica, acima da velocidade do som. Os explosivos químicos que originam explosões mediante uma detonação são conhecidos como “alto explosivos” ou explosivos de detonação, podendo se citar como exemplo o TNT.

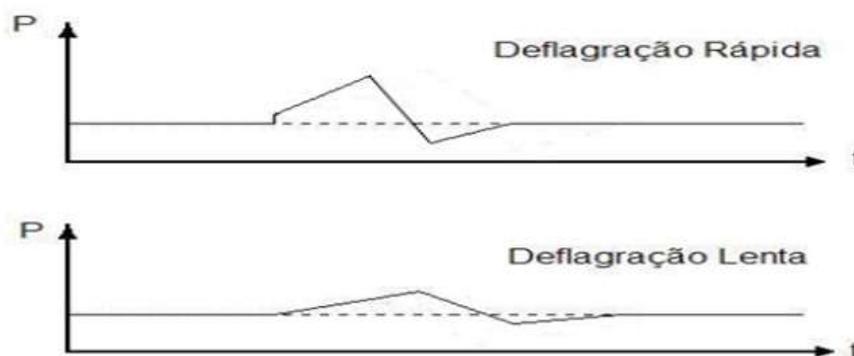
Quando a propagação da reação ocorre pela passagem da onda de choque na parte da mistura ainda não reagida, tem-se uma detonação, onde a propagação da onda de choque pode ser supersônica.

Figura 106 - Exemplo de comportamento de uma detonação do ponto de vista de um alvo



Fonte: Santiago (2003)

Figura 107 - Exemplos de comportamentos de deflagrações do ponto de vista de um alvo



Fonte: Santiago (2003)

Na observação da Figura 106, verifica-se que o pico de sobrepressão é atingido quase instantaneamente (quando chega ao alvo), sendo um fator de amplificação dos danos para as estruturas.

Nos casos de deflagração (Figura 107), principalmente lenta, a fase negativa sempre ocorre e apresenta uma menor escala em relação à positiva. Como definido pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA), para alguns casos a análise de estruturas submetidas a deflagrações deve considerar a carga devido ao calor, o qual é responsável por grande parte da energia dissipada.

Nos casos onde a causa da explosão é um fator físico apenas, como a explosão de um vaso de pressão ou caldeira, por exemplo, esses pontos cruciais listados anteriormente (tipo de explosivo, quantidade, etc.) podem ser diferentes. Nesses casos não se considera exatamente uma reação e sim um rompimento de uma estrutura com a liberação abrupta de energia contida.

A magnitude de uma explosão é estabelecida de acordo com o total de energia liberada, comumente expressa em Joules (J).

Para estudos que envolvem as energias de explosões, devido ao grande número de experimentos e dados coletados contendo esse explosivo, é aceitável a utilização de um "equivalente de TNT". Esse

equivalente permite uma definição de energia dos mais variados tipos de explosivos em relação ao TNT que é de mais fácil produção e utilização em ensaios.

As explosões também podem receber uma classificação de acordo com o local onde ela ocorreu, podendo ser sobre a superfície ou céu aberto, subaquáticas, as de altas altitudes e subterrâneas.

Elas também possuem diferentes categorias de acordo com o nível de confinamento da carga de explosivo, sendo tratadas como confinadas, quando a explosão ocorre em um ambiente com muitos anteparos ou obstáculos, de modo que a onda de choque colide de imediato com muitas superfícies, e como não-confinadas quando acontecem a céu aberto, quando a onda de choque se propaga livremente a partir do epicentro até colidir com algum sólido, *Department of the Army, the Navy and the Air Force (1990)*.

O que basicamente influencia nas classificações apresentadas é o meio onde ela aconteceu e a forma com que a energia é dispersa, o que implica, por exemplo, em maneiras diferentes para a propagação do calor ou da onda de choque naquele meio.

1.2. Efeitos primários

1.2.1. Efeito térmico

Consiste na produção de uma grande quantidade de chamas e calor, a partir das reações à explosão. Produz queimaduras, chamuscamento e derretimento de materiais, podendo iniciar um incêndio.

O efeito térmico costuma restringir-se à região do epicentro da explosão, não causando danos a distâncias maiores.

1.2.2. Sopro

Também chamado de concussão, consiste em um forte deslocamento de ar, causado pela expansão dos gases da explosão. A força dos ventos carrega e arremessa pessoas, objetos e fragmentos, inclusive os produzidos pela onda de choque ao esmigalhar sólidos, como os de alvenaria.

1.2.3. Fragmentação

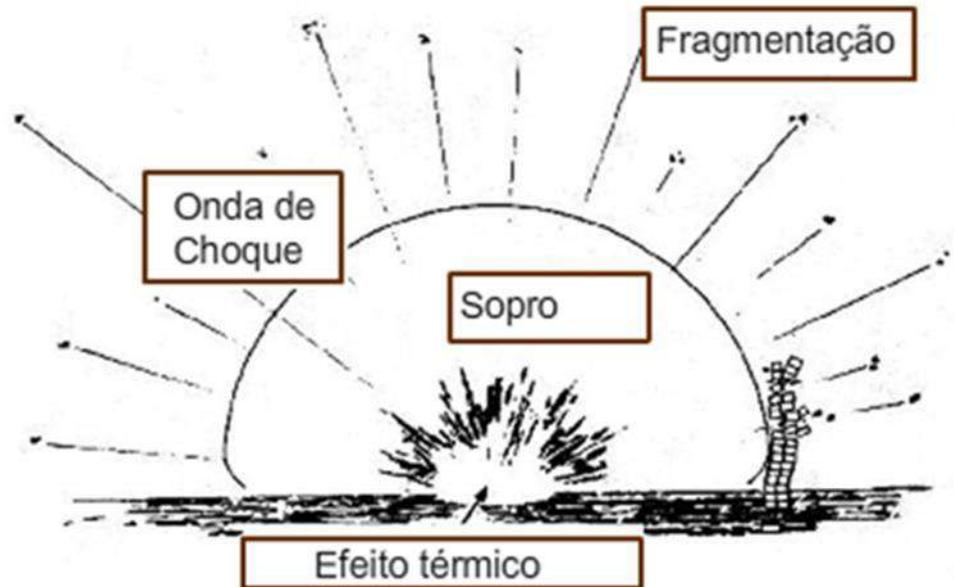
Os objetos formados por detritos que se encontram no caminho da onda de choque, pelos escombros da estrutura danificada ou que foram formados intencionalmente, chamam-se fragmentos.

A fragmentação é o conjunto de fragmentos formados a partir da detonação do artefato bélico.

1.2.4. Ondas de pressão explosiva

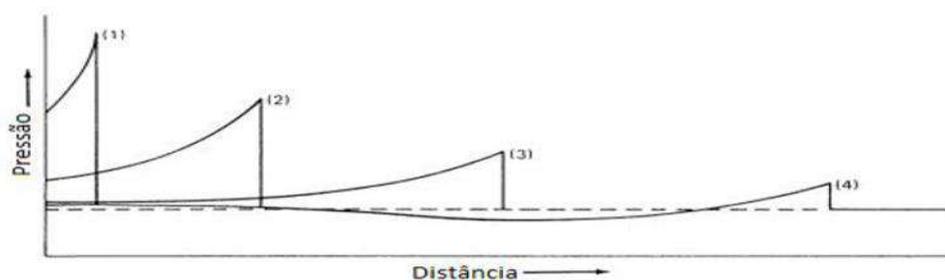
A onda de pressão explosiva é formada pelas ondas de choque. Os gases produzidos por uma explosão expandem-se rapidamente. À medida que esses gases se expandem, movem-se para fora do epicentro da explosão numa velocidade compatível com o explosivo empregado, comprimindo o ar ao redor e formando uma onda de pressão explosiva (Graham, 2010).

Quando uma grande quantidade de energia é liberada de maneira repentina em um dado volume, se a velocidade de expansão dessa energia superar a velocidade do som nesse meio, uma onda de choque será gerada.

Figura 108 - Características de uma explosão

Fonte: Academia Nacional de Polícia (2014)

Durante a propagação da onda de choque pelo ar, parcelas de energia vão sendo perdidas ao longo da distância percorrida. Esse fenômeno pode ser mensurado pela redução expressiva das pressões com o incremento da extensão, conforme mostra a Figura 109. A pressão influencia na velocidade das reações. O aumento da pressão diminui o volume, aumentando o número de choques e, conseqüentemente, a velocidade da reação.

Figura 109 – Curva típica da pressão x distância de uma explosão

Fonte: Kinney e Graham (1985).

As fases de pressão nas ondas de choque se dividem em duas:

- Pressão positiva,

- Pressão negativa.

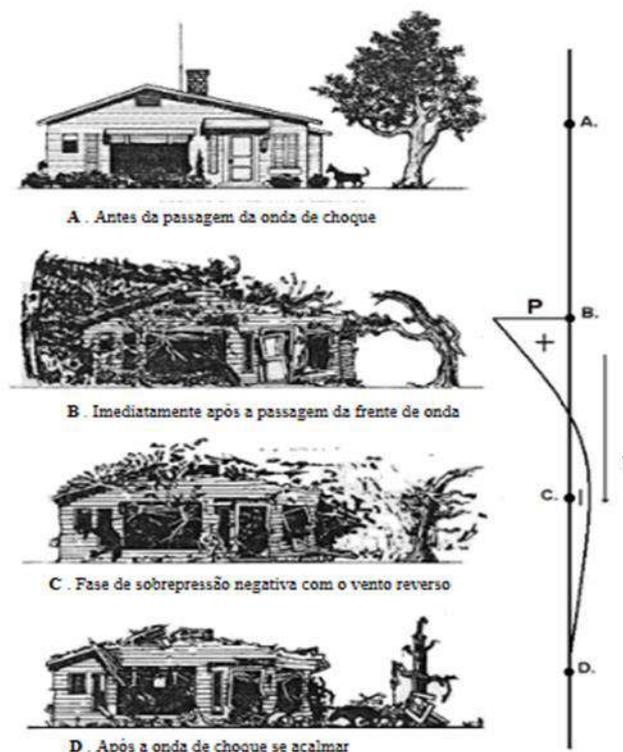
A pressão positiva ocorre à medida que os gases quentes se expandem e são irradiados numa formação esférica com grande força e velocidade. Os primeiros instantes, após a detonação de um explosivo a céu aberto, são caracterizados por um aumento brusco da temperatura e da pressão na região próxima ao ponto de explosão.

