



## **ESTUDO DAS PARTICULARIDADES DOS INDICADORES DE QUEIMA PARA PERÍCIAS EM INCÊNDIO FLORESTAL**

### **Study of the Particularities of Burn Indicators for Investigation in Wildfires**

**Yuji Ezaki**

Cadete Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão, graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2015). E-mail: ezaki@cbm.sc.gov.br

**João Rudini Sturm**

1o Tenente Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão, graduado em Física pelas Faculdades Integradas de Palmas – FACIPAL (2003), especialista em Matemática e Física pela Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Paranavaí – FAFIPA (2006) e Oficial pelo Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina – CBMSC (2014). E-mail: rudini@cbm.sc.gov.br

#### **RESUMO**

Este artigo estuda as particularidades inerentes a utilização dos indicadores de queima para perícias em incêndio florestal. Trata inicialmente dos conceitos básicos relacionados aos indicadores de queima utilizados no processo pericial mundo afora, abordando aspectos que refletem principalmente a confiabilidade destes indicadores de queima, sendo a partir de manuais, literaturas e artigos na área, sendo por pesquisas experimentais realizadas. De modo a confrontar os resultados encontrados pela literatura e pelos experimentos realizados, o presente estudo visou identificar particularidades através de queimas simuladas. Como resultados do trabalho, obteve-se resultados esperados para alguns dos indicadores de queima. No entanto, para outros indicadores os resultados divergiram da literatura. Tais resultados divergentes podem ser explicados pela dificuldade de retratar as simulações fielmente à situações encontradas em cenários reais, bem como de controle de variáveis como a intensidade da queima e da ventilação utilizada no processo.

**Palavras-chave:** Incêndio Florestal. Indicadores de Queima. Perícia de Incêndio.

#### **ABSTRACT**

This article studies the particularities inherent to the use of burn indicators for forest fire investigation. It initially deals with the basic concepts related to the burn indicators used in the investigation process worldwide, addressing aspects that mainly reflect the reliability of these burn indicators, starting from manuals, literature and articles in the area, and through experimental researches carried out. In order to compare the results found in the literature and the experiments carried out, the present study aimed to identify particularities through simulated fires. As a result of the work, expected results were obtained for some of the burn indicators. However, for other indicators, the results diverged from the literature. Such divergence results can be explained by the difficulty of portraying the simulations faithfully to situations found in real scenarios, as well as controlling variables such as the intensity of the burn and the ventilation used in the process.

**Keywords:** Wildfires. Burn Indicators. Fire investigation.



## 1 INTRODUÇÃO

A atividade pericial no CBMSC vem evoluindo ao longo dos últimos anos, principalmente no que se refere à perícia de incêndio em edificações. Muito dessa evolução se deu pelo emprego de uma metodologia para investigação de incêndios aliada a diversos estudos que foram realizados na área de incêndios estruturais. Tais ações proporcionaram aos peritos formados e em formação, um maior conhecimento e domínio de mecanismos de surgimento e propagação dos incêndios, principalmente no que tange a análise das marcas de combustão que são indicadores de como os incêndios se desenvolvem ao longo do tempo.

Diferentemente dos incêndios em edificações, os incêndios florestais possuem mecanismos de propagação diferenciados, uma vez que fatores como vento, topografia, umidade dos combustíveis, entre outros, interferem diretamente. Assim, apenas a análise das marcas de combustão, deixadas pelo fogo nos materiais combustíveis, podem não identificar fielmente, nem fornecer insumos necessários para avaliar a propagação do incêndio. Nessa toada, existem estudos acerca de indicadores de queima que, juntamente com as marcas de combustão nos materiais combustíveis, ajudam a entender a dinâmica de desenvolvimento dos incêndios florestais. Tais indicadores de queima já são empregados por diversos peritos mundo afora, conforme pode-se observar em literaturas estrangeiras tais como o *Guide to Wildland Fire Origin and Cause Determination* (2016) do *National Wildfire Coordinating Group*, o *European Glossary for Wildfire and Forest Fires* (2012) e até mesmo em instituições bombeiris brasileiras como o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2018) e do Estado de Goiás (2017).

Muito embora o Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina utilize indicadores de queima em seus processos periciais de incêndio florestal, deve-se buscar um maior conhecimento acerca desses indicadores, principalmente no que tange à confiabilidade destes. Isto vai de encontro ao estudo realizado por Simeoni et. al (2017) que realizaram um experimento visando verificar a confiabilidade dos indicadores de queima através de uma queima simulada. Assim, é de extrema importância que seja realizada uma pesquisa para que seja feito um levantamento dos indicadores de queima preconizados pelas diversas literaturas e sejam conduzidos experimentos de modo a verificar as particularidades de tais indicadores de queima como mecanismos facilitadores de interpretação da propagação de um incêndio florestal.

