

CURTO-CIRCUITO COMO FENÔMENO TERMOELÉTRICO RELACIONADO A CAUSAS DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES: MITOS E VERDADES

Short circuit as thermoelectric phenomena related to fire causes in buildings: myths and truths

Maicon Éder Motelievicz

1º Tenente Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão pelo CBMSC. Bacharel em Análise de Sistemas pela Universidade do Contestado, Especialista em Segurança Pública pela Aupex-Joinville. Graduando em Direito pela Universidade do Católica de Jaraguá do Sul. Email: maiconeder@cbm.sc.gov.br

Charles Fabiano Acordi

Tenente Coronel Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão pelo CBMSC, graduado no Curso de Formação de Oficiais pela Polícia Militar de Santa Catarina, graduado em direito pela Universidade do Planalto Catarinense, mestre em direito pela Universidade Estácio de Sá, e mestre em administração pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2010). Email: charles@cbm.sc.gov.br

RESUMO

Normalmente atribui-se ao curto-circuito a fama de grande vilão e responsável pela maioria das causas de incêndios em edificações. Conceito este muito difundido entre os investigadores de incêndio, que muitas vezes embasam suas perícias na análise sumária da simples fusão de um condutor como princípio fundamental para definição de causa. Observa-se que, pelas características físicas do curto-circuito, sua capacidade de provocar a ignição de combustíveis comuns é ineficaz, exceto em ambientes favoráveis. Constata-se também, que ele é normalmente decorrente de outro fenômeno termoeletrico, ou que foi gerado pela combustão de condutores energizados no ambiente sinistrado. Por fim, para a definição de um curto-circuito como causa de um incêndio, faz necessária a análise de toda complexidade de informações disponíveis no local de incêndio, de modo que o investigador consiga provar a correlação de cada elemento de queima e propagação das chamas, com a ignição primária do material pela centelha ou arco do curto-circuito.

Palavras-chave: Curto-circuito. Traços de fusão. Perolamento. Causa de incêndios. Mitos e verdades.

ABSTRACT

Usually attributed to short-circuit the great villain of fame and responsible for most fire causes in buildings. Concept this widespread among researchers of fire, which often underlie their skills in summary analysis of simple fusion of a conductor as a fundamental principle for defining cause. It is observed that the physical characteristics of the short circuit, its ability to cause the ignition of common combustible is ineffective except in favorable environments. It is also noted that it is usually due to other thermoelectric phenomenon, or that was generated by the combustion of energized conductors in the injured environment. Finally, to define a short-circuit as the cause of a fire, it is necessary to analyze all the complexity information available at the site of fire, so that the researcher can prove the correlation of each element of burning and flame propagation with the primary ignition material for the spark or short-circuit arc.

Keywords: Short circuit. Fusion features. Perolamento. fire cause. Myths and truths.

Este artigo é resultado do trabalho de conclusão do Curso de Perícia em Incêndio e Explosão para Oficiais, realizado como curso de extensão universitária do Centro de Ensino Bombeiro Militar em 2015.

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo estuda o curto-circuito como fenômeno termoelétrico relacionado as causas de incêndios em edificações, elencando os mitos e verdades para a investigação de incêndio.

Fenômenos termoelétricos são comumente interpretados como causa de incêndio, especialmente o curto-circuito. No entanto percebe-se que premissa nem sempre é verdadeira, pois podem ocorrer antes, durante e depois do incêndio e não necessariamente sendo sua causa.

Neste sentido, há a necessidade de detalhar a ocorrência desse fenômeno e relacioná-lo com a causa do incêndio, a fim de poder dar subsídio fundamentado ao investigador de incêndio na definição da causa de um incêndio em edificação.

A eletricidade, mais especificamente o curto-circuito, está presente na maioria das edificações. No entanto o simples fato da energia elétrica estar presente, não é motivo para culpá-la como causadora de um incêndio. Nesta linha de pensamento, o artigo pretende resolver o seguinte problema de pesquisa: Quais são os mitos e verdades relacionadas ao curto-circuito como causa de incêndios em edificações, no exercício da atividade de investigação de incêndio?

A partir do enunciado do problema, procurou-se mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis na literatura especializada, nas experiências profissionais dos autores e através dos dados coletados durante o desenvolvimento da pesquisa, confirmar ou não a seguinte hipótese de pesquisa: **Todo curto-circuito presente em cena de incêndio não é necessariamente sua causa.**

Logo, o principal objetivo deste trabalho é explicar a dinâmica dos curto-circuitos em instalações elétricas de edificações, elencando os mitos e verdades relacionados a atividade de investigação de incêndio.

Para o desenvolvimento desse artigo, as etapas da pesquisa foram fundamentadas na abordagem utilizada por Saunders, Lewis e Thornhill (2003), sendo utilizado o método dedutivo, buscando elencar conceitos gerais e conduzi-los a aspectos específicos do tema. Uma abordagem qualitativa foi adotada, apesar de que os autores pesquisados, se embasaram tanto de informações qualitativas, quanto quantitativas.

Prosseguindo com o objetivo do artigo, será adotada uma pesquisa descritiva buscando identificar pontos relevantes ao aspecto do curto-circuito como causa de incêndio, utilizando-se de uma estratégia bibliográfica, num horizonte de tempo transversal, ou seja, coletando e analisando informações em um determinado tempo.

Por fim, a coleta de dados será através de documentação, forma pela qual os dados necessários para o artigo serão levantados.

2 CURTO-CIRCUITO E INCÊNDIO: MITOS E VERDADES DO CURTO-CIRCUITO COMO CAUSA DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES

2.1 Fenômenos Termoelétricos

Existe um vínculo entre a utilização da eletricidade e a ocorrência de incêndios, este deve ser entendido pelo investigador de incêndios, a fim de que possa compreender essa íntima relação e conseqüentemente definir, ou não como sua causa.

Quando uma corrente elétrica passa por um condutor, este se aquece. Esse fenômeno é chamado efeito Joule. A quantidade de calor libertada pela passagem da corrente elétrica pode ser calculada pela aplicação do 1º princípio da Termodinâmica, também chamado princípio da equivalência (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2007).

Segundo a National Fire Protection Association (2011), para que se produza uma ignição por uma fonte elétrica, precisa cumprir alguns pré-requisitos:

a) O cabo elétrico, equipamento ou seus componentes devem ter energia elétrica, seja pela instalação elétrica padrão da edificação, por algum sistema de emergência, uma bateria, ou qualquer outra fonte elétrica;

b) A fonte elétrica deve ter capacidade de produzir calor e temperatura suficientes para aquecer o material combustível constante próximo a zona de origem.

A ignição por uma fonte elétrica supõe que sejam gerados calor e temperatura na quantidade necessária para que comece a queimar o material no foco inicial do incêndio. Esse calor e temperatura podem ser gerados de diversas formas, como arcos elétricos, curtos-circuitos, sobrecorrente através dos cabos e equipamentos, aquecimento de resistências ou por fontes que normalmente geram o calor, como painéis, aquecedores e equipamentos de cozinha. Para que ocorra a ignição é necessário que essa fonte de temperatura e calor se mantenha acessa o tempo suficiente para conduzir aos objetos ao redor a combustão, assim como comburente na quantidade adequada (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Dentre os fenômenos termoelétricos relacionados aos incêndios em edificações, podem ser citados o curto-circuito, sobrecarga, desconexão parcial, contato imperfeito (Resistência de contato e óxido cuproso), grafitação e corrente de fuga. Abaixo os conceitos adotados pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2010):

Sobrecarga: Quando a intensidade de uma corrente ultrapassa o valor nominal do circuito ocorre uma sobrecarga. Todo fio elétrico possui uma faixa de trabalho e de resistência a temperatura, quando excedido, inicia o processo de deterioração do isolamento, podendo a partir daí provocar um incêndio, por sobreaquecimento ou curto-circuito.