Essa onda de pressão é extremamente poderosa e destrutiva. A energia liberada pela explosão passa a se propagar pelo ar, radialmente em todas as direções a partir do epicentro, na forma de calor e pela onda de choque gerada, significando um aumento súbito de pressão acima da pressão atmosférica e que irá determinar a forma da onda de choque. Segue um decréscimo em forma similar até uma fase de pressão negativa.

A pressão negativa acontece quando a atmosfera comprimida é deslocada e volta rapidamente a preencher o vácuo recém-criado. Esse efeito de pressão "negativa" (sucção), na verdade, é a diminuição da pressão abaixo da atmosférica, ocorrendo devido à contração dos fluidos que expandiram na explosão para proporcionar o equilíbrio do sistema.

As pressões da fase negativa geralmente possuem uma grandeza muito baixa, servindo apenas para arrastar os detritos oriundos da primeira colisão da onda de choque com o alvo. Por fim, a tendência natural é a estabilização, atingindo novamente a pressão atmosférica. Embora a fase negativa seja menos poderosa do que a fase positiva, ela possui uma duração maior que a positiva.

Figura 110 - Caso genérico ilustrativo das fases de uma explosão e seus efeitos sobre estruturas alvos.



Fonte: Graham (1985)

As elevadas pressões de uma onda de choque podem ser bastante danosas às edificações. Entretanto, apesar da complexidade do fenômeno, pode-se realizar uma estimativa simplificada dos danos, adotando as pressões de pico.

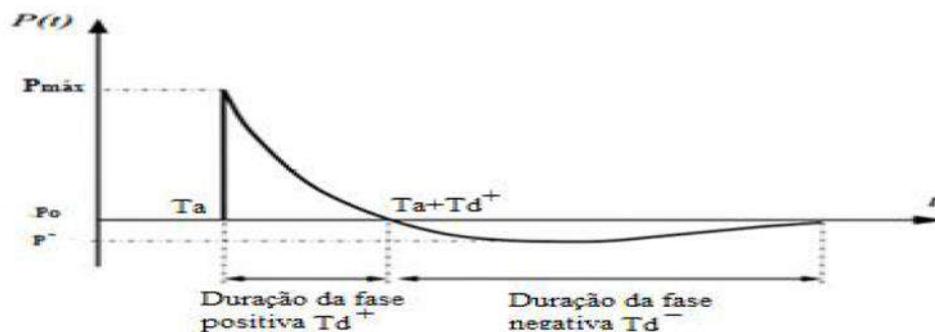
Ondas de choque provenientes de explosivos detonados ao ar livre, comumente chamadas nas literaturas de "blast waves", possuem uma série de parâmetros importantes a serem avaliados durante a expansão pelo ar (Bangash e Bangash, 2006). Entre eles podem-se citar pressão, temperatura, massa específica (visto que o aquecimento insere novas condições nas relações moleculares) e a velocidade de propagação da onda.

1.3. Fundamentos de uma onda de choque

Quando se estuda as explosões é imprescindível o desenvolvimento do gráfico da pressão em função do tempo para uma

onda de choque. Com esse gráfico se torna possível definir vários parâmetros importantes como tempos de chegada, tempos de duração, sobrepressão máxima, entre outros. A análise dessas características permite não apenas um estudo mais detalhado da onda de choque, mas também a interação dessa com estruturas ou alvos quaisquer. Um diagrama típico da pressão em função do tempo de uma onda de choque pode ser visto na Figura 111.

Figura 111 - Gráfico da pressão típica em função do tempo de uma onda de choque



Fonte: Ngo (2007).

A figura anterior apresentou vários parâmetros relativos ao estudo das ondas de choque:

- T_a ou *arrival time*: Também conhecido como tempo de chegada, define o tempo decorrido do início da explosão até que a onda de choque atinja um determinado ponto.
- T_d^+ ou *Duration time+*: Também conhecido como tempo de duração da fase positiva da onda, ele tem início quando a onda de choque atinge o ponto de análise (T_a) e permanece ao longo da fase positiva até o início da fase negativa da onda. O tempo de duração da fase positiva, juntamente com as pressões que caracterizam essa fase, são utilizados no estudo do pulso.
- T_d^- ou *Duration time-*: Conhecido como tempo de duração da fase negativa da onda de choque, ele tem

início ao fim da fase positiva da onda e permanece até que as pressões decorrentes da onda de choque se estabilizem com a do ambiente. Quanto ao tempo de duração das fases da onda de choque, segundo Silva (2007), o tempo de duração da fase positiva da onda é cerca de $\frac{1}{4}$ do T_d .

- $P_{m\acute{a}x}$ ou pressão máxima: É a pressão máxima da fase positiva, caracterizada pelo pico de pressão que ocorre quando a onda de choque atinge um determinado ponto de análise.
- P_o ou pressão ambiente: É a pressão de referência do ambiente onde ocorreu a explosão, em situações normais de temperatura e pressão possui um valor de 101,3 kPa.
- P^- ou pressão máxima da fase negativa: É a pressão máxima atingida durante a fase negativa, possui valor bem inferior ao da pressão máxima da fase positiva. As pressões da fase negativa geralmente possuem uma grandeza muito baixa, servindo apenas para arrastar os detritos oriundos da primeira colisão da onda de choque com o alvo.

É importante salientar que a diferença entre a pressão máxima (P) e a pressão ambiente (P_o) caracteriza a sobrepressão (ΔP).

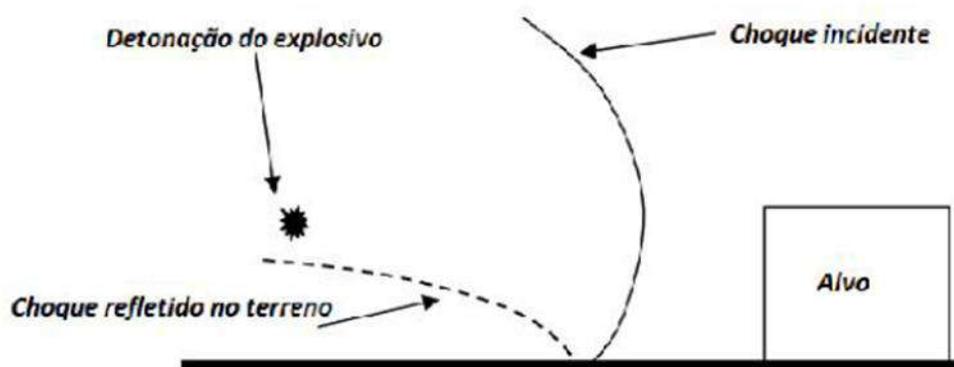
Cabe ressaltar que quaisquer alterações ambientais (relevo ou altitude) ou do tipo de explosivo utilizado podem ocasionar mudanças significativas na forma como se apresentará a onda de choque e suas consequências sobre a estrutura.

1.3.1. Conceitos básicos dos efeitos na reflexão das ondas de choque

Quando uma onda de choque encontra uma superfície sólida ou algum obstáculo constituído de um meio bem mais denso que aquele em

que ela se desloca e que oferece resistência a propagação, essa onda será refletida. Com isso pode-se observar que estruturas podem refletir as ondas de choque nelas incidentes assim como o solo, mostrado na Figura 112 , caso a detonação tenha ocorrido com certa altura.

Figura 112 - Esquema da propagação de uma onda de choque devido a uma explosão acima do nível do solo



Fonte: Le Blanc et. al. (2005).

A reflexão de ondas de choque é um fenômeno complexo que engloba inúmeros fatores e parâmetros, de modo que a determinação do valor da pressão da onda de choque refletida é de difícil obtenção. Para facilitar a análise desse fenômeno, se divide a reflexão em três tipos básicos:

- Reflexão normal;
- Reflexão oblíqua;
- Reflexão Mach;

Uma análise minuciosa do fenômeno mostra que, a partir do momento que a onda de choque colide com uma superfície a uma determinada velocidade, o movimento das partículas no plano de contato é abruptamente interrompido.

As partículas que colidiram com a superfície têm uma velocidade relativa àquelas ainda distantes. Essa velocidade relativa mantém sua magnitude quando essas mesmas partículas passam a se deslocar no sentido inverso ao qual incidiram.

O choque refletido a partir daí passa a se mover a uma dada velocidade. As características entre o choque incidente e o refletido são diferentes, visto que o primeiro se movia sob as condições ambientes de pressão e temperatura, já o segundo está em um meio cujos parâmetros foram alterados.

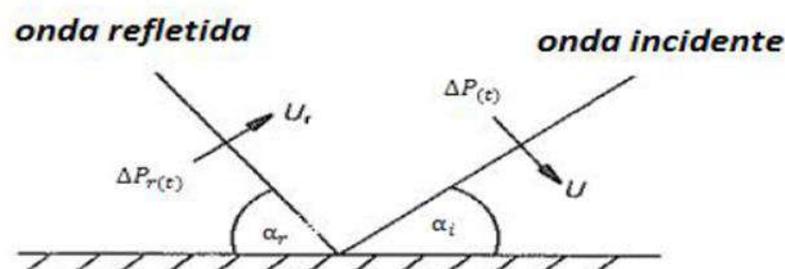
Quando uma onda de choque colide em uma superfície com certo ângulo de incidência (α_i), o vetor velocidade da onda faz um ângulo não nulo com a superfície atingida. A onda refletida possui um ângulo de reflexão (α_r) de valor diferente do ângulo de incidência.