Nesse sentido, o objetivo do presente artigo científico é identificar as particularidades dos indicadores de queima utilizados em perícias de incêndio florestal.



## **2 INDICADORES DE QUEIMA PARA A PRÁTICA PERICIAL DE INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL**

### **2.1 MÉTODO DE COLETA DE DADOS**

Para a presente pesquisa, utilizou-se da metodologia de pesquisa proposta por Lakatos e Marconi (2003). Desta forma, este trabalho se classifica quanto à lógica de pesquisa, em dedutiva e, quanto à abordagem do problema, em qualitativa. Quanto à natureza, pode-se classificar a pesquisa deste trabalho como aplicada, e em relação aos objetivos, em exploratória e descritiva.

No que tange aos procedimentos técnicos foram adotados a pesquisa bibliográfica a qual foi feita a partir do levantamento de artigos e manuais que discorreram acerca dos indicadores de queima, permitindo ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Foi dada ênfase na abordagem das seguintes literaturas: *Guide to Wildland Fire Origin and Cause Determination* (2016) do *National Wildfire Coordinating Group*, *European Glossary for Wildfire and Forest Fires* (2012), Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2018) e do Estado de Goiás (2017) e o estudo realizado por Simeoni et. al (2017). Como método de extração dos dados, foi adotada a observação indireta para coleta de informações acerca dos indicadores de queima e informações específicas.

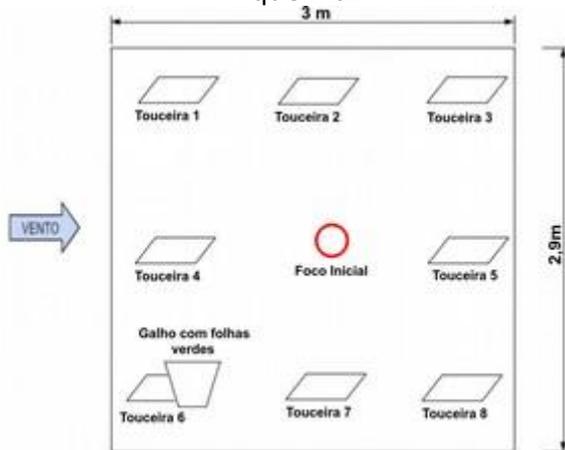
Também foi utilizada a pesquisa experimental, no qual foram analisados os resultados dos experimentos realizados em um simulador de queima de modo a corroborar com o levantado na pesquisa bibliográfica. Para isto, utilizou-se um simulador de queima, com área total de 8,70 m<sup>2</sup> (2,90 m de largura por 3,00 m de comprimento), bem como fardos de feno de aproximadamente 10kg para cada ensaio (a aproximação do peso se refere a variação de umidade presente em cada um dos fardos de feno, alterando levemente o peso das amostras), que serviram de material combustível. Também empregou-se o uso de um ventilador de pressão positiva a combustão a uma distância de 11,75 m do simulador de queima, de modo a simular a ação do vento em um incêndio florestal. Ressalta-se que foram feitas 3 queimas, partindo-se do centro para as extremidades de modo a poder se avaliar a influência do vento nos indicadores.

Além disso, para verificar a confiabilidade dos indicadores de queima, utilizou-se de touceiras de capim seco, galhos de arbustos com folhas verdes, troncos de árvore de diferentes dimensões, garrafas de vidro, latas de alumínio e cerca de metal. Esses materiais foram utilizados nas 3 queimas simuladas da seguinte forma: 1<sup>a</sup> queima – touceiras de capim seco e galhos de arbustos com folhas verdes para análise dos indicadores de congelamento de galhos e talos de gramíneas; 2<sup>a</sup> queima – troncos de árvore de diferentes dimensões para análise de ângulo de carbonização e combustíveis protegidos; 3<sup>a</sup> queima – galhos de arbustos com folhas verdes, garrafas de vidro e latas de alumínio para análise de grau de queima, congelamento de galhos, depósito de fuligem e manchas de carbonização. O posicionamento dos materiais para análise dos indicadores de queima se encontram na Figura 1 a Figura 3.



