

INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DAS MARCAS DE COMBUSTÃO E DO SENTIDO DE PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS

Rodrigo Gonçalves Basílio¹

Vanderlei Vanderlino Vidal²

RESUMO

Este artigo estuda as diferentes marcas de combustão encontradas em ocorrências de incêndio em edificações, buscando demonstrar de que forma a interpretação correta dessas marcas possibilitará ao investigador de incêndio identificar o sentido de propagação das chamas. Trata inicialmente dos procedimentos adotados durante o exame externo da edificação. Em seguida, o foco é dado aos exames do interior da edificação. Na sequência, discorre-se sobre a morfologia das diferentes marcas de combustão – inclusive sobre aquelas geradas em situações de inflamação generalizada do ambiente e sob a influência de ventilação –, áreas de queima limpa, marcas de combustão em polímeros termoplásticos e lâmpadas incandescentes, e considerações relevantes sobre a madeira. Aborda-se também a possibilidade de simulação computacional das marcas de combustão por meio dos aplicativos *Fire Dynamics Simulator* e *Smokeview*. Na conclusão, constata-se a importância deste estudo para a investigação de incêndio, notadamente para a descoberta de elementos como zona de origem e foco inicial, além das causas e subcausas do incêndio. Sugere-se, por fim, que trabalhos futuros versem sobre marcas de combustão em incêndios florestais e incêndios em veículos.

Palavras-chave: Investigação de incêndios. Marcas de combustão. Sentido de propagação das chamas.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste artigo consiste em descrever as marcas de combustão encontradas em ocorrências de incêndio em edificações e discorrer acerca da maneira correta de interpretá-las, a fim de identificar o caminho percorrido pelas chamas durante o desenvolvimento do incêndio.

Nesse sentido, pretende-se resolver o seguinte problema de pesquisa: De que forma o exame das marcas de combustão possibilitará a identificação do caminho de propagação das

¹ 2º Tenente do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Perito em Incêndio e Explosão, Bacharel em Comunicação pela UFG, com Especialização em Limites Constitucionais da Investigação pela Universidade Anhanguera Uniderp. E-mail: rgbasilio@gmail.com

² Tenente-Coronel do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Perito em Incêndio e Explosão, Bacharel em Administração pela UFSC, com Especialização em Gestão de Serviços de Bombeiro pela UNISUL. E-mail: vanderlino@cbm.sc.gov.br

chamas e, conseqüentemente, de elementos como zona de origem e foco inicial em ocorrências de incêndio em edificações?

Em relação à metodologia, a pesquisa fundamentou-se no modelo proposto por Saunders, Lewis e Thornhill (2003). Assim, quanto à lógica, utilizou-se o método dedutivo, partindo do conhecimento de dados gerais para a conclusão de questões específicas. Quanto à abordagem do problema, a pesquisa classifica-se como qualitativa, buscando compreender os significados e as características dos diferentes padrões apresentados pelos autores estudados (LAKATOS; MARCONI, 2011). Quanto aos objetivos, a pesquisa classifica-se como descritivo-exploratória: exploratória por não requerer a elaboração de hipóteses a serem testadas; e descritiva, por observar, registrar, analisar e correlacionar fatos ou fenômenos sem manipulá-los (BERVIAN; CERVO; SILVA, 2007). Quanto à estratégia, a pesquisa classifica-se como bibliográfica, sendo realizada a partir de material já publicado, como livros, artigos, e material disponibilizado pela Internet (GIL, 2010). Quanto ao horizonte de tempo, a pesquisa classifica-se como transversal, coletando e analisando os dados em um momento. Quanto à coleta desses dados, a pesquisa valeu-se de documentações diversas.

2 EXAMES DO EXTERIOR DA EDIFICAÇÃO

A investigação do incêndio tem início pelo exterior da edificação e pelos terrenos que a circundam. É necessário que o investigador circunde a edificação ao menos uma vez para verificar as marcas no terreno, e outra vez para analisar a integridade da própria edificação. Tal análise o ajudará a determinar se o incêndio ocorreu de forma contínua ou por meio de focos independentes (possível indicador de incêndio criminoso). Também possibilitará a identificação da intensidade da queima nos diversos quadrantes, tetos e aberturas, além da descoberta de objetos totalmente estranhos à cena (MCFADDEN; PHILLIPPS, 1984).

Figura 1 – Observação externa: janela quebrada e marcas de fuligem



Fonte: Lentini (2013, p. 301)

O investigador deve conferir especial atenção às paredes da edificação, registrando vestígios como: manchas de fumaça; sinais de carbonização e fuligens; pontos, aparentemente sem conexão; portas e janelas abertas ou fechadas; estado dos vidros das portas e janelas (quebrados, derretidos, retorcidos, manchados de fumaça etc.); indícios de entrada forçada; posição e estado das chaves dos medidores de gás e eletricidade; ponto mais baixo com sinais do fogo; posição e estado das mangueiras e escadas (NFPA, 2014).

Figura 2 – Indicativos de entrada forçada



Fonte: Lentini (2013, p. 301-302)

A análise de toda a edificação deve abranger inclusive as áreas não atingidas, na medida em que, em alguns casos, a fonte de calor que originou o incêndio não se encontra no ambiente sinistrado, podendo ter sido trazida por meio de fossos de ventilação, sistema de ar condicionado, dutos técnicos, escadas, janelas ou mesmo de sacadas de outras unidades no caso de edifícios verticalizados (SEITO et al, 2008).

Nos casos de queima dos terrenos ao redor do local sinistrado, o investigador deve, além de procurar por objetos que se relacionem com o incêndio (recipientes, ferramentas, objetos de valor, marcas de pegadas e pneus), buscar determinar se o incêndio originou-se do exterior da estrutura propagando-se para o seu interior, ou o oposto (CBMDF, 2010).