Assim como a onda se reflete no solo, ela também se reflete nos alvos (estruturas) por onde passa, fator esse que depende do ângulo formado entre a onda e a superfície. Essa reflexão acaba por aumentar a sobrepressão efetiva assim como a carga resultante sobre a estrutura.

As reflexões oblíquas têm um comportamento semelhante às normais, o que implica em alguns coeficientes de reflexão similares. Pode-se atribuir isso ao fato de que quanto menor for o ângulo de incidência, mais próximo o fenômeno estará de uma reflexão normal.

A Figura 113 ilustra um exemplo de reflexão oblíqua, onde U_r é o vetor velocidade da onda refletida.

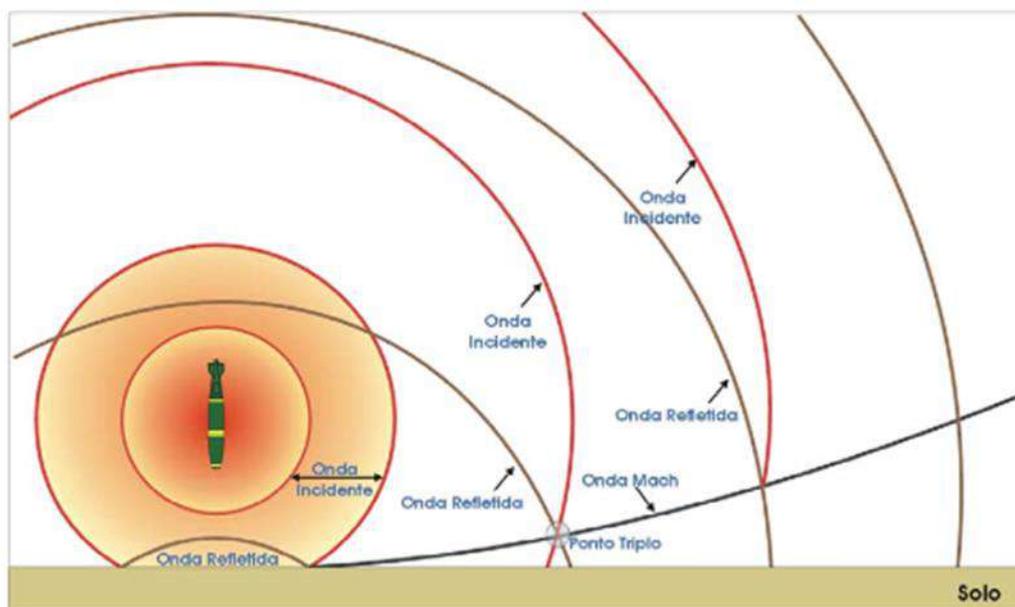
Figura 113 - Interação de uma onda de choque atingindo uma superfície obliquamente



Fonte: Mays (1995)

A Figura 114 mostra uma detonação no ar em que a onda de choque incidente, de propagação esférica, é refletida no solo. Em seguida essa onda refletida encontra a incidente, gerando em consequência, uma terceira onda (Onda Mach), de intensidade maior que a onda incidente.

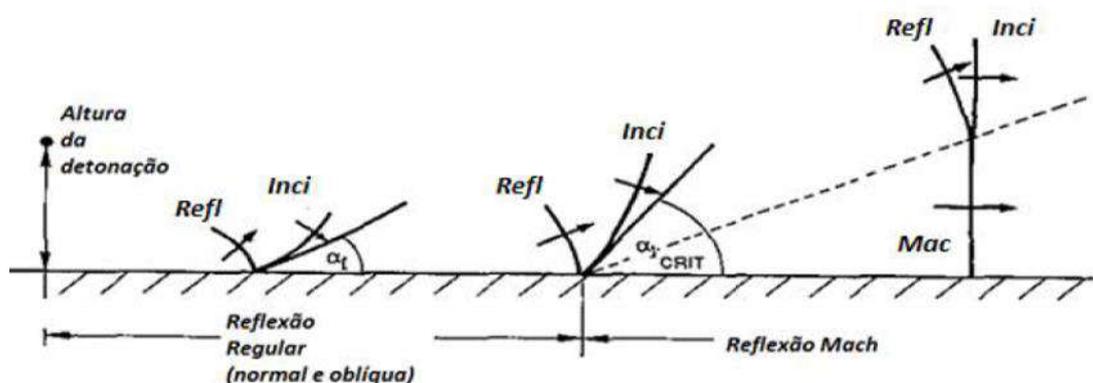
Figura 114 - Efeito da detonação no ar formando onda mach



Fonte: Silva (2007)

De maneira similar como o que ocorre na reflexão normal, a onda refletida propaga-se em um meio diferenciado da onda incidente, visto que os valores iniciais de pressão e temperaturas foram alterados. A Figura 115 a seguir, mostra um esquema de uma detonação originando reflexões no terreno, deve-se notar o surgimento da reflexão Mach após um ângulo de incidência crítico.

Figura 115 - Interação de uma onda de choque com uma superfície, para diferentes sentidos de propagação



Fonte: Mays (1995).

Quando o ângulo de incidência supera 40° , a reflexão Mach acontece. Esse fenômeno é um processo complexo e ocorre quando a onda refletida consegue alcançar a incidente, de modo que, quando elas se encontram, a combinação dá origem à onda Mach.

O efeito destrutivo da onda Mach é superior ao da onda incidente, por esse motivo, são executadas e analisadas explosões de dispositivos a uma determinada altura do solo de modo que as ondas ao serem refletidas no terreno e após a combinação das ondas possa ser avaliada o potencial destrutivo dessa onda.

O ponto triplo assinalado na ilustração anterior refere-se ao ponto onde a onda de choque incidente, a refletida e a Mach se interceptam.

1.3.2. Parâmetros da onda de choque

A variação da pressão ao longo do tempo em uma posição definida referente ao epicentro de uma explosão, mostra um conjunto de informações essenciais na caracterização da mesma, minimizando e, por vezes, dispensando a definição de outros parâmetros. Diversos são os métodos numéricos utilizados atualmente para se obter essa função, cada

um com o nível de complexidade. Somados a esses, há os experimentais, que podem usar relações em escala ou não.

Por existirem diversas variáveis envolvidas na concepção de um evento explosivo, constatam-se algumas características fundamentais dos parâmetros da explosão, sendo elas:

- Tipo de explosivo: Diversas combinações e mistura de elementos químicos são capazes de gerar explosão, porém, as queimas nas combinações entre sólidos e líquidos normalmente acontecem mais rapidamente;
- Quantidade: Quanto maior a quantidade do combustível, seja ele qual for e considerando as mesmas condições de explosividade e velocidade de queima, por exemplo, maior a quantidade de energia liberada, e assim, maior o efeito;
- Riqueza da mistura: Por serem reações químicas, existe uma quantidade exata de elementos constituintes para definir o balanceamento correto da equação, chamada de equilíbrio estequiométrico. Se não for alcançado esse valor para a reação em questão, chamar-se-á uma mistura desbalanceada, “rica” ou “pobre” conforme for o caso e, conseqüentemente, menor será a velocidade obtida para a queima;
- Energia de ativação ou de ignição: É a energia mínima necessária para provocar a reação. As características dos reagentes exigirão uma fonte de ignição de maior ou menor intensidade para que o processo seja iniciado ou que ocorra;
- Local da explosão: O local influi muito no que diz respeito às barreiras, reflexão da onda gerada e efeitos nas estruturas próximas, etc.

Assim, esses parâmetros irão definir o comportamento da reação, a qual às vezes não chega a se transformar em uma explosão efetivamente, tornando-se apenas uma queima acelerada (deflagração). Quando as velocidades de queima envolvidas são suficientemente altas para criar a onda de choque, considera-se então uma detonação.

Na deflagração, a reação se propaga fundamentalmente por transmissão de calor para as porções da mistura onde já ocorreu a reação à combustão contra aquelas ainda não reagidas.

2. EXPLOSIVOS QUÍMICOS

Explosivo é uma substância química ou mistura de substâncias que com a aplicação de calor ou choque, decompõem-se com extrema rapidez, produzindo muito gás e calor. A fórmula geral para um explosivo é $C_xH_yN_wO_z$. (Kinney, G. and Graham, K., *Explosive Shocks in Air*, 2nd, edition, USA, Springer-Verlag, 1985).

Reações explosivas são reações de oxidação, em que o oxidante não precisa ser necessariamente o oxigênio; pode ser um sal oxidante como um nitrato ou perclorato.

O estudo dos explosivos é importante, pois auxilia na definição das pressões geradas das ondas de choque. Existe uma categorização quanto à massa equivalente em TNT de alto explosivos apresentada por Bangash e Bangash (2006), que permite definir a magnitude do problema.

- Pequenas cargas de explosivo: Até 5kg de TNT;
- Médias cargas de explosivo: de 5kg a 20kg de TNT;
- Grandes cargas de explosivo/bombas: de 20kg a 100kg de TNT;
- Imensas cargas de explosivos/bombas: a partir de 200kg até 2.500kg TNT.

Para que uma substância química seja um explosivo, sua reação deve apresentar formação de gases, evolução de calor, rapidez de reação e iniciação da reação (para ocorrer quando desejado).