Na tabela abaixo, encontram-se as temperaturas máximas para serviço contínuo, limite de sobrecarga e limite de curto-circuito para os tipos de condutores mais comuns. (Estes valores são válidos para temperatura ambiente de 30°C.)

Quadro 1 – Temperaturas características dos condutores.

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm ²	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm ²	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007, p.99).

Desconexão parcial: ocorre com fiações flexíveis, que através de um processo gradual de degradação do condutor, provoca a redução do diâmetro do fio, causando aquecimento puntual pelo aumento de resistência. Causa centelhamento intenso, podendo provocar um curto-circuito se encontrar uma diferença de potencial.

Contato imperfeito: Há dois tipos de contatos imperfeitos encontrados em instalações elétricas. O contato imperfeito originado por má conexão mecânica entre partes (resistência de contato) e pela formação de óxido cuproso, conforme segue:

Resistência de contato: é a resistência elétrica relacionada entre os materiais das conexões elétricas, como entre um plug e uma tomada. Tal conexão pode provocar uma resistência tão elevada que causa um aquecimento puntual podendo degradar o isolamento, provocar um curto-circuito e até mesmo provocar um incêndio.

Óxido cuproso: Devido ao aquecimento do condutor, um fino filme de oxidação é formado sobre ele, normalmente o monóxido de cobre, em casos especiais, o óxido cuproso. Uma vez iniciado o processo de formação do óxido cuproso, este aumenta emitindo luz e calor.

Grafitização: as centelhas elétricas geradas pelo chaveamento, podem carbonizar substâncias orgânicas em grafite, que por sua vez possuem relativa condutividade elétrica. Diversos centelhamentos são necessários até que se consiga grafitizar uma substância, capaz de conduzir uma corrente de fuga.

Corrente de Fuga: é toda a corrente elétrica que circula por meios não previstos. Dependendo da quantidade de resistência elétrica, pode provocar sobreaquecimento puntual provocando um incêndio. Traços de fusão poderão ser encontrados.

2.1.1 Curto-circuito e suas características

A National Fire Protection Association (2011, p.16, tradução nossa) conceitua curto-circuito como uma “[...] conexão anormal de baixa resistência entre condutores normais de um circuito normal para um circuito cuja resistência é normalmente muito maior; esta situação produz muita intensidade porém não é uma sobrecarga”.¹

¹Short Circuit. An abnormal connection of low resistance between normal circuit conductors where the resistance is Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Noon (2001, p.160, tradução nossa), traz que um "curto-circuito é quando a corrente elétrica flui através de uma via não intencional, isto é, um "atalho" entre condutores na via elétrica"².

Neste sentido, observa-se que o curto-circuito ocorre por contato de condutor a condutor. Esta é, por definição, uma ligação de resistência extremamente baixa, de acordo com a lei de Ohm, quando a resistência diminui, a corrente aumenta (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Esse contato, provoca o aumento da temperatura naquele ponto a milhares de graus, podendo chegar até 5500 ° C ou 10000 ° F (DEHAAN, 2007).

A essas temperaturas, centelhas são geradas em forma de partículas luminosas que se formam quando um arco funde o metal e este dispersa as partículas ao seu redor, o suficiente para fundir os condutores, isolantes e até provocar um incêndio, se houver combustível em quantidade adequada (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Os curto-circuitos podem ser gerados de forma direta, resultante do contato de condutores encolerizados; indireta, resultante do contato entre o condutor energizado a outras regiões condutoras como vigas metálicas; e em camadas, que ocorre no interior de motores, transformadores, gerado entre as camadas de isolamento provocando a redução na tensão terminal dos dispositivos mas eleva-se o nível de corrente elétrica provocando sobreaquecimento (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2010).

2.1.1.1 Condutores

Os condutores das instalações elétricas são normalmente de cobre e alumínio, porque são econômicos e bons condutores de eletricidade, apesar de existirem outros elementos menos comuns utilizados em casos especiais. O Fio sólido é usado nos tamanhos mais pequenos e para fins que não requerem flexibilidade. Para tamanhos maiores, necessita-se de flexibilidade, sendo então construídos de várias vertentes de fios menores, chamados cabos (DEHAAN, 2007).

Os cabos e condutores de cobre estão em estado puro. As impurezas fazem com que o cobre seja pior condutor de eletricidade. O cobre puro se funde a 1.082°C (1.980°F). No entanto, em um incêndio, devido ao óxido de cobre que se forma no contato com o ar e que se mistura com o cobre puro, se funde através de sua superfície a temperaturas inferiores a 1.082°C, formando extremidades pontiagudas, glóbulos e zonas mais estreitas (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Os cabos ou condutores de alumínio normalmente se apresentam em estado puro. Possui o ponto de fusão a 660°C (1.220°F). Em sua superfície se forma uma película de óxido de alumínio, que não se mistura com o alumínio puro que fica por baixo, não reduzindo sua temperatura de fusão. O alumínio tende a fundir-se em todo o comprimento do condutor,

normally much greater; this is an overcurrent situation but it is not an overload.

²A short circuit is when the electrical current flows through an unintended pathway, i.e., a "shortcut" electrical pathway, between the conductors.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

sem uma parte central se fundir como acontece com o cobre.

O alumínio fundido atravessa a capa de óxido e se resfria, dando formas estranhas quando se solidifica. Estas formas incluem extremidades pontiagudas, e glóbulos em forma de lágrima arredondada. Possui menor condutividade que o cobre. Portanto, para a mesma capacidade no circuito, um condutor de alumínio deve ser de tamanho duas vezes maior que um condutor de cobre (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Tem-se utilizado também condutores de alumínio recobertos de cobre (não comum). Estes condutores tem suas características de fusão similares aos condutores de alumínio (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

2.1.1.2 Isolamentos

O isolamento dos condutores evita que a corrente siga para rotas não desejadas. pode ser praticamente de qualquer material que não conduza eletricidade e que conserve suas propriedades durante o tempo em que estiver submetido a altas temperaturas. Em cabos sem isolamento, o ar serve de isolante (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

A qualidade do isolamento depende basicamente do tipo de material e da sua espessura. Os Isolamentos dos fios elétricos são normalmente encontrados em borracha, plástico (PVC) e amianto. Outros bons materiais isolantes são de vidro, cerâmica e verniz (DEHAAN, 2007).

O Policloreto de vinila (PVC) é um isolante termoplástico muito utilizado nos cabos. Não oxida com o tempo, porém pode perder pouco a pouco os plastificantes e tornar-se duro e frágil. Em um incêndio, se carboniza e libera gases corrosivos como o cloreto de hidrogênio (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

A borracha foi o material isolante mais usado nos últimos 50 anos. Ela contém pigmentos e vários modificantes e antioxidantes. Com o tempo, pode oxidar e parecer mais frágil, o aquecimento prolongado a danifica. Os isolantes de borracha se carbonizam quando expostos ao fogo e a temperaturas muito altas. Se a borracha é queimada, deixa cinzas (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

2.1.1.3 Causas do curto-circuito

A causa mais comum de curto-circuito é a perda do isolamento ou sua deterioração, normalmente ocasionado por ação externa de maneira intermitente ou continuada sobre o condutor (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2015). Tal dano pode ser provocado de várias maneiras, dentre elas destacam-se:

a) Danos a isolamento de fios causada por atrito contra superfícies afiadas quando puxado através de eletrodutos;

b) Isolamento deteriorado pelo tempo ou exposição ao calor, umidade, ou vapores químicos.

c) Os danos mecânicos no isolamento causada por roedores, arestas cortantes, pregos, grampos, pressão de moveis ou instalação inadequada;

- d) Sobrecarga nos condutores;
- e) As ligações entre os condutores com materiais não adequados (fitas impróprias, outros), permitindo uma ligação de alta resistência para criar um aquecimento localizado com a degradação do condutor;
- f) Instalações realizadas para uso "temporário" com condutores de bitola inferior e nunca substituídos;
- g) Falhas de enterramento;
- h) Utilização de extensões inadequadas (DEHAAN, 2007).