No caso de um incêndio que tenha se iniciado no ambiente externo propagando-se para o interior da edificação, será possível observar na parede externa a marca de combustão em “V” (cujos detalhes morfológicos serão tratados mais à frente). Tal marca tende a se propagar por toda a parede até um ponto em que venha a se extinguir, ou pode, de outra forma, adentrar o edifício. Qualquer janela dentro do “V” estará envolta por fuligem, e, onde as chamas penetrarem a edificação, os sinais de propagação continuarão ascendendo pelas paredes interiores (MCFADDEN; PHILLIPPS, 1984).

Quando o incêndio se propaga do interior do edifício para o seu exterior, os veículos de propagação costumam ser materiais provenientes da estrutura ou do mobiliário; nesse caso, as marcas de combustão provenientes do interior da edificação levam até a abertura onde

supostamente existiam os materiais que causaram a propagação das chamas para o ambiente externo (CBMDF, 2010).

Os telhados também exigem observação especial por parte do investigador, uma vez que as correntes de convecção representam grande parte do calor produzido no incêndio, gerando danos consideráveis na parte superior da edificação (LENTINI, 2013).

Figura 3 – Observação externa do telhado permitiu ao investigador identificar a zona de origem do incêndio



Fonte: LENTINI (2013, p. 335)

O local onde o telhado apresenta maior dano tende a coincidir com a zona de origem do incêndio (LENTINI, 2013).

3 EXAMES DO INTERIOR DA EDIFICAÇÃO

Para o entendimento da dinâmica do incêndio no interior da edificação, o investigador deverá partir do ponto menos atingido pela combustão e retroceder cuidadosamente até o ponto mais atingido, observando todas as marcas de combustão encontradas no caminho (MCFADDEN; PHILLIPPS, 1984).

Parte-se do amplo para o restrito, do universal para o particular, do macro para o micro. Se o incêndio envolveu vários pavimentos de um edifício, procura-se determinar em qual deles o fogo teve início. De igual forma, caso o incêndio tenha ocorrido em uma área mais ampla – a exemplo de um complexo industrial –, o investigador deverá iniciar os seus trabalhos pelo setor onde ocorreu a menor queima (ARAGÃO, 2010).

Durante esse trajeto, o investigador não deve ignorar nenhum detalhe, pois um simples objeto poderá lhe indicar o sentido de propagação das chamas (NFPA, 2014).

4 MORFOLOGIA DAS MARCAS DE COMBUSTÃO

Marcas de combustão são definidas como os efeitos visíveis ou mensuráveis que permanecem depois de um incêndio, ocasionadas pela radiação, pelo contato com a camada de gás quente (convecção), ou pelo contato direto com as chamas (condução). De maneira geral, tais marcas assumem determinadas formas geométricas, cujo reconhecimento mostra-se imprescindível ao investigador para o entendimento da dinâmica do incêndio, sobretudo no tocante à identificação da zona de origem e do foco inicial (LENTINI, 2013).

A morfologia das marcas de combustão dependerá essencialmente das condições do ambiente (quantidade e natureza do material comburido, natureza das superfícies e estruturas expostas ao fogo, etc.), do estágio de evolução do incêndio e da ventilação (NFPA, 2014).

O primeiro a identificar formas geométricas nas marcas de combustão foi John D. Dehaan, autor de Kirk's Fire Investigation, ao afirmar, no ano de 1969, que a propagação ascendente do fogo formava uma marca de cone invertido, sendo o ápice na parte inferior (foco inicial). O autor, contudo, já naquela época, alertava os investigadores de que o referido padrão poderia sofrer alteração a depender de uma série de fatores, a exemplo da quantidade de material combustível presente no local, do fluxo de ar, das características estruturais da edificação e da ventilação. A forma cônica tridimensional apresentada em Kirk's persiste até hoje como meio predominante de avaliação da geometria das marcas de combustão. Apenas anos depois é que a literatura passou a expressar essa forma cônica também em formas bidimensionais, incluindo variações das marcas em “V”, marcas em “U”, e marcas no formato de ampulheta (GORBETT et al, 2015).

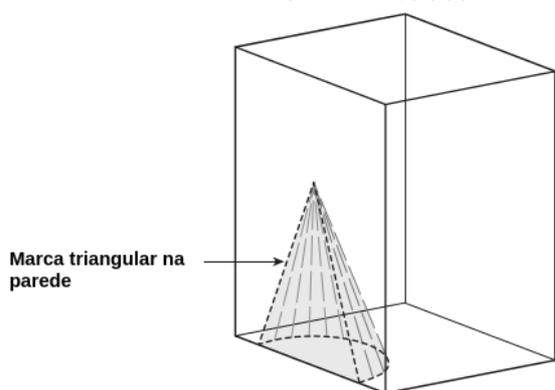
A maioria das marcas de combustão é gerada diretamente pelas chamas, que são tridimensionais. Tais marcas apresentam linhas de demarcação dos efeitos do fogo sobre materiais criados pela forma tridimensional da labareda (cone) sendo cortadas por uma superfície bidimensional, como um teto ou uma parede. Quando a chama é bloqueada por uma superfície, nota-se a formação de seções cônicas. A taxa de liberação de calor do combustível durante o processo de queima tem um efeito profundo sobre a forma das marcas de combustão, sendo as principais: a) marcas em “V”; b) marcas em “V” invertido; c) ampulheta; d) marcas em “U”; e) ponteiro e seta; e f) forma circular (DE HAAN, 2011).

4.1 MARCAS EM “V” INVERTIDO (TRIÂNGULO)

Marcas em forma de “V” invertido (também chamadas de triangulares) são geralmente

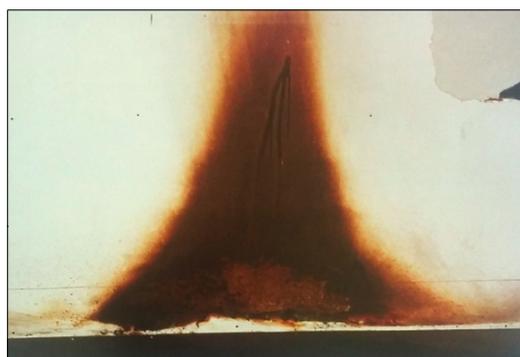
causadas por chamas verticais que não alcançaram o teto, ou quando este não existe. Costumeiramente verificadas no estágio inicial do incêndio, ou nos incêndios de curta duração, e ainda naqueles com baixa taxa de liberação de calor. Podem ser um indicativo de que o incêndio foi apagado ainda no seu início ou pode configurar a existência de focos secundários, ocasionados por exemplo pela queda de detritos do teto (*fall down*). A forma bidimensional é triangular, com a base para baixo (NFPA, 2014).