Para que a reação química ocorra, alguns fatores são necessários:

- Afinidade química: é a tendência natural que certas substâncias têm ao reagir com outras. É o que acontece entre ácidos e bases, metais e não metais, oxidante e redutor, etc.
- Contato entre as moléculas dos reagentes: é necessário que as moléculas se choquem entre si (choque efetivo – Teoria das Colisões) para reagirem, e esse choque deve ter uma direção correta e uma energia mínima (energia de ativação). Durante a colisão há formação de um complexo ativado (composto mais energético da reação), que é um composto intermediário e altamente instável.

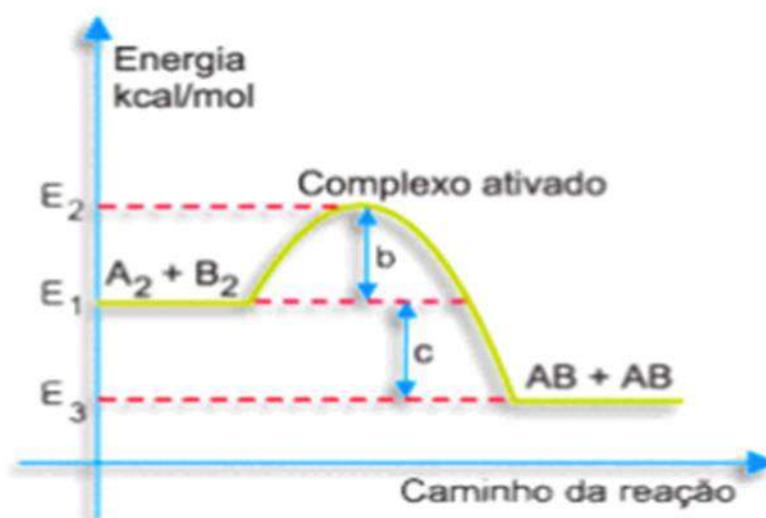
2.1. Complexo ativado e energia de ativação

Complexo ativado é o estado intermediário (estado de transição) formado entre reagentes e produtos, em cuja estrutura existem ligações enfraquecidas (presentes nos reagentes) e formação de novas ligações (presentes nos produtos). Para que ocorra a formação do complexo ativado, as moléculas dos reagentes devem apresentar certa quantidade de energia, denominada energia de ativação (E_a).

A energia de ativação (E_a) é a menor quantidade de energia que deve ser fornecida aos reagentes para a formação do complexo ativado e, conseqüentemente, para a ocorrência da reação. Os fósforos usados diariamente só entram em combustão quando atritados. Nesse caso, a E_a é obtida pelo atrito. Já na combustão do gás de isqueiro, a E_a é

fornecida por uma faísca. A Figura 116 representa a energia de ativação (b) necessária ao início da reação, a energia dissipada após a reação exotérmica (c) e o estado de transição formado entre reagentes e produtos denominado complexo ativado.

Figura 116 - Representação esquemática do comportamento energético de uma reação exotérmica, indicando o complexo ativado e energia de ativação



Fonte: Blast (2007)

Alguns fatores influem na velocidade das reações, tais como:

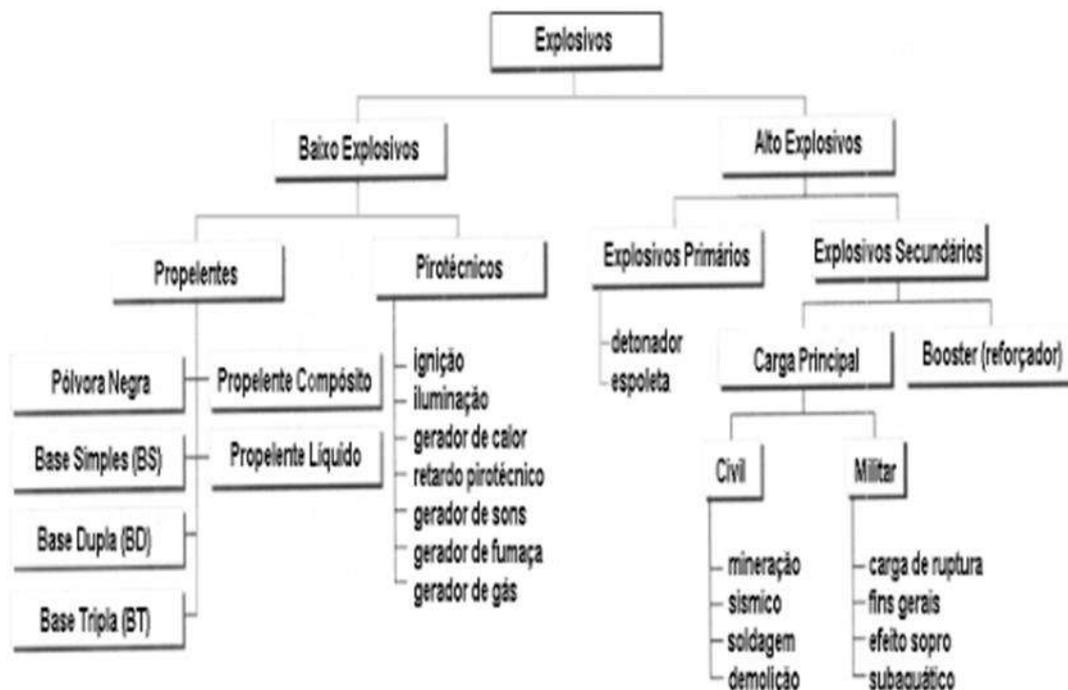
- Estado físico dos reagentes: os gases reagem mais rapidamente que os líquidos e estes mais rapidamente que os sólidos;
- Superfície de contato: pulverizam-se os sólidos com a finalidade de aumentar a superfície de contato entre os reagentes, aumentando também a velocidade de reação.
- Calor e luz: essas duas formas de energia são usadas como energia de ativação de algumas reações. O aumento da temperatura implica no aumento da energia cinética molecular, aumentando os choques efetivos e, conseqüentemente, a velocidade de reação.

- Catalisador e inibidor: catalisador é a substância que aumenta a velocidade de uma reação (forma um complexo ativado de menor energia) sem ser consumida durante o processo. O inibidor é a substância que diminui a velocidade de uma reação (forma um complexo ativado de maior energia) e é consumida durante o processo.
- Catálise é o aumento de velocidade da reação, provocado pelo catalisador.
- Pressão: só apresenta influência considerável na velocidade de reações em que pelo menos um dos reagentes é gasoso. O aumento da pressão diminui o volume, aumentando o número de choques e, conseqüentemente, a velocidade de reação.
- Concentração dos reagentes: um aumento na concentração dos reagentes provoca um aumento na velocidade de reação, pois aumenta-se o número de moléculas reagentes e, conseqüentemente, o número de choques.

2.2. Classificação dos Explosivos Químicos

A forma clássica de taxonomia de explosivos químicos é apresentada no diagrama a seguir:

Figura 117 - Classificação de Explosivos Químicos



Fonte: Blast (2007)

2.3. Quanto à velocidade de decomposição

O explosivo sólido pode ser dividido em alto-explosivo (HE-High Explosive) e baixo-explosivo (LE-Low Explosive), onde a principal diferença está na velocidade de queima, quando deflagrado ou detonado.

Nos LEs as velocidades de reação são sempre menores do que a do som, o que não acontece aos HEs, onde excedem a velocidade do som.

A reação da carga principal de um explosivo pode ser iniciada empregando-se um trem explosivo, que se compõe com uma série de elementos explosivos montados na ordem decrescente de sensibilidade à iniciação e na ordem crescente de potencial de energia. Conforme ilustra a Figura 118.

Figura 118 - Esquema de um trem explosivo

Fonte: Miscow, P.C. F. (2006)

2.4. Energia liberada da detonação de explosivos sólidos

Em termos de energia liberada da detonação, é comum admitir que essa, devido à alta densidade dos explosivos sólidos em relação às misturas gasosas, para cargas semelhantes, o volume se torna muito menor. Isso permite a consideração de carga concentrada nessas situações, gerando então uma onda de pressão esférica no ar. Com isso, o volume atingido pelos efeitos da explosão no tempo vai depender da distância ao cubo (R^3) até o epicentro.

3. EFEITOS DA DETONAÇÃO SOBRE AS ESTRUTURAS

As características de cada onda de choque podem variar muito dependendo de como a detonação ocorre. O comportamento da curva de pressão em função do tempo, assim como os fatores responsáveis por ela, pode apresentar sensíveis diferenças, vindo a caracterizar tipos distintos de explosão. Da mesma forma, os efeitos sobre as estruturas próximas serão diferentes de uma explosão para outra. Isso porque a pressão máxima atingida pela onda de choque, variação progressiva ou abrupta e tempo de duração serão distintos em cada caso, o que se refletirá diretamente no esforço aplicado sobre a estrutura.

Estas características serão usadas para diferenciar a forma de reação da estrutura e escolher o tipo de análise mais apropriado para cada caso específico.

As principais características a serem analisadas são:

- a) Rigidez estrutural: essa característica é em função dos materiais utilizados na construção da estrutura, refletindo a forma pela qual ela se deformará e quais os limites de carregamento que podem levá-la ao colapso.

Estruturas industriais utilizam, geralmente, perfis e chapas de aço na sua construção, proporcionando um maior grau de deformação elástica antes que a deformação plástica e posterior ruptura ocorram.

Prédios vizinhos e algumas instalações de controle costumam ser feitos de concreto armado com paredes de tijolos e aberturas de vidro, reagindo de forma completamente distinta sobre as estruturas metálicas.