Cabe reforçar que a causa de um curto-circuito também pode advir de outro fenômeno termoelétrico.

2.2 Curto-circuito e Incêndio

No Brasil, a maioria das edificações possuem alguma forma de instalação elétrica, o que requisita um conhecimento especial do investigador de incêndios. Segundo Dehaan (2007, p.150, tradução nossa):

Enquanto o curto-circuito é realmente uma causa comum de incêndios, infelizmente, alguns incêndios identificados como causados por curto-circuito não são convenientemente causados por um curto-circuito elétrico. O curto-circuito elétrico é a "causa de último recurso" para alguns investigadores. [...]. Quando um prédio pega fogo e queima, é provável que o fogo irá causar algum curto-circuito, não necessariamente realmente causou o incêndio. Assim, um investigador que não pode determinar a causa específica do fogo, pode sempre encontrar alguma evidência de curto-circuito para culpar como sendo a causa e fechar a sua papelada.³

Quando uma corrente excessiva é passada através de um condutor metálico, a sua temperatura pode subir até o ponto de fusão, formando um "traço de fusão" no condutor que sofreu o curto-circuito. Como a primeira fusão ocorre, o fio corta e um arco de separação ocorre neste ponto (que podem ser mantidas a elevadas tensões suficientes). Este arco cria temperaturas localmente muito elevadas e o metal derretido é dispersado sobre as superfícies mais frias nas proximidades onde é condensado na forma de gotículas. "Enquanto estas centelhas (muitas vezes partículas incandescentes) são muito quentes, eles não têm capacidade térmica suficiente para inflamar os combustíveis sólidos maciços nas proximidades, exceto sob as condições mais incomuns"⁴ (DEHAAN, 2007 p. 403, tradução nossa).

A presença de energia de ignição não é suficiente para assegurar a ignição. Há que se levar em conta a distribuição e conservação desse calor (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

³ While shorting is indeed a common cause of fires, unfortunately some fires not caused by shorting are conveniently blamed on electrical shorting. It is the case that electrical shorting is the "cause of last resort" for some investigators. [...]. When a building catches fire and burns, it is probable that the fire will cause something electrical to short out, no matter what actually caused the fire. Thus, an investigator who cannot determine the specific cause of the fire, can always find some evidence of shorting to blame as being the cause, and close out his paperwork.

⁴ While these sparks (often incandescent particles) are very hot, they do not have sufficient thermal capacity to ignite massive solid fuels nearby, except under the most unusual conditions.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

2.2.1 Traço de fusão

Em incêndios em edificações típicas, as temperaturas de queima de madeira, pano, papel e demais polímeros, não atingem temperaturas suficientes para fundirem condutores de cobre. No entanto, o curto-circuito elétrico pode fornecer energia suficientemente concentrada para provocar a fusão localizada do cobre, denominado traço de fusão. Por esta razão, a localização de um condutor de cobre fundido em um incêndio é um forte indício da ocorrência curto-circuito elétrico (DEHAAN, 2007).

O alumínio, que tem uma temperatura mais baixa de fusão do que o cobre, será usualmente fundido por maioria dos incêndios e, portanto, proporciona pouca informação útil após um incêndio substancial (DEHAAN, 2007).

Por este motivo, a presença de condutor de alumínio fundido não representa, necessariamente a presença de um curto-circuito (NOON, 2001).

Deve-se notar, no entanto, que os incêndios envolvendo líquidos ou gases inflamáveis, alguns tipos de combustíveis e alguns tipos de metais combustíveis podem atingir temperaturas que são capazes de prontamente fundir o cobre. Além disso, em áreas confinadas, onde há excesso de oxigênio ou o fluxo de ar, pode fomentar as chamas como um fole de ferreiro (NOON, 2001).

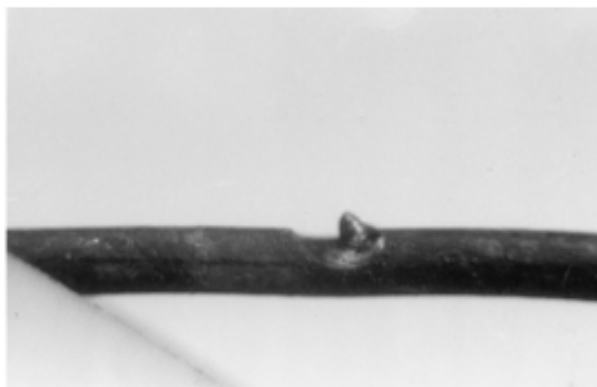
O arco elétrico formado por um curto-circuito, produz temperaturas muito elevadas e um aquecimento localizado, o qual funde tipicamente condutores elétricos nos locais onde o arco faz contacto com eles. Formando uma nítida linha de demarcação entre as porções fundidas e não fundidas do condutor. A ampliação por lupa ou microscópio pode ser necessária para detectar a demarcação entre as regiões não fundidas e fundidas (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Os resultados dos danos de um arco podem ser entalhes nos lados dos condutores, (Figura 01 e 02), perolamento de forma arredondada (Figura 03 e 04) ou de forma irregular (Figura 05) na extremidade de um condutor rompido (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Podem haver pérolas de cobre derretido e ou respingado em superfícies próximas, que não estarão presentes quando a fusão é causada por danos térmicos, sem fluxo de corrente (DEHAAN, 2007).

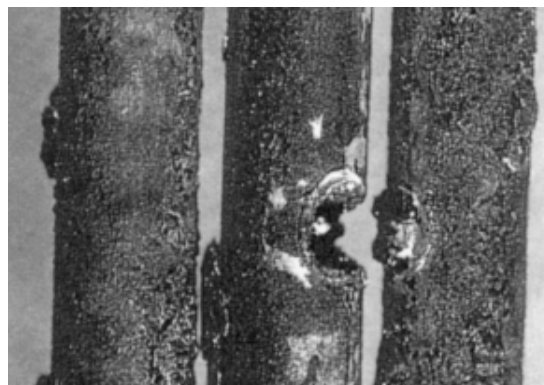
Na figura 01, um fio de cobre maciço aparece como se tivesse sido feito um entalhe com um lima redonda, o entalhe pode ou não atravessar o fio, de modo que, quando o fio é tocado, pode quebrar. Sob o microscópio, verifica-se que a superfície do entalhe está derretida (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Figura 01 - Um condutor de cobre sólido entalhado por um curto-circuito.



Fonte: National Fire Protection Association (2011, p.87)

Figura 02- Condutor entalhado por um curto-circuito.