Figura 4 – Projeção tridimensional da marca em “V” invertido



Fonte: NFPA (2014, p. 66)

Figura 5 – Marca em “V” invertido ou triangular produzida pela queima de uma pequena pilha de jornais



Fonte: Lentini (2013, p. 83)

Por muitos anos, a marca em “V” invertido (ou triangular) foi interpretada como prova de incêndio em líquidos inflamáveis. Atualmente, contudo, entende-se que qualquer fonte de combustível (vazamento de gás combustível, combustíveis de Classe A, etc.) que produza chamas que não tenham sido restringidas verticalmente por uma superfície horizontal, como o teto ou algum móvel, pode produzir marcas de combustão no formato de “V” invertido ou triangular (GORBET et al, 2015).

Figura 6 – Marca em “V” invertido ou triangular originada pela queima de querosene



Fonte: Lentini (2013, p. 83)

Figura 7 – Marca em “V” invertido formada devido à queda de detritos do teto (*fall down*)

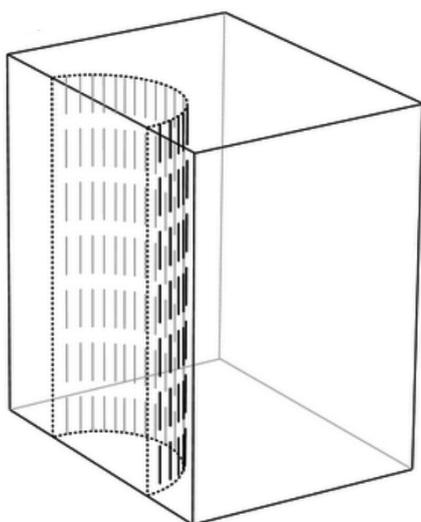


Fonte: NFPA (2014, p. 67)

4.2 MARCAS EM FORMATO COLUNAR

À medida que o incêndio se desenvolve e que a taxa de liberação de calor se eleva, as marcas de combustão em “V” invertido (ou triangular) adquirem um padrão colunar, com linhas verticais paralelas se propagando em direção ao teto (GORBETT et al, 2015).

Figura 8 – Projeção tridimensional da marca em forma de coluna



Fonte: Lentini (2013, p. 84)

Figura 9 – Marca em forma de coluna: extinção do incêndio antes que as chamas tivessem mais tempo de interagir com o teto



Fonte: Lentini (2013, p. 85)

Normalmente, esse tipo de marca pode ser visualizado quando o incêndio foi extinto ainda durante esse estágio intermediário, vale dizer, quando as chamas interagiram apenas por um curto espaço de tempo com o teto ou com outra superfície horizontal. Tal extinção pode ter ocorrido em razão do combate efetuado pelos Corpos de Bombeiros, ou ainda pela falta de oxigênio ou de material combustível (LENTINI, 2013).

4.3 MARCAS EM “V” CLÁSSICO OU TÍPICO

Com a progressão do incêndio, a marca colunar irá se transformar na marca de combustão denominada “V” clássico ou típico, sendo gerada pelo contato direto com as chamas, pelo calor de convecção ou pela radiação dos gases aquecidos do incêndio (LENTINI, 2013).

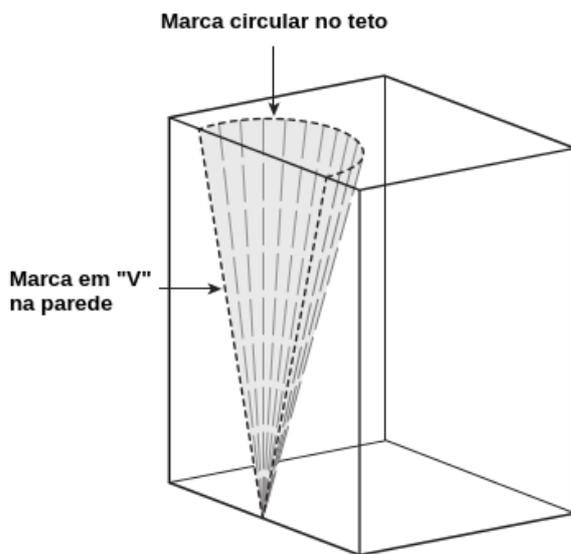
Figura 10 – Zona de origem do incêndio. Presença de marca em “V” no guarda-roupa localizado no canto do ambiente (foco inicial).



Fonte: Lentini (2013, p. 129)

No espaço tridimensional, a referida marca possui a geometria de um cone com o vértice voltado para baixo e, no plano bidimensional, assume a forma de um “V” regular, aparecendo em superfícies verticais como paredes, portas, laterais de móveis e aparelhos (ARAGÃO, 2010).