No cálculo da rigidez levam-se em conta as dimensões e o momento de inércia da seção transversal da estrutura na direção em que se propaga a onda de choque, fazendo levando em consideração apenas o material da estrutura, mas também seu formato espacial seja importante para avaliar a reação do conjunto ao carregamento produzido pela explosão;

- b) Período natural (T_n): Seu cálculo leva em consideração a rigidez estrutural e as principais características associadas a ela, assim como a massa e a forma pela qual ela está distribuída na estrutura. A comparação entre a ordem de grandeza do período natural e o tempo necessário para a passagem da onda de choque pela estrutura vai indicar o tipo de carregamento ao qual ela estará sujeita.

- c) Forma e orientação espacial da estrutura: os efeitos sobre as estruturas são em função da sobrepressão característica da onda de choque, que é uma força por unidade de área, cuja influência é diretamente proporcional à área da superfície exposta à onda de choque da estrutura.

Grande parte dos prédios tem forma de paralelepípedo, facilitando muito o cálculo da interação já que, no caso da direção de propagação da onda de choque ser perpendicular à sua face frontal, duas faces da estrutura serão perpendiculares ao sentido de propagação da onda de choque e outras três paralelas a esse.

Já no caso de reservatórios e instalações de processamento de matérias-primas, isso não ocorre, fazendo com que se tenha de levar em conta a variação do ângulo que a superfície faz com a direção de propagação da onda de choque à medida que ela passa pela estrutura.

No caso de uma estrutura em que o arrasto gerado pela pressão dinâmica da onda de choque seja significativo, a intensidade do carregamento dependerá de um coeficiente ligado à forma da mesma, dito coeficiente de arrasto.

A existência ou não de aberturas na estrutura que possibilitem a rápida equalização entre a pressão externa e a interna é igualmente importante, já que a força resultante numa determinada direção será a diferença entre as parcelas aplicadas em sentidos opostos. Quanto mais rapidamente essa diferença desaparecer, menor será o efeito resultante, fazendo com que as estruturas de aberturas sejam menos suscetíveis aos efeitos do diferencial de pressão entre as partes que se comuniquem através delas.

3.1. Interação da onda de choque com a estrutura

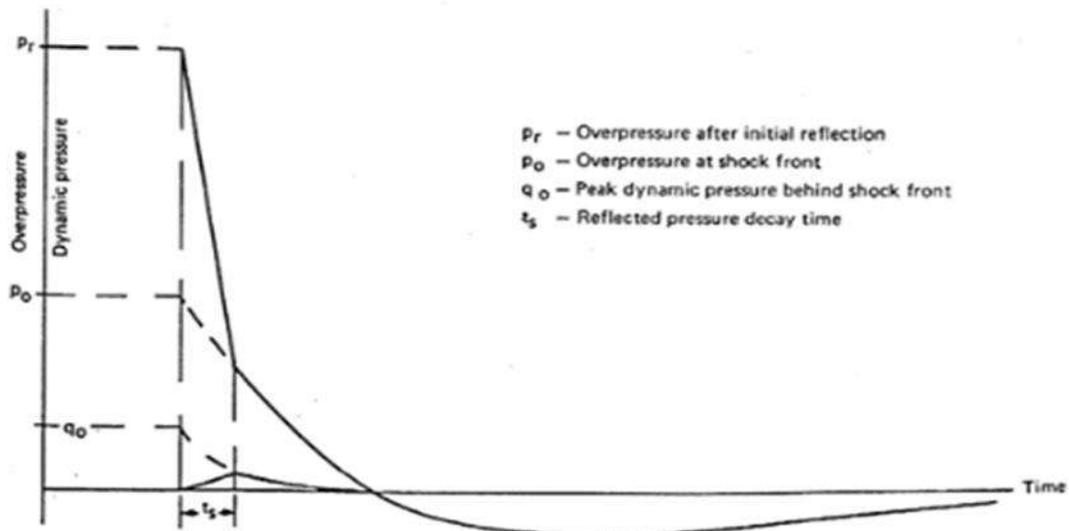
A passagem da onda de choque sobre uma estrutura é acompanhada de uma série de eventos característicos dessa interação. São fenômenos físicos relacionados à colisão da onda com a superfície e à transformação da energia cinética das partículas em movimento (vento associado) das variações na pressão sobre a estrutura.

Uma das características das ondas de choque é que elas sofrem reflexão ao incidirem sobre uma superfície, dependendo do ângulo formado entre elas. Essa reflexão acaba por aumentar a sobrepressão efetiva, assim como a carga resultante sobre a estrutura.

Sendo assim, pode-se dizer que, teoricamente, para uma onda de choque incidindo no ângulo igual a zero sobre uma superfície plana, a sobrepressão refletida será de duas a oito vezes o valor da sobrepressão incidente. À relação dada pela sobrepressão refletida dividida pelo pico de sobrepressão incidente dá-se o nome de Coeficiente de Reflexão.

Quando a estrutura é atingida pela onda de choque, há um aumento instantâneo da sobrepressão efetiva, causado pela reflexão da onda incidente, seguido de um período de rápido decaimento da sobrepressão (t_s), ao fim do qual a sobrepressão e a pressão dinâmica retornam ao patamar encontrado no fluxo livre, conforme pode ser visto na Figura 119:

Figura 119 - Sobrepressão e pressão dinâmica em função do tempo, passando por uma estrutura esférica



Fonte: Wall (1978)

As cargas resultantes sobre a estrutura decorrem da influência dessas duas pressões atuantes sobre a superfície, a sobrepressão e a pressão dinâmica (“side-on overpressure” e “dynamic pressure”). A pressão dinâmica, multiplicada por um coeficiente de forma característico da estrutura é chamada pressão de arrasto (“drag pressure”).

Tem-se ainda que a pressão dinâmica, sendo função da velocidade das partículas em movimento produzido pela sobrepressão (vento associado), pode ser expressa como uma relação entre o pico de sobrepressão e a pressão atmosférica.

4. DISTÂNCIA VERSUS QUANTIDADE DE EXPLOSIVO

Os efeitos de uma explosão em um determinado local estão relacionados a dois principais fatores, são eles a quantidade de explosivo e a distância do explosivo ao local considerado.

Em uma avaliação geral pode-se afirmar que quanto maior a distância do epicentro ao ponto de análise, menores serão os efeitos destrutivos da explosão, visto que a energia vai sendo dissipada no meio conforme a onda de choque e a energia calorífica vão se propagando.

Nesse âmbito pode-se observar que a quantidade de energia envolvida durante a explosão também tem influência decisiva, numa relação direta em que acréscimos na energia incrementam o potencial destrutivo da explosão.

A detonação de explosivos sólidos é comumente considerada como uma explosão de uma carga pontual onde são originadas ondas de choque com uma dispersão radial a partir do epicentro. Já no caso de explosões de nuvens gasosas, essa consideração não pode ser realizada, pois a carga explosiva não está concentrada em um só ponto.

No estudo empírico das explosões, um mesmo valor de distância em escala Z representa diferentes cargas de explosivos a diferentes distâncias de um ponto que podem resultar efeitos semelhantes sobre um mesmo alvo.

5. FORÇA RESULTANTE SOBRE A ESTRUTURA

5.1. Carregamento por difração

O carregamento produzido pela sobrepressão incidente, durante o processo de interação no qual ela é refletida na estrutura, é chamado de carregamento por difração, já que esse processo engloba os diversos tipos possíveis de reflexão ou mesmo a ausência dela.

Esse carregamento pode ser dividido em esforços gerados pelo diferencial de pressão entre a superfície frontal e a posterior da estrutura,

assim como pelos esforços gerados do diferencial de pressão entre o interior e o exterior da mesma.

Para se obter a curva de carregamento por difração sobre a estrutura, ao longo da fase positiva da onda de choque, é preciso saber qual a evolução da sobrepressão em cada ponto da estrutura em função do tempo contado a partir do início da passagem da onda.

Se for considerada a projeção no sentido de propagação da onda a uma área infinitesimal e a da superfície da estrutura, correspondente a um diferencial de deslocamento da onda sobre o eixo de propagação, e multiplicar-se pelo valor da sobrepressão instantânea e pelo coeficiente de reflexão naquele ponto, se obterá a força atuante sobre essa superfície na direção de propagação da onda.

A conversão da área infinitesimal real projetada depende da forma da superfície da estrutura, podendo ser expressa como uma equação apenas para uma parcela das formas geométricas estruturalmente utilizadas.

Caso isso não seja possível, deve-se encarar essa tarefa como um somatório de trechos discretos e finitos de uma estrutura complexa, o que acarretaria um pouco mais de tempo e esforço para a obtenção do carregamento por difração resultante.

A Figura 120 mostra uma estrutura submetida a um carregamento por difração, onde ocorreu uma aplicação repentina da pressão sobre todas as faces do alvo, de forma aproximadamente simultânea.