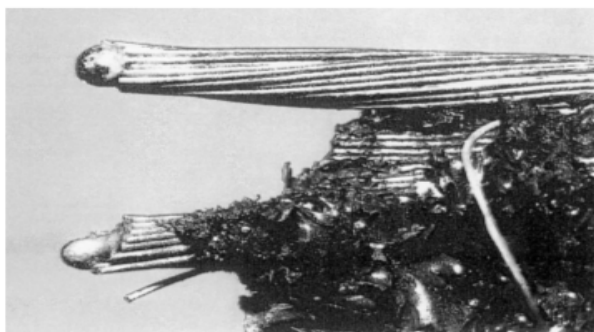


Fonte: National Fire Protection Association (2011, p.86)

As pérolas são conhecidas por sua linha de demarcação, distinta e identificável, entre pérola fundida e a não fundida adjacente ao condutor (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Na figura 03 e 04, observa-se um perolamento de forma arredondada, com extremidades fundidas e formando bolinhas em forma de pérola.

Figura 03 – Condutor de cobre fundido por curto-circuito formando uma pérola arredondada.



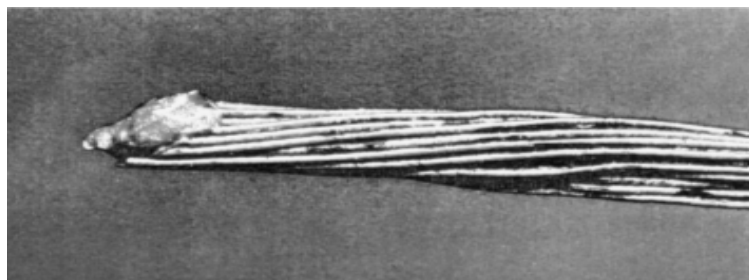
Fonte: National Fire Protection Association (2011, p.86)

Figura 04 – Condutor de cobre fundido por curto-circuito formando uma pérola arredondada.



Fonte: dos autores.

Figura 05 – Condutor de cobre fundido formando perolamento de forma irregular



Fonte: National Fire Protection Association (2011, p.87)

O perolamento também ocorre em aço. Em sistemas elétricos, o aço é frequentemente usado em diferentes componentes, como caixas elétricas e ocasionalmente como condutor. A formação de esferas de aço em uma caixa elétrica ou condutor, em associação com uma queima em profundidade no aço (fusão) é um forte indicador de curto-circuito elétrico. Além disso, como ocorre com o cobre, dificilmente um incêndio típico conseguiria fundir o aço, mesmo que o fizesse seria difícil explicar como a queima do combustível pode produzir pontos concentrados e específicos de derretimento no condutor ou na caixa elétrica (NOON, 2001).

Vale ressaltar, que uma pesquisa publicada recentemente por Roby e Mcallister (2012, p.100, tradução nossa) conclui que “[...] os fios elétricos não energizados sujeitos ao incêndio podem formar glóbulos arredondados característicos, com linhas claras de demarcação”⁵. Portanto, indicadores visuais usados para distinguir a fusão do condutor causado pelo fogo e desenergizado, dos danos induzidos eletricamente em condutores não são 100% confiáveis, apesar de possuir uma grande possibilidade de acerto. Devendo o investigador observar a dinâmica do incêndio e as temperaturas alcançadas. Por esse motivo sugere que a *NFPA 921, Guide to Fire and Explosion Investigations* (Edição 2011), especificamente o item 3.3.156, seja revisado para refletir os resultados desta pesquisa.

Na tentativa de definir quais traços de fusão estão relacionados com a causa do incêndio ou são sua consequência, assim como em que momento na linha do tempo do incêndio eles surgiram, a literatura procura definir os traços de fusão classificando-os como primário e secundário.

2.2.1.1 Traço de fusão primário e secundário

De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2010, p.264-265, grifo nosso), o conceito principal do traço de fusão primário consiste em ser “o traço de fusão produzido antes do incêndio iniciarse e que originou-o”, uma vez que:

⁵[...] that non-energized electrical wires subjected to fire can form characteristic rounded globules with clear lines of demarcation.

⁶3.3.15 Bead. A rounded globule of re-solidified metal at the end of the remains of an electrical conductor that was caused by arcing and is characterized by a sharp line of demarcation between the melted and unmelted conductor surfaces.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

[...] é produzido quando a temperatura não é tão elevada antes do momento da ocorrência do curto-circuito, mas localmente está atinge valores da ordem de 2000° a 3000° C no momento do curto-circuito. Como resultado de tal elevação térmica localizada, a superfície do material condutor em contato, funde-se dando origem, geralmente, a uma superfície **polida, esférica e concentrada**. Na maioria das situações os materiais combustíveis não estão carbonizados quando ocorre o curto-circuito e detritos ou restos de materiais não são localizados neste traço de fusão.

Tal conceito por ser traduzido pela figura 06, que demonstra um condutor de cobre, fundido por um curto-circuito e que foi causa de um incêndio real no Brasil, na cidade de Florianópolis-SC, em novembro de 2015:

Figura 06 – Condutor de cobre – Traço de fusão primário



Do mesmo modo o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2010, p. 265, grifo nosso) define o traço de fusão secundário como “o traço de fusão produzido pela combustão do material isolante sobre o condutor energizado (vivo) que veio a originar um curto-circuito” e caracteriza-se por:

[...] possuir **menor grau de polidez, maior rugosidade na superfície do traço que apresenta uma forma mais irregular**. Podem ainda ser encontrados restos de material, como a cobertura isolante, fundidos junto ao traço. Entretanto, observa-se que quando produzido logo após a deflagração do incêndio, quando a fiação de cobre não se encontra em temperatura muito elevada, o traço de fusão secundário não apresentará grandes diferenças em relação ao traço de fusão primário. Outro cuidado a ser tomado na determinação entre a natureza dos traços de fusão é que em situações onde o incêndio atinge temperaturas muito elevadas em torno do ponto de derretimento do cobre, um traço de fusão primário apresentará poucas diferenças em relação ao secundário quanto a forma e rugosidade.

Conforme observa-se na figura abaixo:

Figura 07 – Condutor de cobre – Traço de fusão secundário com corte longitudinal.



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro (2015)

Observando os conceitos de traços de fusão primários e secundários tem-se algumas linhas de raciocínio que são comumente questionadas e identificadas na literatura a respeito do tema:

a) A primeira, refere-se ao traço de fusão primário, aquele que, normalmente possui as características de uma superfície polida, esférica e concentrada e que é a causa do incêndio. Sendo neste caso, todos os demais traços secundários, mesmo que com as mesmas características físicas e que tenha surgidos antes do incêndio (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2010).

b) A segunda linha de raciocínio, defende que os traços de fusão primários são aqueles que surgiram sem a presença de fogo, ou seja, fundiram em momento anterior ao incêndio. Por isso apresentam características específicas de esfriamento, composição de oxigênio e demais gases na formação do traço de fusão, dando a ele também o aspecto de uma superfície polida, esférica e concentrada. Porém admite existir mais de um traço de fusão primário no mesmo incêndio. Tendo então relação com a causa, mas não sendo a causa em si (SEKI, 2000). Anderson (2001) também defende essa ideia se baseando na atmosfera em que cada traço foi fundido, observando suas características internas e externas.

c) E por fim, a terceira, traz a ideia de que traços de fusão com superfície polida, esférica e concentrada, podem ser gerados por um curto-circuito com ou sem a presença de fogo, indicando que aquele perolamento possui “características” de traço de fusão primário, ou “características” de traço de fusão secundário, conforme o caso, não relacionando ambos com a causa, somente sua forma.