Figura 11 – Projeção tridimensional da marca em “V” típico ou regular



Fonte: NFPA (2014, p. 66)

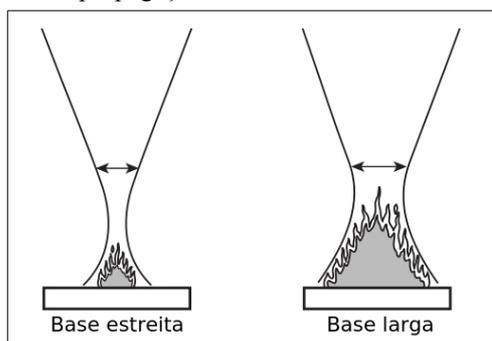
Figura 12 – Marca em “V” típico verificada na zona de origem do incêndio



Fonte: Lentini (2013, p. 87)

Existem, porém, alguns conceitos equivocados em relação às marcas em “V” e que foram reverberados ao longo dos anos. O primeiro era acreditar que a marca em “V” necessariamente indicaria o foco inicial do incêndio. Tal equívoco foi dissipado já na primeira edição da NFPA 921, a qual deixou claro que a referida marca poderia estar presente em um local diverso do foco inicial, causada, por exemplo, pelo acúmulo de material combustível no referido local ou pela queda posterior de detritos. O segundo equívoco referia-se à base da marca em “V”. Pensava-se que a base estreita indicaria necessariamente um rápido desenvolvimento do incêndio e que estaria associada à presença de líquido acelerante; por outro lado, a base larga indicaria um lento desenvolvimento do incêndio. Ambos os equívocos caíram em descrédito e não mais prevalecem dentro do atual contexto da investigação de incêndio (GORBETT et al, 2015).

Figura 13 – Base estreita e base larga: inexistência de relação com a velocidade de propagação do incêndio e o uso de acelerantes



Fonte: NFPA (2014, p. 59)

O ângulo da marca em “V” depende de vários fatores, dentre os quais: a) taxa de liberação de calor; geometria do combustível; efeitos da ventilação; combustibilidade da superfície sobre a qual a marca aparece; e presença de superfícies horizontais, como tetos, prateleiras e tampos de mesa (NFPA, 2014).

4.4 MARCAS EM FORMA DE AMPULHETA

A marca de combustão na forma de ampulheta pode ser considerada uma junção da marca em “V” típico com a marca em “V” invertido (ou triangular), razão pela qual também costuma ser chamada de “duplo V”. Na parte inferior da coluna térmica formada, estará presente a marca em “V” invertido, onde possivelmente terá iniciado a combustão. Acima dessa marca, estará a marca em “V” típico, com vértice mais ou menos largo, constituindo a zona de gases quentes, oriundos da convecção (DE HAAN, 2011).

Figura 14 – Marca em forma de ampulheta verificada em incêndio provocado por líquido inflamável no piso.



Fonte: Hine (2004, p. 27)

Figura 15 – Área de queima limpa verificada logo acima do foco inicial. Marca de ampulheta evidenciada.



Fonte: NFPA (2014, p. 68)

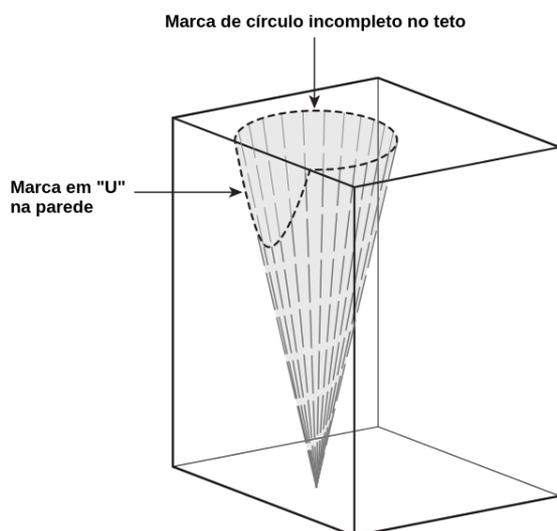
À medida que os gases quentes ascendem da zona de combustão, esfriam-se progressivamente por arraste do ar periférico (coluna térmica), acarretando a extensão lateral das marcas em “V” típico na parte superior. Já o “V” invertido (ou triangular) localizado na parte inferior mostra-se normalmente menor e, em geral, apresenta queima mais intensa ou mesmo queima limpa (ARAGÃO, 2010).

4.5 MARCAS EM FORMA DE “U”

Quando o foco inicial estiver mais afastado da superfície vertical na qual se formaria uma marca em “V” típico, será possível verificar uma marca de combustão em forma de “U”, com linhas de demarcação mais curtas e com vértice arredondado em vez de pontiagudo (NFPA, 2014).

Já nas superfícies horizontais (como tetos e lajes de forro), devido aos efeitos da radiação, a referida chama produzirá uma marca de combustão em formato de círculo completo (quando não há intersecção com a parede), ou de círculo incompleto (quando há intersecção com a parede) (LENTINI, 2013).

Figura 16 – Projeção tridimensional da marca de combustão em formato de “U”.



Fonte: NFPA (2014, p. 68)

Figura 17 – Marca em “U” na parede aos fundos, localizada distante do foco inicial.



Fonte: Lentini (2013, p. 89)

As linhas inferiores da marca em “U” geralmente estão mais altas do que as linhas inferiores da correspondente marca em “V”, pois estas estão localizadas mais próximo do foco inicial (NFPA, 2014).