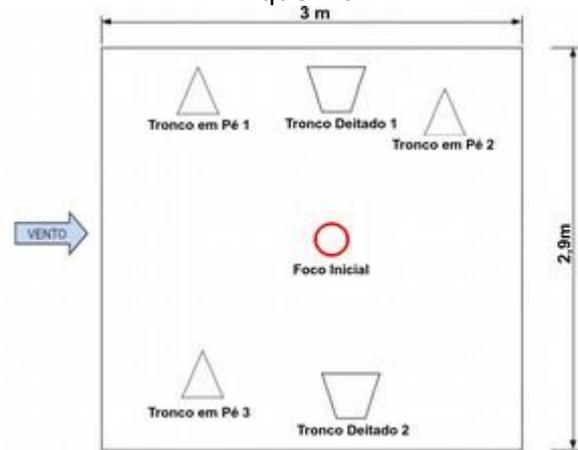
A partir dos resultados obtidos foram feitas análises acerca dos resultados obtidos durante os experimentos, de modo a verificar as particularidades dos indicadores para facilitar sua utilização nos processos periciais do CBMSC.

Figura 1 – Posição dos materiais na 1ª queima.



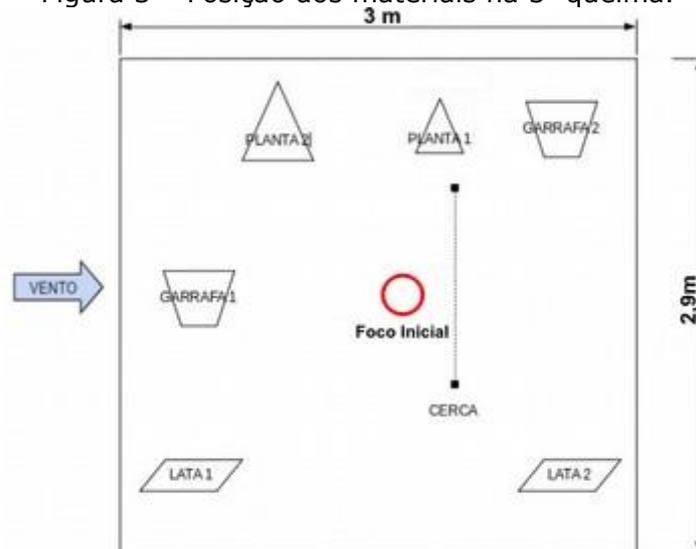
Fonte: Do autor.

Figura 2 – Posição dos materiais na 2ª queima.



Fonte: Do autor.

Figura 3 – Posição dos materiais na 3ª queima.



Fonte: Do autor.

## 2.2 PARTICULARIDADES DOS INDICADORES DE QUEIMA

Segundo o *European Glossary for Wildfire and Forest Fires* (2012) os indicadores de queima podem ser divididos em duas sub-categorias:

- Macro indicadores → tratam-se de pistas, marcas ou padrões em larga escala deixados em combustíveis parcialmente queimados e objetos não combustíveis que são facilmente visíveis à distância. São geralmente associados a áreas de queima de maior intensidade, onde houve um avanço da cabeça do fogo. Conforme Simeoni et. al. (2017), estes são os



mais indicados para áreas de queimas com grande intensidade, mesmo após períodos de chuva que possam impactar a área.

- Micro indicadores → tratam-se de pequenas pistas, marcas ou padrões individuais deixados em combustíveis parcialmente queimados e objetos não combustíveis que geralmente não são facilmente visíveis, principalmente à distância. Eles geralmente se tornam menos visíveis quanto mais você se aproxima da origem do fogo.

Dentre os macro e micro indicadores, existem diversos indicadores de queima, os quais serão tratados a seguir.

### **2.2.1 Carbonização Profunda**

Esse indicador é bastante visível em galhos, troncos e produtos acabados de madeira, uma vez que tais materiais exibem uma aparência fissurada enegrecida e brilhante ou escamada, fácil de ser verificada após um incêndio (IBAMA, 2011; CBMDF, 2018). Os materiais de madeira acabam perdendo massa e encolhem à medida que queimam, formando uma superfície escamada, indicando que essas estiveram expostas por um período prolongado às chamas, indicando a direção de propagação do fogo.

Diferentemente da doutrina adotada pelas instituições brasileiras, deve-se dar destaque que, atualmente, este indicador não é utilizado pela doutrina do NWCG desde o ano da última atualização do guia pericial em 2016.

### **2.2.2 Ângulo de Carbonização**

Segundo o manual do IBAMA (2011) e o NWCG (2016), trata-se de um indicador de queima que é geralmente confiável, especialmente para avaliar o sentido de propagação das chamas, indicando a direção do fogo e do vento na cabeça do incêndio. A altura do padrão de carvão acima do solo é uma pista da intensidade do fogo. Conforme o NWCG (2005), a confiabilidade deste indicador é geralmente maior em amostras individuais em configurações de dossel aberto.