A fim de determinar se o traço de fusão deu causa ao incêndio ou se foi resultado, Dehann (2007) diz que, tal análise, somente poderia ser realizada por equipamentos laboratoriais específicos como espectroscopia de elétrons (AES)⁷, espectroscopia de elétrons para análise química (ESCA)⁸ e espectrometria de massa de íons secundários (SIMS)⁹, mesmo assim

⁷ Auger electron spectroscopy (AES)

⁸ Electron spectroscopy for chemical analysis (ESCA)

⁹ Secondary ion mass spectrometry (SIMS)

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

oferecendo uma grande chance de erro. Anderson (2001) afirma que análise AES é eficiente, porém analisando casos reais, conseguiu determinar apenas um terço dos traços de fusão que realmente foram causa do incêndio.

No entanto, em uma pesquisa do Ph.D, Vytenis Babrauskas (2003, tradução nossa), com título: "Incêndios devido à formação de arco elétrico: Pérolas 'causa' podem ser distinguidas de pérolas 'vítima' por teste físico ou químico?"¹⁰, após analisar diversos métodos que relacionam o traço de fusão ao incêndio, indicando se o mesmo foi causa ou resultado (vítima), conclui que descrever um padrão é improvável, pois tanto o traço de fusão que deu origem, quanto a aquele que foi causado pelo incêndio, não produzem categoricamente resíduos e formas diferentes. Que existem apenas tendências, com uma grande margem de erro e por isso não são confiáveis (BABRAUSKAS, 2003).

Neste mesmo sentido, Dehann (2007, p.421, tradução nossa) se pronuncia:

Porque a maioria dos indicadores de pós-fogo são o somatório dos efeitos do fogo e ambientes de fogo são tão complexos, parece que nenhuma das técnicas metalúrgicas ou instrumentais examinadas até à data podem discriminar de forma confiável os resíduos de perolamento de cobre criado por arco como parte do processo de ignição, daqueles criados mais tarde no fogo por exposição térmica.¹¹

Para o Ph.D Donald J Hoffmann (2013, p.05, tradução nossa), "[...] estas metodologias têm-se centrado na análise química do cobre fundido e têm sido infrutíferos ou ainda carecem de maior validação."¹²

Durham (2011) classifica as fusões encontradas nos condutores como sendo: Conductor energizado que deu a origem no incêndio, conductor energizado resultado do incêndio e conductor desenergizado (este último será tratado no item 2.2.2 deste artigo).

'Conductor energizado que deu a origem no incêndio' está relacionado diretamente com a causa do incêndio, mas para chegar a essa conclusão, o investigador deve avaliar todo o contexto, padrões e informações associadas com o incidente (Ver figura 08). "Quando os componentes são a causa do incêndio, eles são muitas vezes destruídos pela energia intensa no local do incidente. [...] Pode haver um perolamento no metal. [...] No entanto, esta forma pode existir e não ser a causa."¹³(DURHAM, 2011, p.20, tradução nossa).

¹⁰ Fires due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing?

¹¹Because most post-fire indicators are the summation of the fire's effects and fire environments are so complex, it would appear that none of the metallurgical or instrumental techniques examined to date can reliably discriminate between copper arc bead residues created as part of the ignition process and those created later in the fire by thermal exposure.

¹² [...] these methodologies have focused on the chemical analysis of the fused copper and have been unsuccessful or still require further validation.

¹³When the components are the cause of the fire, they are often destroyed by the intense energy at the location of the incident. [...] There may be a corresponding bead where metal [...]. However, this form may exist and not be the cause.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Figura 08 – Condutor de cobre. Traço de fusão encontrado em incêndio real que foi causa.



Figura 09 – Traço de fusão energizado resultado do incêndio



O 'condutor energizado resultado do incêndio', não é associado a causa do incêndio e sim gerado por ele. "A indicação mais comum é uma pérola no condutor de metal com uma clara linha de demarcação"¹⁴ (DURHAM, 2011, p.20, tradução nossa), conforme figura 09.

2.2.2 Fusão do condutor pelo incêndio

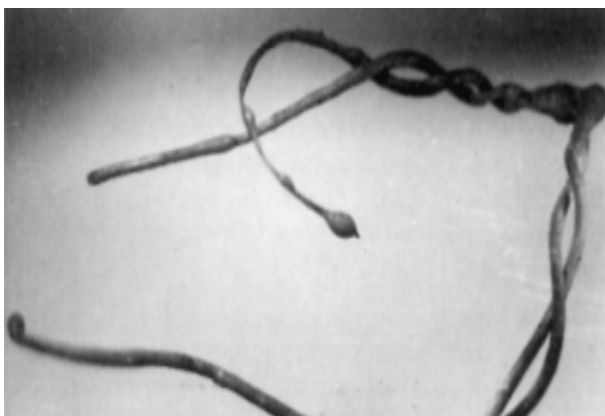
Quando exposto ao fogo ou brasas, condutores de cobre podem derreter. Em princípio, uma protuberância e distorção da sua superfície é produzida. O cobre é fundido na superfície e algumas gotas se formam. Se for seguido por fusão, áreas mais estreitas (gargalos e gotas) podem ocorrer (figura 10) . Nestas circunstâncias, a superfície do cabo tende a ser suave. As formas de cobre solidificam. Os glóbulos causados por exposição ao fogo são irregulares em forma e tamanho, são muitas vezes afiadas e pontiagudas. Não há linha que distingue as áreas atingidas e não atingidas¹⁵ (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

¹⁴ The most common indication is a bead of metal conductor with a clear line of demarcation.

¹⁵ Conforme pesquisa de Roby e Mcallister (2012), tal afirmação não é totalmente categórica, mas serve como tendência na maioria dos incêndios. Tal entendimento também é corroborado por Hoffmann, (2013, p. 15) "as the fire gets large and transitions beyond flashover, the degree of fire damage as well as the amount of heat damage to copper conductors increases and it becomes more difficult to determine if the damage to the conductor is caused by fire exposure, arcing, or liquid metal attack."

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Figura 10 - Condutores de cobre fundidos pelo fogo.



Association (2011, p.89).

Figura 11 - Fusão de condutor não energizado pela ação do fogo.



Fonte: Durham (2011, p.20)

As condições de derretimento do condutor por calor externo, são diferentes dos formados por curto-circuito elétrico na maioria dos casos, exceto em situações anormais.

Quando os fios derretem com o fogo exterior, devido à alta condutividade térmica, geralmente há apenas uma pequena diferença de temperatura entre as partes que tenham derretido e as seções não fundidas. Neste sentido, apresentará padrões distintos e podem ser usados como um indicadores para o sentido de progressão e localização de outras fontes. A formação de bolas (figura 11) podem ser semelhantes a pérolas, mas sem a demarcação clara (DURHAM, 2011).

Na figura 12, parte do condutor teve sua temperatura elevada até o ponto de fusão, porém próximo ao ponto de fusão a temperatura também se elevou, apenas poucos graus a menos, produzindo uma área de fusão deformada e pontiaguda, numa grande extensão do condutor. Por outro lado, quando os fios são submetidos ao curto-circuito, o próprio condutor está à temperatura ambiente enquanto o ponto do curto está a muitos milhares de graus, resultando uma fusão mais concentrada- Figura 13 (DEHAAN, 2007).

Figura 12 - Visão microscópica da extremidade de um fio de cobre fundido por aquecimento incêndio localizado.



Fonte: Dehaan (2007, p.418)

Figura 13 - Cobre fundido em formato de bola (perolamento) exposto a um curto circuito.



2.2.3 Curto circuito como causa de incêndio

Antes de iniciar, cabe salientar que normalmente um curto-circuito será uma consequência do incêndio. "Curto-circuitos raramente causam incêndios. Eles são eventos de curta duração que fazem dispositivos de sobrecorrente operar"¹⁶ (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2013, p.169, tradução nossa).