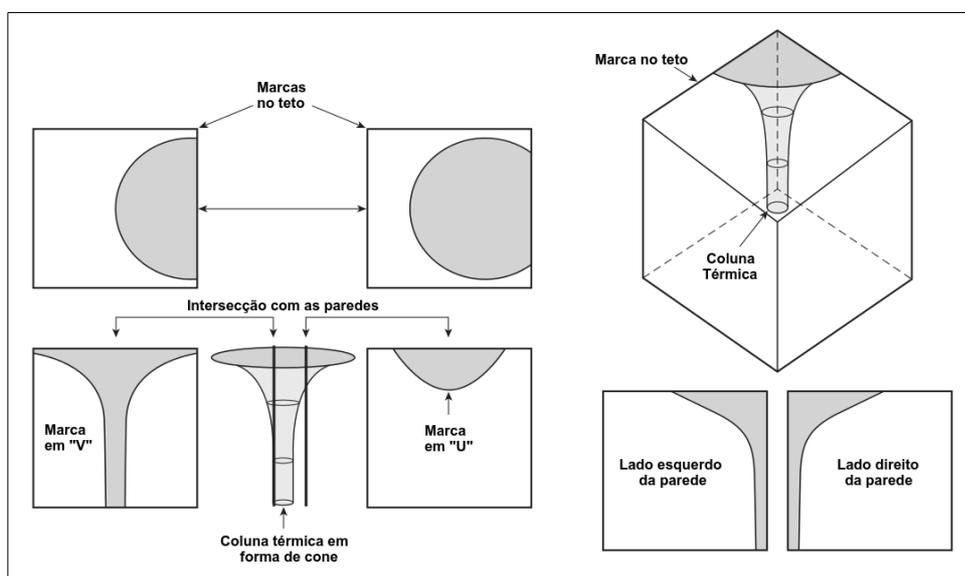
4.6 MARCAS EM FORMA DE CONE TRUNCADO

Na geometria, truncado significa “cortado por um plano secante” (PRIBERAM, 2015). Na investigação de incêndio, as marcas tridimensionais do cone truncado são geradas pela intersecção dos gases quentes advindos da ascensão da coluna térmica com as superfícies verticais e horizontais (perpendiculares), resultando na combinação de mais de uma marca bidimensional (NFPA, 2014).

Ressalte-se que a anatomia da chama, por si só, possui caráter tridimensional, o que pode ser verificado (inclusive) em uma combustão simples como aquela ocorrida em uma vela. Nesse caso, tal como ocorre nos incêndios, a chama se apresentará de maneira difusa e turbulenta (QUINTIERE, 2006).

Muitas marcas de combustão, tais como marcas em “V”, marcas em “U”, marcas circulares e marcas de “ponteiro ou seta”, estão diretamente relacionadas com o cone tridimensional de calor criado pelo fogo. Devido à introdução de ar (arraste), a largura do cone aumenta com a elevação da altura. Quando os gases quentes encontram uma obstrução para o seu movimento vertical, como o teto de uma sala, passam a se mover horizontalmente, gerando as referidas marcas (NFPA, 2014).

Figura 18 – Projeção tridimensional da marca de combustão em formato de cone truncado



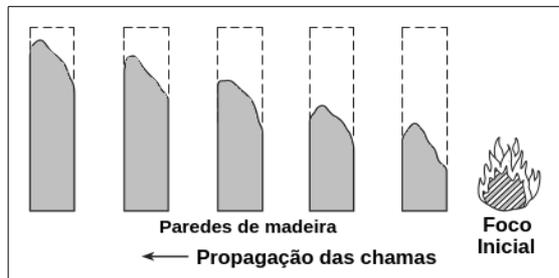
Fonte: NFPA (2014, p. 69)

Embora a marca de cone truncado esteja normalmente associada à localização do foco inicial do incêndio, os investigadores não devem tomar esse indicativo como uma verdade absoluta. Isso porque as diferentes formas de ventilação podem alterar significativamente o formato do cone truncado ou mesmo a sua localização em relação ao foco inicial (GORBETT et al, 2015).

4.7 MARCAS EM FORMA DE SETAS E PONTEIROS

Em muitas ocasiões, o exame das marcas de combustão nos pilares, nas vigas e nas paredes de madeira permitirá identificar o sentido de propagação das chamas. De maneira geral, quanto mais curtas e carbonizadas as tábuas e ripas de madeira, mais perto estarão do foco inicial se comparadas às tábuas e ripas maiores e menos carbonizadas (NFPA, 2014).

Figura 19 – Quanto menor a distância do foco inicial, maior o dano na parede de madeira



Fonte: NFPA (2014, p. 70)

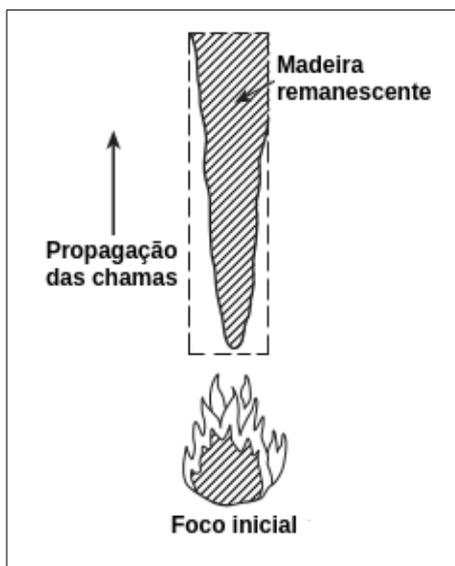
Figura 20 – Detalhe do forro e da parede de madeira, indicando sentido de propagação das chamas da direita para esquerda



Fonte: Laudo Pericial nº 16/98/CBMSC

A forma da seção transversal das vigas tenderá a produzir "setas" apontando a direção do foco inicial. Isso ocorre em razão da queima dos ângulos agudos das arestas das referidas vigas que se encontram mais próximo do foco inicial. De igual modo, os lados mais carbonizados dos pilares de madeira sinalizam de onde as chamas partiram (NFPA, 2014).

Figura 21 – Seção transversal de um pilar de madeira apontando para o foco inicial



Fonte: NFPA (2014, p. 70)

Figura 22 – Marcas de combustão indicando sentido de propagação das chamas da esquerda para a direita



Fonte: Laudo Pericial nº 16/98/CBMSC

4.8 INFLAMAÇÃO GENERALIZADA E VENTILAÇÃO

Ainda acerca da morfologia das marcas de combustão, deve ser entendido que a ausência de um padrão observável após um incêndio (marcas em “V”, em coluna, ampulheta etc.), não significa que ele não estava presente no início do incêndio. Quando ocorre a inflamação generalizada do ambiente (*flashover*), normalmente quando a temperatura supera os 600°C, as marcas iniciais de combustão podem ficar escondidas pela fuligem, ou podem ser criadas outras marcas que não necessariamente apontarão para o foco inicial (OBACH, 2012).

Figura 23 – Incêndio extinto 40 seg após a sua generalização (*flashover*)



Fonte: Obach (2012, p. 4)

Figura 24 – Incêndio extinto 2 min e 30 seg após a sua generalização (*flashover*)



Fonte: Obach (2012, p. 4)

Nesse tipo de situação (*pós-flashover*), para que não incorra em erro, o investigador de incêndio deverá conferir atenção especial à ventilação, analisando de que forma o oxigênio penetrou no ambiente e, uma vez lá dentro, como ele se comportou (OBACH, 2012).