Todavia, deve-se ter em mente as possíveis exceções que poderão ser encontradas: em áreas de superfícies planas, no qual os materiais possuam diâmetros reduzidos e baixas alturas, pode não ser possível identificar a direção das chamas; queimas prévias na região (principalmente em áreas de queimas corriqueiras); árvores coníferas que apresentam uma casca fina e madeiras duras (que geralmente apresentam superfícies enegrecidas por todos os lados); acúmulo de combustível em ladeiras quando o fogo avança ladeira abaixo, de modo a influenciar no padrão de queima nos troncos. (NWCG, 2016)

### **2.2.3 Grau de Queima**

Trata-se de um indicador que deve ser analisado de maneira macro para que possa ser identificado. Segundo NFPA (2004), IBAMA (2011) e CBMGO (2017) as marcas de combustão nos materiais são crescentes a partir da origem do incêndio, de modo que se tenha poucos danos na zona de origem e maiores danos em áreas mais distantes à medida que o fogo ganha intensidade.



Ainda, de maneira geral, “o grau de danos indicará o sentido da propagação e o comportamento do incêndio, mas não a localização da origem do incêndio”. (IBAMA, 2011)

#### **2.2.4 Carbonização em Forma de Cava**

Conforme indicado pelo CBMDF (2018) e NWCG (2016), trata-se de um indicador que é mais confiável em áreas associadas a cabeça do incêndio, não sendo usualmente associado às áreas atingidas pela cauda do incêndio. Em combustíveis de grande diâmetro, a direção da carbonização em forma de cava pode ser inconsistente com a direção de propagação do incêndio devido ao tempo de exposição ao fogo e possível alteração da direção do vento. Já com relação a combustíveis de pequeno diâmetro, estes podem não ser confiáveis quando existir a incidência de ventos fortes e irregulares.

Conforme constatado no estudo de Simeoni et. al. (2017), a carbonização em forma de cava foi mais notória em galhos voltados para a frente de incêndio e menos na direção oposta. Isso é consistente com o fato de que os galhos estavam mais expostos ao calor da frente do fogo quando enfrentavam o fogo que se aproximava.

#### **2.2.5 Combustíveis Protegidos**

De acordo com o IBAMA (2011) e o NWCG (2016), os combustíveis protegidos possuem um bom grau de confiança, uma vez que apresentam com precisão a direção do fogo, sendo mais confiáveis em incêndios de intensidade baixa a moderada.

Com relação a propagação do incêndio, ao se analisar a cabeça ou a cauda, existem algumas particularidades específicas a cada uma delas. Os indicadores de queima na cabeça do incêndio são mais claros em objetos maiores, uma vez que em objetos menores pode ser difícil discernir, devido a inteira combustão destes objetos (NFPA, 2004; NWCG, 2016).

Já na cauda do incêndio, os indicadores de proteção geralmente estarão associados aos combustíveis e objetos mais protegidos e menores, devido à menor intensidade de fogo nessas áreas.

Ainda, podemos citar, conforme o manual de perícia do IBAMA (2011), que geralmente o objeto que fornece a proteção apresentará uma queima homogênea com cinzas claras no local de exposição direta às chamas e uma queima heterogênea com cinzas mais escuras no lado oposto às chamas.

Simeoni et. al. (2017) relata que a proteção como um macro indicador foi muito difícil de observar em áreas de grande intensidade dos incêndios porque ocorreu uma grande quantidade de queima da frente após o incêndio, devido à combinação de vento e ar sugados para a frente de incêndio. Em alguns locais, os danos causados pelo fogo eram inconsistentes com a direção da propagação do fogo.



### **2.2.6 Depósito e Coloração de Cinzas**

A literatura relata duas situações acerca dos depósitos de cinzas, tratando das questões de exposição dos materiais às chamas, de modo que seja gerado cinzas nos materiais combustíveis, e o depósito sobre outros materiais e sobre o chão, provenientes dos materiais comburidos.

É importante frisar que segundo o *European Glossary for Wildfire and Forest Fires* (2012), os indicadores de depósito de cinzas podem se degradar e perder a confiabilidade rapidamente quando expostos ao vento e à umidade. Isto foi corroborado pelo estudo de Simeoni et. al. (2017) no qual foi constatado que as cinzas geradas pelo incêndio foram totalmente lavadas após a chuva que ocorreu algumas horas após o incêndio.

Com relação à exposição dos materiais às chamas, trata-se de um indicador geralmente confiável, no qual as coníferas de casca fina e madeiras duras podem mostrar mais cinzas brancas no lado protegido, principalmente durante ventos fortes. Geralmente está associado a períodos de queimas prolongados nas áreas. (NWCG, 2016).

Segundo o NWCG (2016) é importante destacar que nas áreas da cauda do incêndio serão encontrados, geralmente, menos cinzas provenientes da exposição, ao se comparar com as áreas dos flancos e cabeça do incêndio. Ainda, de acordo com o CBMGO (2017) “as características dos combustíveis também têm influência na cor das cinzas, independentemente da posição no incêndio”. Isto porque a relação superfície/volume é um fator influenciador, na cor das cinzas, uma vez que pode facilitar a aeração na hora da queima do material, gerando uma queima completa ou não.