As centelhas provocadas pelos curto-circuitos são uma fonte de ignição ineficaz e só podem queimar combustíveis muito finos e em condições favoráveis (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Em compensação, Durham (2011) defende que dos fenômenos termoelétricos, as falhas de conexão com impedância relativamente elevada são causas muito frequente de incêndios, como desconexão parcial, sobrecarga, etc. pois resulta em calor localizado que pode facilmente ultrapassar a temperatura de ignição de combustíveis comuns, podendo inclusive gerar curto-circuitos.

Infelizmente, no entanto, historicamente a eletricidade recebeu a culpa por investigadores de incêndio quando nenhum outro método lógico de ignição podia ser determinada. Em caso de dúvida quanto à fonte de ignição, os relatórios definiam a eletricidade como o cordeiro sacrificial, observando que "uma vez que nenhuma outra fonte foi determinada, a causa provavelmente foi elétrica"¹⁷ (DEHAAN, 2007, p.413, tradução nossa).

Porém os cabos e equipamentos elétricos bem utilizados e protegidos por fusíveis e disjuntores devidamente dimensionados e que funcionem bem, normalmente não apresentam risco de incêndio. Contudo, podem ser uma fonte de ignição se próximo a eles existirem materiais facilmente combustíveis quando instalados ou utilizados de forma inadequada (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

"Se for bem projetado, instalado e mantido, equipamentos elétricos para iluminação, energia, aquecimento e outros fins são convenientes e seguros; mas, se não for instalado e mantido em conformidade com as normas bem estabelecidas, eles podem apresentar tanto incêndio quanto riscos de acidentes pessoais"¹⁸ (DEHAAN, 2007, p. 412, tradução nossa).

Segundo Dehaan (2007), quando os componentes elétricos ou fios são encontrados fundidos depois de um incêndio. Certas perguntas devem ser feitas neste momento:

- A fusão foi causada pelo fogo ou por uma falha elétrica?
- Existe alguma indicação de que falha elétrica ocorreu?
- A falha causada pelo fogo ou era o fogo causado pela falha?
- A energia do curto-circuito tem condições de inflamar o combustível naquele local?

Partindo destes princípios pode então determinar a causa. Trata-se de uma análise completa de todo o ambiente incendiado e não somente do dano elétrico ou da análise do traço de fusão encontrado.

¹⁶Short circuits rarely cause fires. They are short duration events that cause overcurrent devices to operate.

¹⁷ since no other source was determined, the cause probably was electrical.

¹⁸ If properly designed, installed, and maintained, electrical systems for lighting, power, heating, and other purposes are convenient and safe; but, if not installed and maintained in accordance with well-established standards, they may introduce both fire and personal injury hazards.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Os traços de fusão indicam que ocorreu um fenômeno termoelétrico, principalmente um curto-circuito, porém “é um erro crer que uma pérola na extremidade de um cabo indica por si só uma causa de incêndio.”¹⁹ (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011, p.91, tradução nossa).

As formas e composições químicas dos traços de fusão também não apontam por si só a causa do incêndio, uma vez que podem ter diversas formas, conforme observados por Babrauskas (2003).

Quando o curto-circuito é produzido entre cobre e aço, as centelhas de metal fundido começam a esfriar logo quando são emitidas. No entanto, se há alumínio revestido na situação, as partículas podem continuar extremamente quentes pelo ar e seguir assim e posteriormente se esfriar. Por tanto, as centelhas de alumínio podem queimar combustíveis que não são queimados com o cobre ou aço (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Cabe salientar que fusão em condutor não energizado, não pode ser uma causa de curto-circuito, mas sim de fusão posterior pelo incêndio (DURHAM, 2011).

Se parte do princípio de que a determinação da causa do fogo será definida na zona de origem. Os equipamentos elétricos como fonte de ignição devem ser estudados em pé de igualdade com outras fontes e não como o início ou fim. A presença de cabeamentos elétricos no lugar de um incêndio não indica necessariamente que foi causa do incêndio, nem mudanças no aspecto de cabos e equipamentos, que podem induzir a hipóteses falsas se não for feita com muito cuidado (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Ao considerar a possibilidade de ignição elétrica, a temperatura e a duração do calor devem ser suficientes para que se comece a pirolisar os primeiros combustíveis. Há que se avaliar o tipo de geometria do combustível, para estar seguro de que havia calor suficiente para gerar vapores combustíveis e para que a fonte de calor estivesse suficientemente quente para que se queimassem os vapores. Se não se pode determinar a razão pela qual o componente elétrico causou a ignição, tem-se que investigar outras causas. O caminho ou método de transferência de calor entre a fonte de calor e o primeiro combustível inflamado devem ser identificados (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

Normalmente um curto-circuito somente conseguirá provocar a ignição e um incêndio, quando o combustível é finamente dividido (resíduos de algodão, poeira ou serragem fina) e em contato direto com o arco ou centelha, além de contato com gases e vapores inflamáveis (DEHAAN, 2007).

Ao analisar um local com traço de fusão, cabe observar que não chegará corrente aos condutores distantes da fonte de energia no ponto em que os condutores se fundem. Os primeiros arcos surgem na parte mais afastada da fonte de alimentação, sempre em direção da carga para a fonte. Para localizar o primeiro arco é necessário observar os condutores

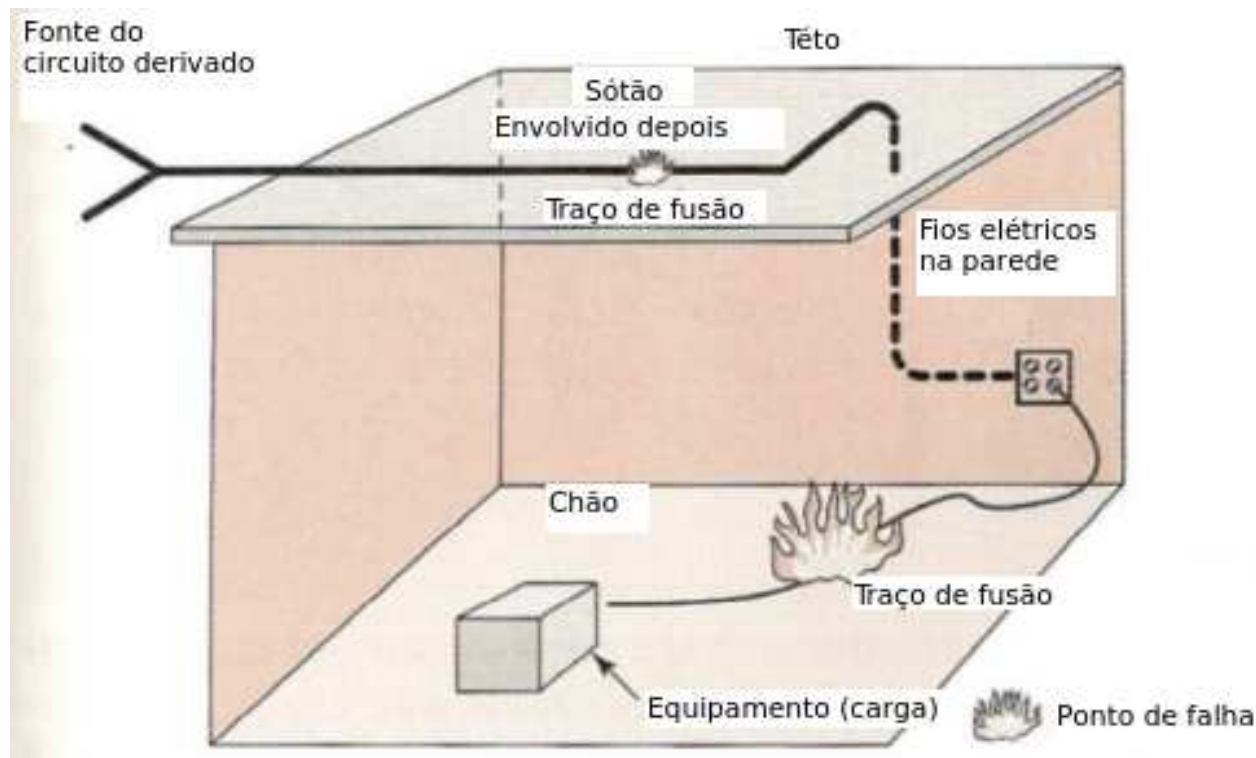
¹⁹Beaded Conductor. A bead on the end of a conductor in and of itself does not indicate the cause of the fire.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

em toda sua extensão. Isto indicará o primeiro ponto do circuito que foi afetado pelo fogo e pode ser útil para determinação da zona de origem e foco inicial. (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