5 ÁREAS DE QUEIMA LIMPA

Trata-se de um fenômeno observado em superfícies não inflamáveis, quando a fuligem e a fumaça condensada, que seriam normalmente encontradas na superfície, acabam sendo consumidas pelas chamas. O carbono será oxidado, transformando-se em gases e desaparecendo da superfície. Isso produz uma área limpa com as adjacências escurecidas pelos produtos da combustão, devido ao contato direto com as chamas ou com o calor irradiado (NFPA, 2014).

Figura 25 – Área de queima limpa acima da cadeira, no lado esquerdo da imagem



Fonte: University of New Haven (2015)

Figura 26 – Área de queima limpa na parede localizada no lado direito da imagem



Fonte: McCollom (2014)

Embora possam ser um indicativo de forte aquecimento, áreas de queima limpa não necessariamente indicam a zona de origem do incêndio. A quantidade e as características do material combustível, os aspectos relacionados à ventilação (ventilação por pressão positiva, localização das aberturas), assim como a forma como se deu a utilização do jato de água pelos bombeiros, são fatores que devem ser observados pelos investigadores (GORBETT et al, 2015).

Figura 27 – Área de queima limpa próxima à porta que se encontrava aberta durante o teste de incêndio. Zona de origem localizada no outro ambiente.



Fonte: Gorbett et al (2015, p. 24)

Figura 28 – Área de queima limpa ocasionada pela presença de um sofá. Zona de origem localizada em outro ambiente.



Fonte: Laudo Pericial nº 10000162/10ºBBM/2015/CBMSC

As linhas de demarcação entre as áreas queimadas e limpas e as escurecidas podem ser usadas pelos investigadores de incêndio para a determinação do sentido de propagação das chamas ou das diferenças de intensidade ou do tempo da combustão (NFPA, 2014).

6 MARCAS DE COMBUSTÃO EM POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Polímeros termoplásticos amolecem e derretem ao longo de um intervalo de temperaturas relativamente baixas, variando, em geral, de 75°C a 400°C. O derretimento do plástico pode dar informações relevantes não apenas sobre as temperaturas, mas principalmente sobre onde se concentrou a quantidade maior de gases quentes (NFPA, 2014).

Figura 29 – Fusão do recipiente plástico indicando propagação das chamas da direita para a esquerda, levando à geladeira identificada como foco inicial.



Fonte: Informe Pericial nº 141/1ºBBM/2013/CBMSC

Se as chamas tiverem se propagado horizontalmente, a lateral dos objetos plásticos estarão mais deformadas, ao passo que, se as chamas tiverem se propagado de maneira mais ascendente, será a parte inferior dos objetos que se apresentará mais deformada (MCFADDEN; PHILLIPPS, 1984).

7 MARCAS DE COMBUSTÃO EM LÂMPADAS INCANDESCENTES

Marcas de combustão em lâmpadas incandescentes também podem indicar o sentido de propagação das chamas. Como o lado da lâmpada mais próximo do foco inicial tende a sofrer um aquecimento maior, os gases presentes em seu interior irão se expandir, aumentando a pressão interna até que haja o rompimento de sua superfície. A parte expandida da lâmpada aponta a direção do foco inicial (NFPA, 2014).

Figura 30 – Sentido de propagação das chamas da direita para esquerda.



Fonte: NFPA (2015, p. 57)

Figura 31 – Sentido de propagação das chamas da esquerda para direita.



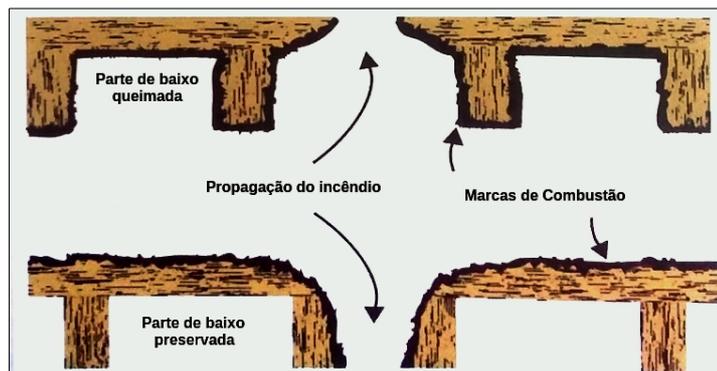
Fonte: Laudo Pericial nº 10040316/1ºBBM/2015/CBMSC

Embora as lâmpadas que subsistem à fase de extinção do incêndio possam ser utilizadas para descobrir o sentido de propagação das chamas, o investigador necessita primeiramente apurar se alguém porventura girou o soquete da lâmpada antes da chegada dos bombeiros combatentes ou dos bombeiros responsáveis pela investigação do incêndio para que não seja induzido a erro (NFPA, 2014).

8 ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE A MADEIRA

A queima da madeira, semelhante ao que acontece com outros materiais combustíveis, acarreta a perda de material. O aspecto visual dessas perdas pode fornecer importantes vestígios ao investigador e estão relacionadas ao acúmulo de calor radiante, ao contato direto com a chama ou à presença de incandescência na região afetada. Normalmente, o que se observa é o maior consumo do material na superfície inicialmente exposta ao calor, criando-se uma fresta mais larga nesse ponto, diminuindo progressivamente em direção à outra face da superfície (NFPA, 2014).

Figura 32 – Marcas de combustão em madeira com incêndio se propagando de baixo para cima e de cima para baixo (perda de material)



Fonte: Lentini (2013, p. 97)

O termo *alligatoring* foi uma expressão criada para descrever o aspecto adquirido pela madeira após a sua queima, por lembrar o couro do jacaré. Pode variar em tamanho e forma, dependendo do gradiente de calor e da velocidade da queima (LENTINI, 2013).