Por fim, com relação a deposição de cinzas sobre os materiais, o NWCG (2016) indica que pode se tratar de um indicador confiável nas áreas da cabeça do incêndio e em seus flancos. Todavia essa confiabilidade ou a presença das cinzas decresce diretamente com o tempo. Nas áreas da cabeça do incêndio, o vento soprará as cinzas fazendo com que o depósito destas sobre os materiais seja similar, considerando-se uma área abrangente, podendo assim serem identificadas áreas com padrões similares. (NWCG, 2016)

### **2.2.7 Depósito de Fuligem e Manchas em Objetos não Combustíveis**

De acordo com o que preconiza o IBAMA (2011) e o CBMGO (2017) “a fuligem é encontrada principalmente em arames de cercas, pedras, cupinzeiros, paredes, garrafas e outros materiais cujas superfícies se encontram diretamente opostas ao sentido de propagação do incêndio.”

Tratam-se de indicadores que são geralmente confiáveis, com exceções tais como o acúmulo de detritos que geram grandes volumes de fuligem que podem fazer com que a deposição seja homogênea em todos os lados e também o reposicionamento de objetos leves pelo vento, de modo a dificultar a interpretação das manchas de fuligem. (NWCG, 2016)

Contudo, segundo o estudo de Simeoni et. al. (2017), a maioria dos itens que apresentaram algum tipo de mancha de fuligem tiveram camadas tão finas que não foi possível indicar a direção das chamas. Além do mais, itens de



grandes dimensões usualmente apresentaram mais manchas de carbonização do que manchas de fuligem propriamente dita.

### **2.2.8 Talos de Gramíneas**

De acordo com a literatura, o indicador de talos de gramíneas é geralmente muito confiável, sendo destacadas as áreas da cabeça e da cauda do incêndio (NWCG 2016; CBMGO, 2017). Todavia, deve-se estar atento principalmente a associações com ventos fortes, declives acentuados e alta intensidade do fogo que poderão fazer com que todos os caules das gramíneas sejam consumidos.

Deve-se estar atento também para a diferenciação de padrões entre a área de progressão do incêndio e a área da cauda do incêndio. Conforme o NWCG (2016), nas áreas de progressão do incêndio serão encontrados uma falta de talos, talos e aglomerados queimados na/perto da base, ângulo de queima mais íngreme que a inclinação nos aglomerados e caules individuais mais afiados ou pontiagudos no lado não exposto. (NWCG, 2016; CMBGO, 2017)

Nas áreas da cauda do incêndio serão visualizados as hastes e os talos de gramíneas geralmente apontando para o local de onde o fogo se aproximou, bem como pelo grau de consumo do material em alguns caules individuais das gramíneas (CBMDF, 2018). É possível citar também, que em incêndios de maior intensidade, os talos poderão ser totalmente consumidos nas zonas de cauda do incêndio, de modo que restarão apenas as hastes que apontarão para o local de origem das chamas. Isto porque o fogo enfraquece o lado exposto e a haste cai na direção em que o fogo veio (NFPA, 2004; CBMGO, 2017).

Por fim, poderão ser observados 3 tipos de padrões gerados pelos talos de gramíneas, conforme o *European Glossary for Wildfire and Forest Fires* (2012): padrão circular, padrão em V ou U, e um padrão linear, sendo este último dificilmente encontrado. O padrão circular resultará quando os talos de gramíneas apontarem para o centro do local de ignição inicial. Este padrão ocorre quando um fogo de baixa intensidade se propaga lentamente e radialmente em todas as direções. Já o padrão em V ou em U ocorrerá quando o fogo for influenciado pelo vento ou pela declividade logo após o início da queima.

### **2.2.9 Padrão em V e em U**

O NWCG (2016) destaca que apesar de ser um indicador que pode ser muito confiável, devem ser levados sempre em consideração as ações táticas de supressão do fogo e o comportamento do fogo, que podem alterar significativamente o padrão inicial do incêndio (V ou U). Ainda, deve-se ter em mente que materiais rolantes, mudanças de vento, alterações no tipo de combustível, incêndios, barreiras artificiais ou naturais são algumas influências que podem afetar a confiabilidade de um indicador de padrão V ou U.