A figura 14, representa um quarto de uma edificação que foi definida como zona de origem. Neste caso pode ser observado dois traços de fusão, um no chão e outro no sótão. O traço de fusão encontrado no chão ocorreu antes que o do sótão, pois se contrario fosse, não teria a possibilidade de ocorrer no chão, já que o condutor não estaria mais energizado (DEHAAN, 2007).

Figura 14 – Padrão de curto-circuito em três dimensões.



Fonte: Dehaan (2007, p.417).

As cargas localizadas na zona de origem e conectadas a uma fonte de energia sempre devem ser analisadas, pois "mesmo quando o interruptores estão desligados, um aparelho pode sofrer curto-circuito."²⁰ (NOON, 2001, p.166, tradução nossa).

Noon (2001) diz que o curto-circuito que deu a origem ao incêndio, normalmente, tem as seguintes características:

- Ocorre próximo, ou no ponto de origem do incêndio. Existem indicações do fogo ter se espalhado a partir do ponto de curto-circuito e é muitas vezes localizado na área de queima mais severa;
- O dano ao condutor, provocado pelo calor, é mais grave no interior do que no exterior (padrão de dano de dentro para fora);
- O curto parece ter agido por um tempo relativamente longo. Um amplo traço de fusão pode estar presente;

²⁰ Even when the switches are turned off, an appliance can short circuit.

- Os danos estão limitados a uma pequena área próxima ao curto-circuito (fusão), em vez de serem distribuídos por uma grande área do condutor;
- Em consideração a todas evidências, é o curto-circuito que deve ter ocorrido em primeiro, antes do fogo se iniciar;

Já aqueles que foram gerados pelo incêndio, normalmente:

- Ocorrem em locais longe do ponto de origem do incêndio. Há indicações de que o fogo se propagou para o local do curto-circuito, a partir de outros locais;
- Há indicações de que a queima não foi tão severa naquele ponto, exceto no próprio local do curto-circuito;
- O interior do condutor pode não ser tão severamente danificado como seu exterior (Padrão de dano – fora para dentro);
- Aparenta que curto-circuito ficou ativo apenas por um curto espaço de tempo. Efeito de perolamento são limitados;
- Em consideração a todas evidências, o curto-circuito pode ter ocorrido a qualquer momento durante o decurso do incêndio.

Deve notar-se que as características acima podem não se aplicar a todos em um caso específico. Por exemplo, considere a situação onde um incêndio começa em um curto-circuito no cabo de uma extensão elétrica, devido ao fogo bem próximo, ocorre mais um curto-circuito, causando outro traço de fusão. Ambos teriam ocorrido próximo ao ponto de origem do fogo e estarão localizados na área de queima mais severa, mas somente um será a causa.

Do mesmo modo, imagine que um curto-circuito provocou um incêndio que se propaga para um local com uma grande quantidade de combustíveis inflamáveis. Logo, o local onde estão armazenados os combustíveis, provavelmente será o local de queima mais severa, inclusive podendo provocar outros curto-circuitos, mas não será o foco inicial (NOON, 2001).

A figura 15, refere-se a um incêndio combatido ainda em sua fase inicial, no qual foi localizado um traço de fusão que deu origem ao incêndio (figura 16) na zona de origem do incêndio, local onde a queima foi mais intensa.

Figura 15 – Incêndio em residência – Forro de madeira como foco inicial.

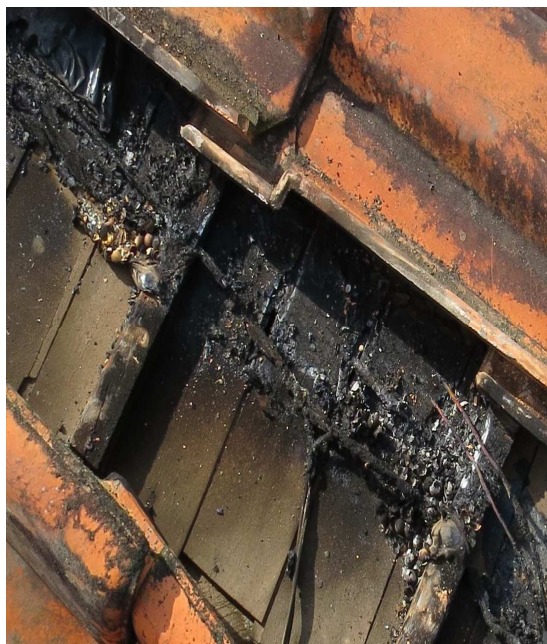
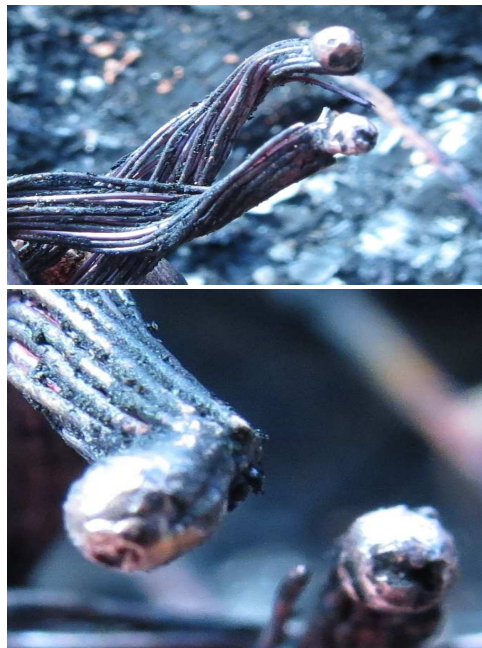


Figura 16 – Traço de fusão que deu a origem ao incêndio



Fonte: dos autores.

Na figura 17, observa-se um ventilador de teto que foi definido como foco inicial, após a realização da perícia, sendo localizado um traço de fusão que deu origem ao incêndio, no condutor junto a laje (figura 18), porém verifica-se que a área de queima mais intensa foi próximo a parede (figura 19), onde havia uma concentração maior de combustível, neste caso um guarda-roupas. Ambos os incêndios foram investigados no Brasil, cidade de Florianópolis-SC, no ano de 2015.

Figura 17 – Ventilador de teto definido como foco inicial do incêndio.



Figura 18 – Traço de fusão primário localizado no condutor do ventilador de teto.



Fonte: dos autores.

Figura 19 – Marcas na parede com maior intensidade de queima – local onde original de um guarda-roupas.



Fonte: dos autores.