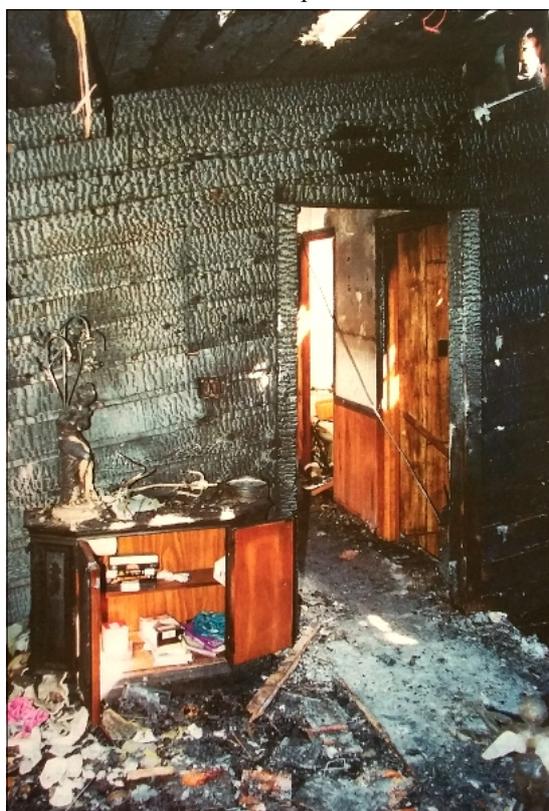
Por muitos anos, acreditou-se que o aspecto superficial da parte carbonizada (escura, brilhante, colorida, com a formação de bolhas) teria relação direta com o uso de hidrocarbonetos como aceleradores da propagação do incêndio. Atualmente, porém, essa informação é tida como um dos grandes mitos da investigação de incêndio (LENTINI, 2013).

Figura 33 – Variação de tamanho e forma das marcas, indicando queima de cima para baixo.



Fonte: do autor

Figura 34 – Marcas (ou bolhas) de diferentes tamanhos identificadas na mesma parede de madeira.



Fonte: Lentini (2013, p. 441)

A taxa de carbonização da madeira varia muito, dependendo de fatores como: a) taxa e duração do aquecimento; b) efeitos da ventilação; c) relação superfície/peso; d) direção, orientação e tamanho do grão da madeira; e) tipo de madeira (pino, abeto, carvalho, etc.); f) teor de umidade da madeira; e g) tipo de revestimento da madeira (NFPA, 2014).

Por esse motivo, é desaconselhável que o investigador de incêndio faça correlação do efeito *alligatoring* com o uso de agente acelerante ou com a taxa de crescimento do incêndio, observando somente os aspectos visuais da carbonização (LENTINI, 2013).

9 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS MARCAS DE COMBUSTÃO

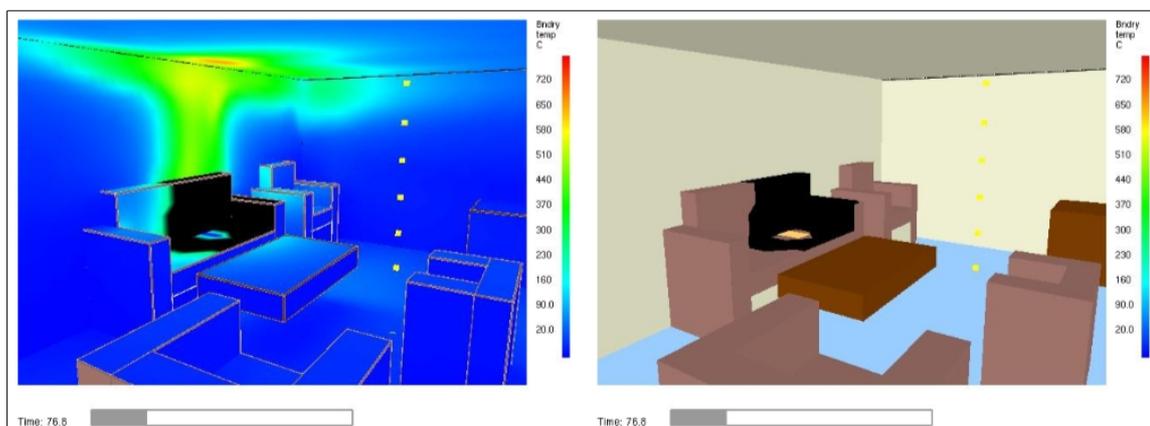
Visando identificar a zona de origem e o foco inicial de um incêndio, frequentemente se faz necessária a realização de testes e ensaios práticos. Entretanto, a construção de modelos reais, em escala ou naturais, demanda considerável custo financeiro, pessoal especializado e tempo para que os modelos estejam prontos para os testes (RAJÃO, 2008).

Com o aprimoramento da tecnologia de sistemas de informação e de processamento de dados, os recursos de modelagem computacional têm-se apresentado como uma solução interessante e viável financeiramente (BRAGA; LANDIM, 2008).

Nesse sentido, o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), dos Estados Unidos da América, desenvolveu um *software* de simulação computacional de incêndios denominado *Fire Dynamics Simulator* (FDS). Foi inicialmente desenvolvido para simular incêndios em edificações, visando estudar a dinâmica dos incêndios mais detalhadamente, a custo baixo e de forma que não colocasse em risco os acadêmicos, engenheiros e técnicos. Porém, logo se observou que o referido aplicativo poderia ser utilizado também na investigação de incêndios (RAJÃO, 2008).

Juntamente com o FDS, utiliza-se o aplicativo *Smokeview* (SMV), desenvolvido para visualizar os dados numéricos gerados pelo FDS, possibilitando animações gráficas e desenhos estáticos em três dimensões. Em resumo, o SMV constitui a plataforma de visualização gráfica dos dados de saída do FDS (RAJÃO, 2008).

Figura 35 – Exemplo de representações gráficas proporcionadas pela combinação entre os aplicativos FDS e SMV. Marca de combustão gerada pela queima de um sofá em uma sala.