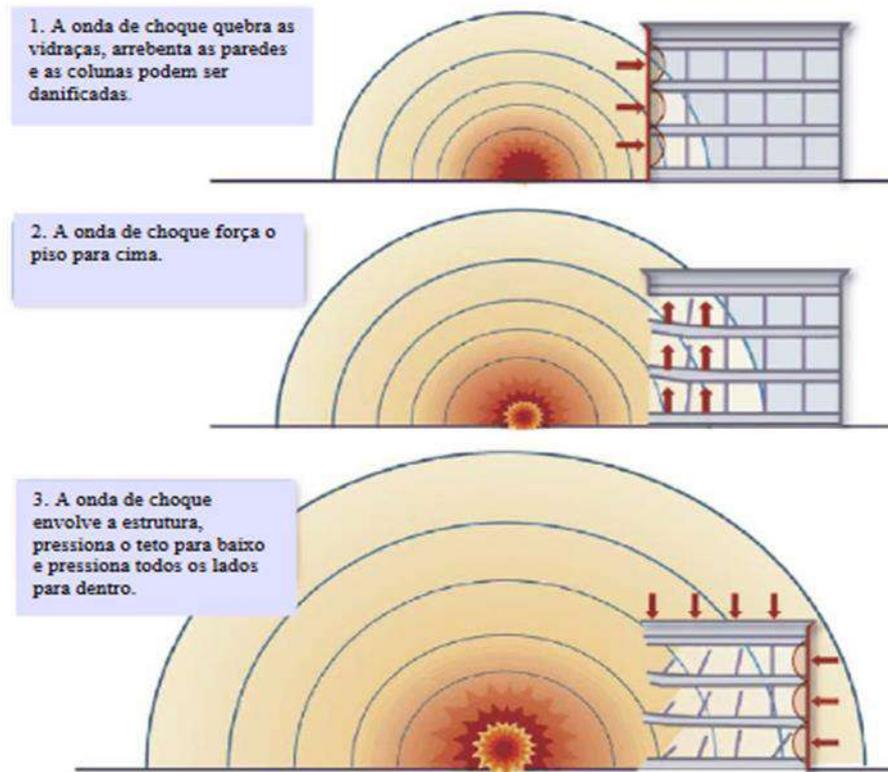
Figura 120 - Estrutura submetida a carregamento por difração

Fonte: Miscow (2006)

Sob condições onde a frente de choque não envolveu todo o alvo, ocorre um diferencial de pressão entre a parte dianteira e traseira. O diferencial de pressão produz uma força lateral (*diffraction loading*) que tende deslocar o alvo na mesma direção da onda de sopro.

Uma vez o alvo totalmente envolvido, o diferencial de pressão deixa de existir. Porém, a pressão aplicada ainda é superior à pressão normal e a força lateral (*diffraction loading*) dá lugar a uma pressão que tende a comprimir ou "esmagar" o alvo.

A Figura 121, mostra a sequência de danos causados em um edifício submetido a um carregamento por difração.

Figura 121 - Estrutura submetida a carregamento por difração

Fonte: Miscow (2006)

5.2. Carregamento por arrasto

O carregamento gerado da pressão de arrasto é chamado de carregamento por arrasto. A influência do carregamento por arrasto é tanto maior quanto mais longo for o período da fase positiva da pressão, ou quanto menor for a dimensão da estrutura na direção de propagação da onda de choque.

Figura 122 - Estrutura submetida a carregamento por arrasto

Fonte: Miscow (2006)

Durante todo o período em que a fase positiva da onda de sopro está atuando, o alvo é submetido a um carregamento de pressão dinâmica causada pelos ventos transientes de grande intensidade que acompanham a frente da onda de choque, produzindo uma força lateral na direção da onda.

Alguns alvos que são relativamente flexíveis, não são danificados pelo carregamento por difração. Esses mesmos alvos podem ser vulneráveis aos danos pelo carregamento por arrasto.

Alvos que não são firmemente fixados serão arrancados e poderão ser deslocados por vários metros. As pessoas são muito vulneráveis a esse tipo de dano, bem como da ameaça secundária de ser atingido por outros objetos e destroços lançados pela explosão.

A Tabela 10 apresenta exemplos de possíveis alvos, e a indicação de que o efeito de carregamento é mais vulnerável.

Tabela 10 - Exemplos de mecanismo de danos para o Efeito da Onda de Choque

Alvos	Mecanismos de danos
Edifícios industriais	Difração
Estradas e pontes	Difração
Blindados leves	Arrasto
Blindados pesados	Difração
Tropas em campo aberto	Arrasto
Tropas em bunkers	Difração
Aeronaves estacionadas	Arrasto

6. DANOS A UMA EDIFICAÇÃO

Os danos que uma explosão pode causar estão relacionados a uma série de fatores, entre eles cita-se: o tipo e a quantidade de explosivo, a duração do pulso causado (da onda de choque), a quantidade, disposição e forma dos obstáculos que implicará na reflexão das ondas de choque.

Além disso, podem-se relacionar também os projéteis e fragmentos advindos dos efeitos da explosão sobre o ambiente. Portanto com tantos fatores a serem avaliados, o processo de prever os danos que serão causados pela explosão pode ser bastante dificultoso.

A detonação pode ocorrer dentro da estrutura, o que caracteriza uma explosão confinada, nessa situação toda a energia está sendo dissipada no meio interno afetando diretamente os componentes estruturais.

O grau de confinamento desse tipo de explosão implica em efeitos adicionais causados pela temperatura, pelo acúmulo de gases e pela amplificação de pressões causadas pelas ondas refletidas estendendo por muito a situação de carregamento imposta.

O primeiro efeito mecânico danoso de uma explosão é a onda de choque causada pelo acréscimo súbito e significativo da pressão na frente da onda, que pode ser seguido por diferentes mecanismos de dano como colisão de fragmentos e incêndios (devido às altas temperaturas).

Os mecanismos de dano à estrutura podem ser divididos em dois grupos principais o primeiro agrupando a onda de choque e seus efeitos, enquanto que o segundo refere-se à ocorrência de colapso progressivo.

Entende-se por colapso progressivo a condição de que um dano causado a um elemento estrutural primário passa a se propagar pela estrutura no decorrer do tempo, impossibilitando-a de estabilizar os esforços internos.

Em linhas gerais, o conceito de colapso estrutural, implica que uma falha local ao longo do tempo comprometerá toda a capacidade portante da estrutura.

As temperaturas geradas de algumas explosões são extremamente elevadas podendo implicar em consequências indiretas como grandes incêndios.

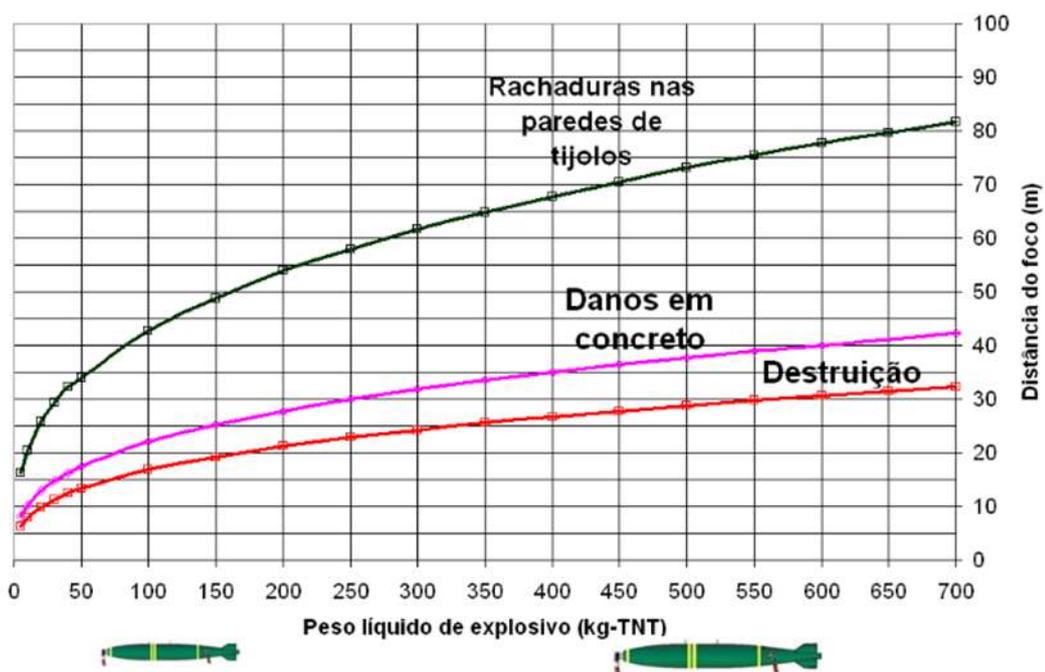
Pode se categorizar os níveis de danos causados por explosões nas estruturas em cinco classes, sendo a classe A que representa os efeitos mais devastadores. A Tabela 11 apresenta as respectivas classes e suas características.

Tabela 11 - Classes de dano causadas por explosões nas estruturas

Classes de dano	Tipos de dano
Classe A	Colapso completo. Estrutura reduzida a escombros
Classe B	Estrutura muito danificada além de reparos
Classe C	Sérios danos. A estrutura não pode ser utilizada até ser reparada
Classe D	Algum dano estrutural, mas a estrutura permanece parcialmente utilizável antes mesmo de reparos
Classe E	Sem danos estruturais. Apenas vidros quebrados e fissuras em peças de gesso

Fonte: Kinney e Graham (1985).

Com a aplicação do dano constante (pico de sobrepressão) e a variação do peso do explosivo e da distância do foco da detonação, podemos estimar os danos de uma edificação conforme a Figura 123.

Figura 123 - Estimativa de danos de uma edificação

Fonte: Blast (2007)

Em linhas gerais, para uma estrutura apresentar uma boa resposta a uma explosão externa, no mínimo, deve estar apta a suportar altos carregamentos laterais. O que permite afirmar que estruturas que foram projetadas para suportar terremotos, em geral, apresentam um melhor desempenho quando submetidas a explosões.

A Tabela 12 apresenta danos causados a elementos das edificações para respectivas variações de pressão com os danos sofridos nas diversas partes das estruturas.

Tabela 12 - Danos causados a edificações por diferentes sobrepressões incidentes

Dano	Sobrepressão (kPa)
Quebra de vidro	De 1,0 a 1,5
Dobramento em painéis metálicos	De 7,5 a 12
Falha de blocos de concreto	De 12 a 20
Danos sérios a estruturas de aço	De 28 a 48
Danos severos em estruturas de concreto armado	De 41 a 62
Provável colapso da maioria das construções	De 70 a 63

Fonte: Applied Technology Council (2003).