### **2.2.10 Deslocamento**

O deslocamento geralmente aparece no lado mais exposto de uma rocha as chamas e, portanto, pode ser usado para interpretar a direção da propagação do fogo. (European Glossary for Wildfire and Forest Fires, 2012)



De acordo com o NWCG (2016), trata-se de um indicador confiável para as áreas do sentido de propagação das chamas da cabeça do incêndio, não sendo comumente encontrando o deslocamento em áreas da cauda do incêndio pelo fato de não possuir calor suficiente para que seja gerado o indicador.

É importante destacar algumas possíveis exceções que poderão afetar a confiabilidade deste indicador, tais como: áreas com chamas de alta intensidade ou de longa duração, poderão fazer com que haja a presença do deslocamento em vários lados da rocha; umidade constante no corpo da rocha poderá influenciar na formação do deslocamento; fissuras pré-existentes também podem fornecer indicadores não confiáveis do padrão de incêndio por deslocamento, de modo a influenciar na confiabilidade do indicador. (NWCG, 2016).

### **2.2.11 Congelamento de Galhos**

De acordo com o CBMGO (2017), podemos destacar o seguinte em relação ao congelamento de galhos:

A convecção e radiação transmitem calor às folhas e aos galhos finos causando o amolecimento dos tecidos vegetais, submetendo-os à flexão induzida pelo vento. Após a passagem da frente do incêndio, ainda sob ininterrupta atuação do vento, galhos e folhas perdem o calor transmitido pela convecção, esfriando se, tornam-se rijos mantendo-se curvados para o sentido que o vento sopra, que é o sentido de progressão do incêndio.

Com relação a sua confiabilidade, pode-se dizer que é um indicador confiável para destacar a direção do vento. Como indicador da direção do fogo, está geralmente associado às áreas de progressão das chamas, principalmente na cabeça do incêndio. (European Glossary for Wildfire and Forest Fires, 2012; NWCG, 2016).

Tal situação foi corroborada no estudo de Simeoni et. al. (2017) no qual o congelamento das folhas das copas das árvores deram indicadores consistentes da direção de propagação das chamas. As copas foram encontradas geralmente descoloridas, o que mostrava que os gases quentes da pluma de fogo amoleceram os pequenos galhos que se enrijeceram novamente na direção do fluxo de ar ao esfriar.

Todavia, os autores ressaltam que apesar do NWCG (2016) mencionar que o congelamento de galhos geralmente indica a direção do vento, deve-se ter em mente que isto pode ocorrer também pelo arrastamento gerado pelo próprio incêndio. (SIMEONI et al., 2017)

### **2.2.12 Curvamento de Folhas**

Trata-se de um indicador no qual as folhas verdes e vegetação suculenta se dobram e se curvam para dentro em direção à fonte de calor. A exposição ao calor faz com que as folhas sequem e encolham na superfície exposta ao calor. O encolhimento faz com que as bordas se enrolem em direção à fonte do calor,



dobrando na direção em que o fogo está vindo. (NWCG, 2016; SIMEONI et. al., 2017)

A confiabilidade desse indicador está associada a incêndios de baixa intensidade, principalmente em áreas localizadas na cauda do incêndio e de lenta progressão (European Glossary for Wildfire and Forest Fires, 2012; NWCG, 2016).

Destaca-se ainda que folhas grossas com veia central forte podem não se enrolar ou se curvar na direção da veia (NWCG, 2016). Isto foi constatado no estudo de Simeoni et al (2017) no qual o espécime de arbusto encontrado na área de estudo possuía uma cutícula muito espessa, o que torna menos provável que a ondulação pelo calor da frente de incêndio aconteça na direção do fogo.

### 2.3 RESULTADOS DAS QUEIMAS SIMULADAS

Durante as queimas simuladas foram testados os seguintes indicadores de queima: combustíveis protegidos, depósito de fuligem e manchas de carbonização, grau de queima, congelamento dos galhos, talos de gramíneas e ângulo de carbonização.

Para os combustíveis protegidos, percebeu-se que o combustível que estava sob ela ficou protegido, sendo que não houve queima do material que ficou por baixo (como pode ser observado na Figura 1). Esperava-se que fosse exibida uma linha de combustão limpa no lado exposto e no lado protegido aparecessem linhas irregulares e desiguais. Esse fato não foi observado, sendo que uma das hipóteses é que a garrafa não teve um tamanho suficiente para que ficasse bem nítida esta característica.

Com relação ao indicador de depósito de fuligem e manchas de carbonização em objetos não combustíveis, durante a queima, devido à ação do vento, as chamas permaneceram, a maior parte do tempo, de forma lateralizada sobre a garrafa de vidro. Na Figura 2 (imagem a esquerda), a face lateral mostrada estava “protegida do vento” (vento da esquerda para direita) e, como as chamas estavam inclinadas para o lado direito, essa lateral não foi atingida pelo fogo. A face que era atingida pelo vento está apresentada na Figura 2 na imagem a direita. Devido à inclinação das chamas, essa lateral foi atingida diretamente pelo calor do fogo. Esses indicadores não definem a propagação das chamas, apenas representam a direção do vento.