Fonte: Forney (2007)

Além da identificação das marcas de combustão e do sentido de propagação das chamas, os aplicativos permitem também a verificação das condições a que um local pode ter sido submetido quando da ocorrência de um incêndio, calculando dados importantes como temperatura, concentração de gases como oxigênio e monóxido de carbono, tempo para acionamento dos chuveiros automáticos e dos detectores de fumaça e calor, tempo de queima, entre outros (BRAGA; LANDIM, 2008).

Vale frisar que a simulação computacional não possibilita a obtenção de todas as respostas sobre o incêndio. Trata-se de mais uma ferramenta à disposição do investigador, que, em conjunto com o seu conhecimento sobre ciência do fogo e metodologia de investigação de incêndio, possibilitará a consecução de resultados eficazes e conclusões bem fundamentadas (BRAGA; LANDIM, 2008).

CONCLUSÃO

Ao término deste artigo, verificou-se que a interpretação correta das diferentes marcas de combustão encontradas em edificações incendiadas possibilita ao investigador a identificação do sentido de propagação das chamas.

Provou-se que, uma vez identificado o sentido de propagação das chamas, o investigador de incêndio terá condições mais robustas de definir elementos importantes, como zona de origem e foco inicial, além das causas e subcausas do incêndio.

Demonstrou-se que o processo investigatório abrange tanto o exame externo da edificação quanto o seu exame interno.

Tratou-se também da morfologia das marcas de combustão, das áreas de queima limpa, das marcas em polímeros termoplásticos e lâmpadas incandescentes, de aspectos relevantes sobre a madeira e ainda dos principais aplicativos utilizados na investigação de incêndio.

Por fim, como este artigo limitou-se a abordar unicamente as marcas de combustão presentes em ocorrências de incêndio em edificações, sugere-se que trabalhos futuros possam versar sobre as marcas de combustão encontradas em situações de incêndio florestal e incêndio em veículos, na medida em que também constituem objeto de perícia do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, Ranvier Feitosa (Coord). **Incêndios e Explosivos: uma introdução à engenharia forense**. Campinas (SP): Millenium, 2010. (Tratado de Perícias Criminalísticas).
- BERVIAN, Pedro Alcino; CERVO, Amado Luiz; SILVA, Roberto da. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- BRAGA, George C Barbosa. LANDIM, Helen R. de Oliveira. Investigação de Incêndio. In: SEITO, A. Itiu et al (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. Barueri-SP: Projeto Editora. 2008. p 333-345.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Guia para investigação de incêndios e explosões**. Brasília (DF), 2010.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Informe Pericial nº 141/1ºBBM/2013/CBMSC**. Florianópolis (SC), 2013.
- _____. **Laudo Pericial nº 16/98/CBMSC**. Canoinhas (SC), 1998.
- _____. **Laudo Pericial nº 10000162/10ºBBM/2015/CBMSC**. São José (SC), 2015.
- _____. **Laudo Pericial nº 10040316/1ºBBM/2015/CBMSC**. Florianópolis (SC), 2015.
- DE HAAN, John D. et al. **Kirk's fire investigation**. Pearson Higher, 2011.
- FORNEY, Glenn. User's Guide for Smokeview version 5: a tool for visualizing fire dynamics simulation data. **NIST special publication 1017-1**. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. Gaithersburg, MD, USA, 2007. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07050.pdf>> Acesso em: 20 out. 2015.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GORBETT, Gregory E. et al. Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. **Fire Science Reviews**, v. 4, n. 1, p. 4, 2015. Disponível em: <<http://www.firesciencereviews.com/content/4/1/4>> Acesso em: 5 out. 2015.
- HINE, GREGG A. **Fire Scene Investigation: an introduction for chemists**. CRC Press, 2004. Disponível em: <<http://www.fireinvestigation.ie/wp-content/uploads/fire%20scene%20investigation%20for%20chemists.pdf>> Acesso em: 10 out. 2015.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- LENTINI, John J. **Scientific protocols for fire investigation**. CRC Press, 2006.
- MACFADDEN, David A.; PHILLIPPS, Calvin C.; **Investigación del origen y causas de los incendios**. Fundación MAPFRE, 1984.

MCCOLLOM, Shawn. Change in requirements for fire investigations leave more 'undetermined'. **Columbia Missourian**, 19 novembro 2014. Disponível em: <http://www.columbiamissourian.com/news/change-in-requirements-for-fire-investigations-leave-more-undetermined/article_0dd16cee-bcb1-50e2-ab15-d1a35fe4430a.html> Acesso em: 20 out. 2015.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION et al. **NFPA 921, Guide for Fire and Explosion Investigations**. National Fire Protection Association, 2014. Disponível em: <<http://www.nfpa.org>> Acesso em out. 2015.

OBACH, Matthew. **Ventilation Effects on Fire Patterns during Post-Flashover Burning**. 2012. Disponível em: <http://www.cl.cognita.co.uk/news/Ventilation%20Effects%20on%20Fire%20Patterns_MObach_12-11-2012.pdf> Acesso em: 10 out. 2015.

PRIBERAM, Dicionário. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/DLPO/truncado>>. Acesso em 26 out. 2015.

QUINTIERE, James. **Fundamentals of fire phenomena**. John Wiley & Sons, 2006.

RAJÃO, Alan José Natal. **Simulação computacional de incêndios com o uso do aplicativo Fire Dynamics Simulator**: uma ferramenta para teste de hipóteses de incêndios. 2008. 90 f. Monografia (Curso de Perícia em Incêndio para Oficiais). Centro de Investigação e Prevenção de Incêndio, Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília-DF, 2008.

SAUNDERS, Mark; LEWIS, Philip; THORNHILL, Adrian. **Research Methods for Business Students**. Third edition. England: Prentice Hall, 2003.

SEITO, Alexandre Itiu et al (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. Barueri: Projeto Editora, 2008.

UNIVERSITY OF NEW HAVEN. **Fire Investigation Laboratory**. Disponível em: <<http://www.newhaven.edu/lee-college/programs/undergraduate/fire-science/laboratories/investigation/>> Acesso em: 31 out. 2015.