7. EXPLOSÕES INTERNAS E EXTERNAS

Uma explosão em um ambiente confinado, como um quarto, caracteriza uma explosão interna, tendo características das pressões e da propagação de onda, segundo Van Acker et al (2012), regidos pelos seguintes fatores (no caso de uma explosão gasosa):

- Dimensões e configuração geométrica do quarto
- Volume do gás
- Tipo do gás e ignição

- Quantidade de aberturas do ambiente

As dimensões e a configuração geométrica do quarto são importantes na análise, pois o pico da pressão da onda de choque pode ser amplificado pelas inúmeras reflexões que podem ocorrer dentro da estrutura. Associado a isso, e dependendo do grau de confinamento da explosão, efeitos adversos como incêndios provenientes das altas temperaturas e o aumento da duração do tempo de carregamento das pressões, pelo acúmulo dos produtos gasosos originados das reações químicas, podem ocorrer.

Caso a estrutura não tenha sido projetada para suportar tais cargas a combinação desses efeitos negativos podem fazê-la sucumbir às pressões internas.

Em linhas gerais, os níveis de abertura de uma estrutura submetida a uma explosão interna podem representar um alívio de carga para os elementos estruturais, visto que os gases internos vão ser dissipados mais rapidamente para fora da estrutura. Sendo assim, uma estrutura com muitas aberturas (por exemplo, janelas que podem ser quebradas) servem de mecanismo para dispersão dos gases internos e das pressões.

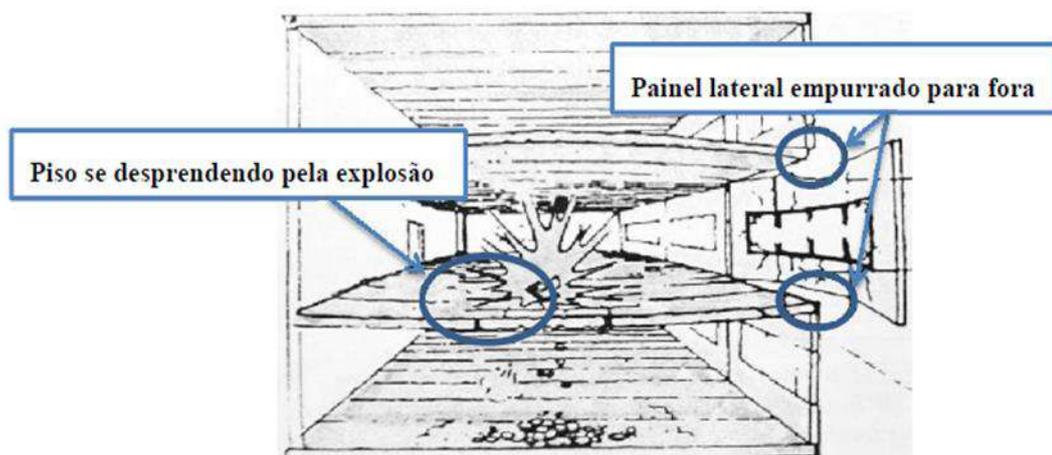
Quantificar a magnitude das pressões em ambientes confinados é um processo complexo, embora alguns autores já tenham conseguido executar essa predição com alguma precisão para estruturas simétricas, Smith (1994).

Ambientes assimétricos, geralmente compostos por uma geometria variada, acabam tornando-se específicos demais para permitir a eficácia de uma predição mais geral, visto que as ondas de choque refletem obliquamente e ao atingir os cantos tornam a análise mais complexa, isso ainda se associa ao fato dessas reflexões tenderem a induzir o surgimento da Onda Mach, que implica em um acréscimo abrupto das pressões.

É importante salientar, quando se trata do estudo das explosões internas, que os andares superiores das estruturas acabam sendo muito afetados, pois estão sujeitos a problemas como desprendimento de placas e grandes deformações dos seus elementos, ainda mais se a estrutura for feita por componentes como paredes estruturais. Isso se deve ao fato desses elementos estarem submetidos a menores cargas axiais e, portanto, ficarem mais sensíveis às pressões de expansão advindas de uma explosão interna.

A Figura 124 apresenta uma imagem retratando uma explosão em andar elevado.

Figura 124 - Esquema de uma explosão interna resultando em colapso progressivo, tendo o comportamento da propagação da onda de choque em estruturas com diferentes geometrias



Fonte: Van Acker et al (2012)

Em linhas, gerais os danos causados por explosões internas de pequeno porte (como as de gás, por exemplo) podem ser sintetizadas como responsáveis por falhas locais no piso e nas paredes em torno da explosão (um ponto especial de avaliação, pela possível função estrutural de algumas dessas) e danos a elementos não estruturais como janelas, portas, forros, partições etc.

O projeto de estruturas contra explosões externas deve ser produto de uma série de conhecimentos que vão desde o estudo sobre esse fenômeno, avaliando a carga acidental a ser considerada e englobar o

meio onde essa explosão pode ser dar, visto que o fenômeno das reflexões de onda deve ser levado em consideração.

Considerando uma explosão dentro de um meio urbano, pode-se afirmar que a energia liberada dessa é dividida em duas:

- Radiação termal: cujas consequências são grandes incrementos na temperatura ambiente devido ao aquecimento dos gases, podendo, por exemplo, provocar incêndios.
- Onda de choque: pode se propagar por meio do ar atingindo com edificações a velocidades supersônicas, sendo a principal causa de danos às construções.

A configuração das ruas de uma cidade faz com que uma explosão que nela ocorra seja considerada como confinada, pois passará a ser refletida no em torno das edificações e, por isso, pode amplificar a pressão a que estas estão submetidas.

As ondas de choque possuem características invasivas e, dependendo da quantidade de explosivo detonado, tendem a se propagar por longas distâncias e além de submeter todos os lados de uma edificação (fachada, cobertura, etc) a sobrepressões, penetrando nesses por aberturas como janelas, portas e invadindo lugares que virtualmente deveriam estar protegidos como corredores e salas.

A distância até o epicentro da explosão é um parâmetro fundamental na predição das pressões visto que, intuitivamente, distâncias maiores do epicentro implicam em pressões incidentes menores no alvo. Em grandes cidades, devido ao vasto volume de edificações, existe uma ausência de zonas livres para dispersão de energia da onda, associado a isso, ainda há o fenômeno das reflexões, incrementando a sobrepressão imposta nas fachadas e o tempo de duração desse tipo de carregamento.

Existem algumas medidas básicas para proteção contra eventos envolvendo explosão, englobando a colocação de elementos de paisagismo como árvores e muretas que tendem dissipar a energia da onda.

Em contrapartida, embora possam atenuar as sobrepressões em um dado ponto, essas medidas podem originar fragmentos danosos às pessoas e estruturas, o que pode ocasionar outras complicações.

Existem algumas medidas de proteção simplificadas para conter os efeitos nocivos das explosões em edifícios. Pode-se citar desde a utilização de materiais dúcteis nos elementos estruturais, por terem a capacidade de absorver grandes quantidades de energia, até a utilização de vidraças resistentes nas janelas. Quanto a utilização de vidraças para proteção, Mays (1995) cita alguns modos para essa utilização:

- Aplicação de poliéster transparente anti-fragmentação na superfície interna do vidro de modo a evitar que os fragmentos que se desprendam venham a causar riscos às pessoas;
- Utilização de vidros resistentes à explosão;
- Instalação de uma segunda vidraçaria resistente à explosão no interior da comum pré-existente;

Ao incidir sobre uma edificação, a onda de choque interage com a geometria dessas, refletindo nas superfícies e penetrando pelas aberturas. Essa interação, em partes, lembra a ação de fortes ventos, onde há a formação de vórtices nos cantos do edifício, associado ao efeito de reflexão da onda de choque. Portanto no projeto de estruturas resistentes a explosões externas um projeto adequado de geometria da edificação pode agir como mecanismo mitigador dos danos.

Estruturalmente uma maior regularidade na distribuição das vigas e pilares com a utilização de elementos robustos representam uma otimização da estrutura no que diz respeito à redundância estrutural e a

capacidade de redistribuição dos esforços. Isso dificilmente irá ocorrer em uma estrutura arrojada no aspecto arquitetônico onde há uso de grandes vãos ou seções muito esbeltas.

Analisando o aspecto arquitetônico da edificação é importante salientar que irregularidades como reentrâncias e a existência de muitos cantos servem como amplificadores das ondas de choque por permitirem reflexões sucessivas em um mínimo espaço de tempo. Formas externas convexas são mais eficientes e preferíveis às côncavas para conter ondas de choque, visto que as pressões refletidas em superfícies circulares são bem menos intensas do que nas demais geometrias, Van Acker et al (2012).

Buscar evitar sucessivas reflexões das ondas de choque por meio de uma arquitetura otimizada é uma das melhores e mais econômicas maneiras de se preparar uma estrutura contra explosões.

8. EFEITOS DA DETONAÇÃO SOBRE O SER HUMANO

Quando acontece uma detonação e a conseqüente propagação da onda de choque, muitos danos podem ser causados, seja em estruturas, no solo, alvos em geral, seja em seres humanos.

Segundo Baker (1983), são dois os efeitos sobre pessoas: diretos e indiretos.

Os efeitos diretos, ou primários, estão relacionados com as variações de pressão geradas pela detonação da carga. Alguns fatores específicos ainda poderiam ser detalhados para um levantamento mais criterioso desses danos, tais como idade, condições físicas das pessoas, peso e altura, entre outros.

Baker (1983) define que os efeitos indiretos se subdividem em secundários, terciários e diversos, onde os secundários envolvem

lançamentos de projéteis oriundos da própria explosão ou da passagem da onda de pressão sobre algum material.