Deste modo, “como todas as outras fontes de ignição, a atividade elétrica é complexa e deve ser avaliada no contexto de todos os outros

eventos, padrões, e a informação associada com o incidente.”²¹ (DURHAM, 2011, p.22, tradução nossa).

A difícil tarefa é avaliar o que ocorreu para a formação de um curto-circuito antes do incêndio e como ele foi capaz de se tornar a fonte de ignição. Lembrem-se de que não é suficiente apenas ter uma fonte de ignição, é preciso também ter combustível em um estado físico adequado em contato com a fonte por um período de tempo suficiente para ser então gerada a ignição. O investigador deve se perguntar sempre: "Eu tenho todos os elementos aqui ou estou culpando a eletricidade só porque ela é conveniente?"²² (DEHAAN, 2007, p.420, tradução nossa).

3 CONCLUSÃO

O curto-circuito como fenômeno termoelétrico, se forma pelo encurtamento do circuito através do contato entre condutores com diferença de potencial, possibilitando uma conexão elétrica com resistência tendendo a zero, com isso a corrente tende ao infinito possibilitando aquecimento pontual, com possível formação de arco e centelhas.

Normalmente este fenômeno ocorre por um curto período de tempo, insuficiente para gerar a ignição de qualquer combustível sólido, exceto com características ideais e com grande área de superfície (como poeiras, serragens, etc), além de vapores inflamáveis.

Todo curto-circuito gera necessariamente um traço de fusão, que deve ser distinguido da simples fusão causada pelo fogo, sem a presença de energia elétrica, apesar de que em incêndios com temperaturas muito elevadas, uma atenção deve ser dada, pois padrões típicos de traços de fusão por arco elétrico, podem estar presentes na fusão de condutores desenergizados. O traço de fusão, normalmente apresenta o derretimento pontual e bem delimitado nos condutores, podendo formar entalhes, pérolas arredondadas e irregulares.

Traços de fusão em cobre e aço, são significativos para investigação, uma vez que apresentam pontos de fusão superiores aos que normalmente são encontrados no incêndio. Já no alumínio, sua fusão não é tão relevante, visto que um incêndio normal vai fundir mesmo sem a presença de um curto-circuito. Cabe salientar que o alumínio fundido tem uma maior capacidade de iniciar o processo de combustão de outros materiais através de suas centelhas, o que não ocorre com o cobre e aço.

A literatura aborda conceitos de traços de fusão primário e secundário, que conforme visto, trazem divergências em suas interpretações. Porém, livremente do conceito adotado para o traço de fusão, o que realmente deve ser levado em consideração é se o traço de fusão encontrado, tem relação com a zona de origem e foco inicial e com todo o complexo contexto do incêndio, como marcas de combustão e sentido de propagação das chamas.

O fato de existir uma fonte de ignição não é o suficiente, mas sim, é preciso também ter combustível em um estado físico adequado e em contato com essa fonte, por um período de tempo suficiente para gerar a ignição.

²¹Like all other ignitions sources, the electrical activity is complex and must be evaluated in the context of all the other events, patterns, and information associated with the incident.

²²Do I have all the elements here or am I blaming electricity just because it is handy?

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Apesar de existirem tendências, relacionando a forma e aparência do traço de fusão primário e secundário com a causa efetiva do incêndio, tal conceito não pode ser usado como regra, mas simplesmente para auxiliar o investigador na correlação de todos os elementos obtidos durante a investigação. Uma vez que, independentemente da forma do traço de fusão formado, o curto-circuito pode causar um incêndio dentro de determinadas condições, que devem ser questionadas e identificadas pelo investigador.

Logo, a simples localização e análise de um traço de fusão não implica necessariamente que o incêndio foi originado por causa de um fenômeno termoelétrico, muito menos por um curto-circuito. Uma vez que vários dos fenômenos termoelétricos mencionados, possuem a capacidade de evoluir e então resultar em um curto-circuito.

Observa-se que os objetivos do artigo foram atingidos, uma vez foi possível levantar a dinâmica dos curto-circuitos em instalações elétricas de edificações, identificando os mitos e verdades relacionados a atividade de investigação de incêndio.

Apesar da literatura e estudos sobre o tema dentro do país ser relativamente escassa, trazendo dificuldades ao estudo, existe um delineamento claro com a desmistificação de mitos e a real relação do fenômeno estudado com incêndios, extremamente útil ao investigador.

Porém, faz-se necessário um estudo futuro mais aprofundado sobre o conceito de traços de fusão primários e secundários, objetivando definir qual é o mais adequado para o uso em investigação de incêndio. Claro que trata-se apenas de um impasse conceitual que não prejudica em nada nos procedimentos de investigação de incêndios, muito menos a descoberta de sua causa.

Diante do contexto, observa-se que a hipótese levantada é verdadeira, uma vez que o incêndio em uma edificação, geralmente resulta em diversos curto-circuitos, podendo ser localizados diversos traços de fusão em toda a instalação elétrica afetada, não sendo necessariamente a causa deste incêndio.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Robert N. **What Came First? The Arc Bead or the Fire?**. 2001. <<http://ecmweb.com/content/what-came-first-arc-bead-or-fire>>. Acesso em: 10 de nov. de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 54010**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- BABRAUSKAS, Vytenis. **Fires due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing?**. Interscience Communications Ltd., London. 2003. Disponível em: <<http://doctorfire.com/arcbeads.pdf>>. Acesso em: 06 de nov. de 2015.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Guia para investigação de incêndios e explosões**. Brasília, 2010.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO DE JANEIRO. **Incêndios Relacionados com Eletricidade**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cppt.cbmerj.rj.gov.br/documentos/AULAS/Pericia_em_Acidentes_Termoeletricos.pdf>. Acesso em: 01 de nov. de 2015.
- DEHAAN, John D. **Kirk's Fire Investigation**. Sixth edition. Pearson Education, New Jersey, 2007.
- DURHAM, Marcus O, et al. **Electrical Failure Analysis for fire & incident investigations**. [s.l.]. Theway Corp. 2011.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Electrical Aspects of Fire Investigation: EAFI-Student Manual**. [s.l.]. 2013. Disponível em: <http://nfa.usfa.dhs.gov/ax/sm/sm_r0255.pdf>. Acesso em: 05 de nov. de 2015.
- _____. **Electrical Aspects of Fire Investigations (EAFI) course**. [s.l.]. Disponível em: <http://nfa.usfa.dhs.gov/ax/pcm/pcm_r0255.pdf>. Acesso em: 15 de out. de 2015
- HOFFMANN, Donald J. **Beyond Tea Leaves—Using Arc Mapping to Pinpoint Origin and Cause of a Fire**. Detroit, 2013. Disponível em: <http://www.dri.org/dri/course-materials/2013-fire/pdfs/02_Hoffman.pdf>. Acesso em: 14 de nov. de 2015.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 921**: Guide for Fire and Explosion Investigations. Quincy, Massachusetts: NFPA. 2011.
- NOON, Randall K. **Forensic engineering investigation**. Florida: CRC Press LLC, 2001.

ROBY, Richard J.; MCALLISTER, Jamie. **Forensic Investigation Techniques for Inspecting Electrical Conductors Involved in Fire**. Combustion Science & Engineering, Inc., Columbia. 2012. Disponível em: <<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/239052.pdf>> Acesso em: 10 de nov. de 2015.

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

SEKI, T. et al. **Determination between Primary and Secondary Molten Marks on Electric Wires**. National Institute of Testing and Evaluation, Kiryu, Gunma, Japan. 2000.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **E-Física**: Ensino de física on-line. 2007. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/termo/intro/>> . Acesso em: 01 de nov. de 2015.