Figura 1 - Indicadores de queima na Garrafa 1





Ainda, com relação a utilização de latas de alumínio para análise do depósito de fuligem e manchas de carbonização em objetos não combustíveis, esperava-se encontrar as faces expostas ao fogo com mais fuligem depositadas e as faces protegidas com menos fuligem. Foi possível observar que os indicadores de queima mais escuros nas latas não representam a deposição de fuligem no objeto. Estas marcas representam a queima da tinta. Por essa razão, entende-se que as partes que estão mais escuras receberam uma incidência maior de calor. O resultado obtido não foi conclusivo para indicar a direção das chamas, pois apresentou comportamento diferente do esperado pela teoria (Figura 3).

Já tratando do depósito de fuligem, foi utilizado uma cerca posta no experimento (Figura 4), de modo que pode-se verificar a deposição de fuligem nos fios da cerca voltados para a origem. Utilizou-se uma máscara branca para evidenciar tais depósitos. Verificou-se que a marca realizada na face exposta a origem do fogo ficou mais escura, evidenciando maior depósito de fuligem. Tal fato corrobora com a teoria, a qual menciona que haverá maior acúmulo de fuligem na face do arame voltada a origem do fogo.

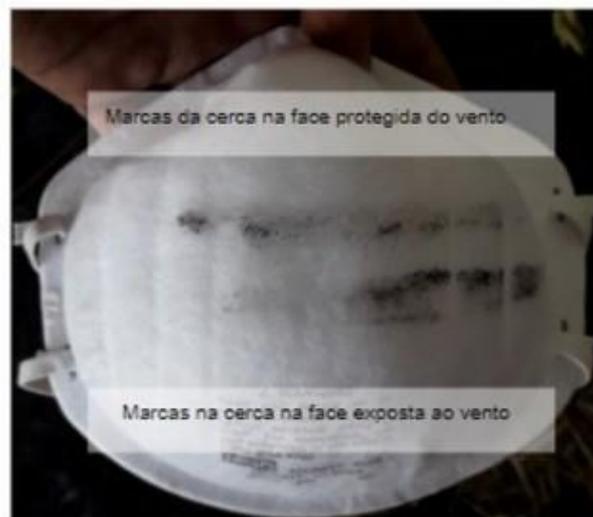
Figura 2 – Manchas de carbonização na garrafa de vidro



Figura 3 – Deposição de fuligem e manchas de carbonização nas latas de alumínio



Figura 4 – Deposição de fuligem na cerca a partir do contato de uma máscara com tecido





Com relação ao grau de queima e congelamento dos galhos a Figura 5 ilustra bem o resultado do experimento. Foram dispostos quatro galhos de modo que se pode verificar o efeito do grau de queima. Pode-se perceber claramente o aumento do grau de carbonização da direita para a esquerda, com um maior tempo de residência das chamas no galho mais a esquerda, conforme o aumento das chamas e também do tempo de queima prolongada, devido a atuação das chamas contra o vento. É possível verificar também o efeito do congelamento dos galhos, indicando a direção do vento, da esquerda para a direita. Em uma segunda queima simulada, o congelamento dos galhos se apresentou de forma muito sutil na direção do vento, quase não podendo ser visualizado. Não pôde ser visualizada de maneira ideal a direção do vento, como era esperado. (Figura 09)

Figura 5 – Grau de queima e congelamento dos galhos



Com relação a análise do indicador nos talos de gramíneas, as touceiras de capim dispostas para simular tal indicador não demonstraram padrões satisfatórios, tendo em vista que, ou queimaram por completo ou não demonstraram um padrão de queima esperado em relação a influência do vento (ambos os lados - contra e a favor do vento - apresentaram padrões de queima iguais) (Figura 6 e Figura 7). A única touceira que apresentou um resultado próximo do esperado foi a que ficou sob o galho de arbusto, a qual apresentou um ligeiro curvamento dos talos na direção do vento, em virtude do enfraquecimento dos mesmos pelo fogo (Figura 8 e Figura 9). Tais resultados podem ser resultado de uma intensidade de queima superior à espessura e ao tamanho dos talos de gramíneas, que acabaram por serem totalmente consumidos pelas chamas.



Figura 6 - Padrão de queima na touceira de capim no lado contra o vento.



Figura 7 - Padrão de queima na touceira de capim no lado a favor do vento.



Figura 8 - Padrão de queima na touceira de capim no lado contra o vento.



Figura 9 - Padrão de queima nos galhos de arbustos com folhas verdes.