Tabela 13 - Relação de alguns danos causados diretamente aos seres humanos devido às explosões

Efeito	Variação de pressão	
	Bar	PSI
Suportável (não causa dano)	Até 0,0001	Até 0,0015
Queda	0,07 – 0,1	1,05 – 1,5
Ruptura de tímpano	0,35 – 1,0	5,25 – 15
Lesões nos pulmões	2,0 – 5,0	30 – 75
Morte	7,0 – 15,0	105 – 225

Fonte: Kinney e Graham (1985)

Os efeitos terciários estão diretamente ligados à aceleração ou desaceleração que o corpo humano pode atingir, quando submetido a uma onda de pressão ou quando desacelerado bruscamente ao impactar com alguma barreira.

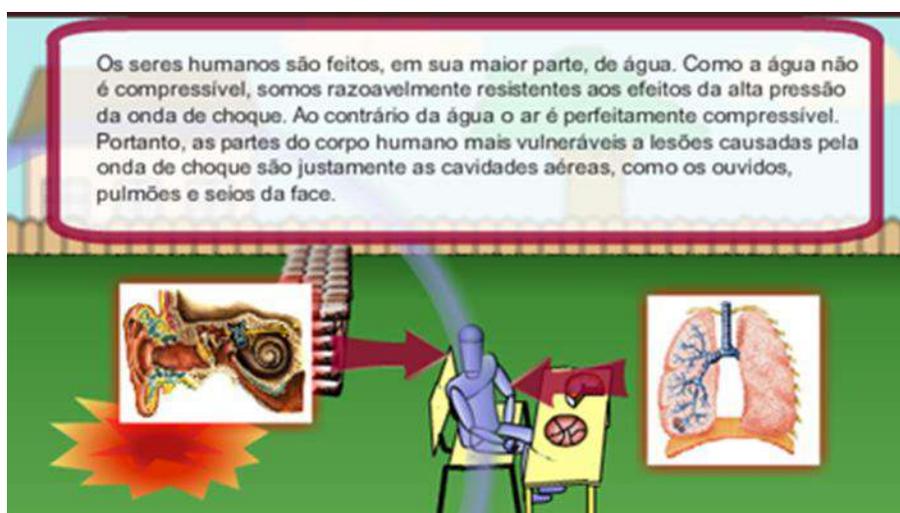
Os seres humanos são feitos, em maior parte, de água. Como a água não é compressível, o indivíduo é razoavelmente resistente aos efeitos da alta pressão da onda de choque. Ao contrário da água, o ar é perfeitamente compressível. Portanto as partes do corpo mais vulneráveis a lesões causadas pela onda de choque são justamente as cavidades aéreas, como ouvidos, pulmões e seios da fase (Figura 125).

A lesão nos pulmões (*blast lung*) é uma consequência direta da sobrepressão gerada pela onda de choque. É o ferimento fatal mais comum dentre os atingidos inicialmente, seguido de perfuração nos tímpanos, que é uma lesão no ouvido médio e depende da orientação do ouvido no momento da explosão.

Sinais de lesões no ouvido estão geralmente presentes no momento da avaliação inicial e deve ser confirmada para quem apresentar perda auditiva, otalgia, vertigem, hemorragia do canal externo ou ruptura. Todos os pacientes expostos à explosão devem passar por uma avaliação de audiometria.

Explosões em espaços confinados como minas, prédios ou grandes veículos estão associados com o grande índice de mortalidade.

Figura 125 - Lesões em cavidades aéreas

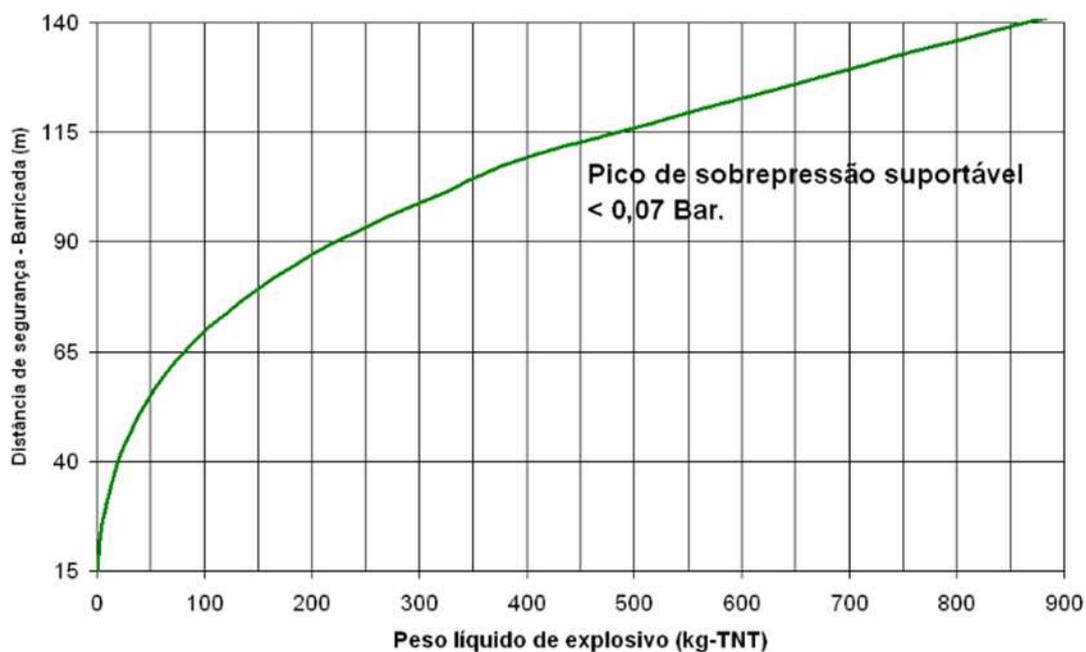


Fonte: Academia Nacional de Polícia (2014)

8.1. Distância de segurança

Para a proteção dos seres humanos contra efeitos diretos ou primários decorrentes de uma onda de choque, ou seja, a brusca mudança de pressão define-se uma distância de segurança adequada, de modo que ao atingir o homem, a frente da onda esteja com uma intensidade em sua variação, inferior a 0,07 Bar. Para traçar a curva dessa distância de segurança X peso líquido do explosivo, aplica-se os dados abordados na Tabela 13.

Figura 126 - Distância de segurança contra os efeitos diretos da onda de choque sobre o homem



Fonte: Blast (2007)

Ao se deparar com um ambiente em que ocorreu uma deflagração, caso mais comum no trabalho dos peritos em incêndios e explosões, é possível observar que, ao contrário de um incêndio, a explosão apresenta poucas ou nenhuma marca de fuligem nas paredes, sendo as explosões mais comuns causadas pelo vazamento de gás liquefeito de petróleo (GLP) e por substâncias de impermeabilização.

Figura 127 - Explosão em apartamento decorrente da impermeabilização do estofado



Fonte: Laudo 976-2016 - DINVI

Causado pela queima rápida dos gases, o ambiente, geralmente, se apresenta com marcas nos danos das janelas e móveis, podendo atingir elementos estruturais mais frágeis, como as treliças de madeira que suportam o telhado, por exemplo.

Figura 128 - Explosão em apartamento decorrente da aplicação de impermeabilizante no estofado



Fonte: Laudo 976-2016 - DINVI

Apesar da velocidade e da interrupção do processo de combustão, as ondas de choque podem facilmente causar danos e até mesmo a morte das pessoas no interior do ambiente.

9. REFERÊNCIAS

Academia Nacional de Polícia, **XVIII Curso de Aperfeiçoamento de Bombas e Explosivos (CABE) – Bombas e Explosivos**, Brasília – Brasil, 2014.

Applied Technology Council (ATC), Hinman, E., Hinman Consulting Engineers. 2003. **Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks**, Federal Emergency Management Agency, United States.

BAKER, W.E. et al., **Explosion Hazards and Evaluation**, Elsevier, 1983.

BANGASH, M. Y. H., Bangash. T., **Explosion-resistant buildings**, Springer-Verlag, Londres, Reino Unido, 2006.

DEPARTMENTS OF THE ARMY, THE NAVY, AND THE AIR FORCE. **Structures to resist the effects of accidental explosions**, Headquarters departments of the Army, the Navy and the Air Force, Washington, EUA, 1990.

GRAHAM, R. A. 2010. **Shock Wave and High Pressure Phenomena**, Springer-Verlag, Berlin.

IAEA – International Atomic Energy Agency, 2005. **External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants**, Safety Guide No. NS-G-1.5.

KINNEY, G. F., GRAHAM, K. J. 1985. **Explosive shocks in air**, Springer Science+Business Media, Second Edition, New York, 1985.

KREHL, P. O. K. 2009. **History of Shock Waves, Explosions and Impact**, Springer-Verlag, Berlin.

LE BLANC, G., ADOUM, M., LAPOUJADE, V.. **External Blast Load on Structures – Empirical Approach**, 5th European Ls-Dyna Users Conference, 5c-39, 2005.

MAYS, G. C., SMITH, P. D., **Blast effects on buildings**, Thomas Telford, London, 1995.

NETO, M. L.D. Costa. **Um estudo do fenômeno Explosão e das ondas de choque utilizando a fluidodinâmica computacional**. 121f. Tese de Mestrado em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília – Brasil, 2015.

NGO, T., Mendis, P., Gupta, A., Ramsay, J. 2007. **Blast Loading and Blast Effects on Structures**, Eletronic Journal of Structural Engineering, 76-91.

Polícia Federal, **Curso de aperfeiçoamento em contramedidas**, Brasília – Brasil, 2017.

SILVA, W. C. L. 2007. **Blast- Efeitos da Onda de Choque no Ser Humano e nas Estruturas**, Tese de Mestrado (BR), Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo.

SILVA, W.C.L, **Blast – Efeitos da Onda de Choque no Ser Humano e nas Estruturas**. 107f. Tese de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

VAN ACKER, A., et al, **Design of precast concrete structures for accidental loading**, *International Federation for structural concrete*, Lausanne, Suíça, 2012.