Por fim, tratando-se do ângulo de carbonização, durante o experimento foi possível observar nos troncos, os quais se encontravam com o fogo se aproximando na direção do vento, a convergência de chamas em suas geratrizes opostas à direção do vento, caracterizando o vórtice de Foucault (Figura 10 e Figura 11). Tal efeito também foi observado em um dos troncos localizados onde o incêndio se desenvolveu contra o vento embora, conforme a doutrina, a expectativa seria que apenas houvesse a queima do tronco paralela a altura da chama.

Quanto às marcas de combustão, nos troncos submetidos à ação do incêndio a favor do vento, verificou-se uma singela marca diagonal ascendente no sentido do vento, devido ao efeito de Foucault (Figura 12). Já no tronco situado na região contrária ao vento, embora tenha se verificado uma marca de combustão vertical na geratriz oposta ao vento, associa-se tal marca à exposição à radiação oriunda da queima do material voltado para esta região, tendo em vista que a análise da queima no perímetro do tronco conformou um padrão



anelar, horizontal, paralelo ao solo, característico de materiais que sofreram ação de incêndio que se desenvolve da direção oposta ao vento (Figura 13).

Figura 10 – Altura da carbonização na geratriz oposta à aproximação das chamas e oposta ao vento.



Figura 11 – Ângulo de carbonização bem sutil no tronco, característico da formação do vórtice de Foucault.



Figura 12 – Marca de combustão vertical na geratriz oposta a incidência do vento.



Figura 13 – Marca de combustão paralela baixa e rente ao solo.



### **3 CONCLUSÃO**

Neste artigo, com base nas literaturas apresentadas e dos experimentos realizados, verificou-se que os indicadores de queima podem ser de fato empregados em processos de perícias de incêndio florestal, de modo a se obter um melhor conhecimento acerca dos mecanismos de propagação do fogo, direção do fogo, inclusive do vento, para se chegar a origem do incêndio.

Durante o trabalho, levantou-se dados acerca da confiabilidade dos indicadores de queima usualmente empregados pelas corporações mundo afora



e testados em experimentos, de modo que se verificou particularidades específicas inerentes a cada tipo de indicador de queima.

Durante as queimas simuladas realizadas no presente estudo, conseguiu-se comprovar e validar a ocorrência de alguns dos indicadores de queima simulados. Tal fato corrobora para sua aplicação no processo pericial de forma a ajudar a elucidar o direcionamento das chamas e conseqüentemente a origem do incêndio. Apesar de que alguns indicadores de queima testados não terem apresentados resultados esperados, estes resultados podem estar atrelados a limitações representadas pelo simulador de queima, bem como pela dificuldade de controle da intensidade de queima e da necessidade de melhora do instrumento de ventilação de modo a se obter um maior controle. Sugere-se que, para ensaios posteriores, em vez da simulação simultânea de queima dos materiais a favor e contra o vento, sejam simuladas separadamente tais configurações, ensaiando-se exclusivamente cada cenário.

Por fim, ressalta-se que possíveis discrepâncias entre indicadores que possam impactar a sua confiabilidade poderão ocorrer no processo pericial, devendo estes indicadores sempre serem interpretados no quadro de uma análise global do incêndio. Um entendimento muito bom dos mecanismos que orientam o comportamento e a dinâmica do fogo também é obrigatório para entender padrões de incêndio mais complexos e suas incertezas subjacentes. (SIMEONI et al., 2017)

## REFERÊNCIAS

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de Perícia em Incêndios e Explosões**. Volume 1. Corpo de Bombeiros Militar. Brasília. 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Manual Operacional de Bombeiros: Perícia de Incêndio**. Corpo de Bombeiros Militar. Goiânia. 2017.

EUROPEAN FOREST FIRE NETWORKS. **European Glossary for Wildfires and Forest Fires**. 1<sup>st</sup> ed. October, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Investigação de incêndios florestais**. Brasília: Prevfogo/Ibama, 2011.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – NFPA. **NFPA 921 - Guide for Fire and Explosion Investigations**. 2004.

NATIONAL WILDFIRE COORDINATING GROUP – NWCG. **Wildfire Origin & Cause Determination Handbook**. May. 2005

NATIONAL WILDFIRE COORDINATING GROUP – NWCG. **Guide to Wildland Fire Origin and Cause Determination**. April. 2016

SIMEONI, A; OWENS, Z.C; CHRISTIANSEN, E.W; KEMAL, A.; GALLAGHER, M.; CLARK, K.L.; SKOWRONSKI, N.; MUELLER, E.V.; THOMAS, J.C.; SANTAMARIA, S.; HADDEN, R.M. **A preliminary study of wildland fire pattern indicator reliability following an experimental fire**. Journal of Fire Sciences. 2017.