

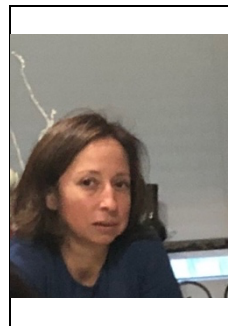
## AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO EM ZONAS INDUSTRIAIS NA INTERFACE FLORESTAL



**Deives Junior de Paula \***  
Investigador  
UC – Portugal  
IPT – Brasil



**João Paulo Correia Rodrigues**  
Professor  
UC – Portugal



**Cristina Calmeiro dos Santos**  
Professora  
IPCB – Portugal

### SUMÁRIO

Os edifícios de natureza industrial, por conta das características do processo fabril de bens de consumo e de transformação de matéria prima, possuem distintas características construtivas. A ocorrência de um incêndio nestes edifícios pode provocar a perda do patrimônio, de equipamentos, de bens manufaturados e de vidas humanas que ali trabalham, além de outras questões indiretas (p.ex. questões de ordem ambiental). Associemos ao exposto a possibilidade de eventos de incêndios externos a este tipo de edificação, que é o caso de incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, e teremos um cenário potencial capaz de promover perdas e consequências severas ao desenvolvimento de uma região e até de um país, interrompendo atividades produtivas, aumentando o desemprego e prejuízos econômicos relevantes. Em Portugal, foram afetadas pelo grande incêndio ocorrido em 2017 na região do Pedrógão Grande um total de 15 indústrias, sendo 5 severamente danificadas e 8 totalmente destruídas. Diante desta situação potencial, é fundamental conhecer, por meio de metodologias reconhecidas na avaliação do risco de incêndio, quais os riscos envolvidos e das necessidades de atendimento para mitigação e/ou controle destes riscos. Na área de segurança ao incêndio existem metodologias que podem ser adotadas para a avaliação do risco de incêndio nas edificações industriais, como os métodos de Gretener e de FRAME (Fire Risk Assessment Method for Engineering). Identifica-se que o método hierárquico pode ser aplicado na avaliação do risco de incêndio em edifícios industriais, por meio de estudos já conhecidos.

O objetivo deste artigo é de identificar os potenciais riscos relacionados com o problema do incêndio na zona de interface industrial florestal, levantar os aspetos que sejam relevantes e que possam ser ponderados na avaliação do risco de incêndio por meio de metodologias existentes utilizadas para avaliar o risco de incêndio em edifícios industriais.

**Palavras chave:** risco; incêndio; interface industrial florestal; edifícios industriais

---

\*Deives Junior de Paula – Universidade de Coimbra, Portugalemil: uc2020138722@student.uc.pt

## 1. INTRODUÇÃO

Os edifícios de natureza industrial, por conta de características do processo fabril de bens de consumo e de transformação de matéria prima, possuem distintas características construtivas e de ocupação, se tomarmos como referência os edifícios residenciais.

A ocorrência de um incêndio nestes edifícios pode provocar a perda do patrimônio, de equipamentos, de bens manufaturados e de vidas humanas que ali trabalham, além de outras questões indiretas (p.ex. questões de ordem ambiental). Com a possibilidade de ocorrer eventos externos a este tipo de edificação, que é o caso de incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, temos um cenário capaz de promover tais perdas e de consequências severas ao desenvolvimento de uma região e até de um país, interrompendo atividades produtivas, aumentando o desemprego e prejuízos relevantes.

Diante desta situação potencial é fundamental entender os fatores que podem ser considerados na avaliação do risco de incêndio na interface industrial florestal e de como estes fatores podem ser inseridos em metodologias de análise de risco de incêndio existentes.

O objetivo deste artigo é de identificar os potenciais riscos relacionados ao problema do incêndio na zona de interface industrial florestal e de levantar os aspetos relevantes que podem ser ponderados nas metodologias para avaliação do risco de incêndio nos edifícios industriais que porventura estejam localizados nestas zonas de interface.

## 2. INCÊNDIOS NAS ZONAS DE INTERFACE INDUSTRIAL FLORESTAL

A preocupação com os incêndios florestais é algo que sistematicamente tem sido objeto de estudo e de preocupação da Comunidade Europeia. No relatório *"Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018"* [1], publicado pelo Joint Research Centre da Comunidade Europeia, o total de ocorrências de incêndios florestais em 20 países pertencentes à comunidade europeia (Bulgária, Croácia, Chipre, República Checa, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Letônia, Lituânia, Holanda, Polônia, Portugal, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia) é de 53.493 incêndios florestais, totalizando 339.726 ha de área destruída por estes incêndios.

Destes países, Portugal concentra o maior número de incêndios em 2018, com 12.436 ocorrências de incêndios (23,25% do total de incêndios entre os 21 países da Comunidade Europeia), em função do grande incêndio ocorrido neste mesmo ano. Entretanto, para o mesmo período, a Itália, apesar do número de incêndios ser relativamente menor (3220 ocorrências de incêndio), a área destruída com a ação destes incêndios é de 161.987 ha (47,68 % do total de incêndios entre os 21 países da Comunidade Europeia). Ou seja, os incêndios florestais afetam de forma significativa as comunidades, os negócios e as atividades econômicas em toda a Europa.

Com relação aos incêndios florestais que afetaram zonas de interface com edifícios industriais, temos como evento mais próximo e recente o relatado por Viegas et al. [2] em 2018, a ocorrência dos danos provocados no grande incêndio florestal na região do Pedrógão Grande, atingindo 15 indústrias, e destas, 8 foram totalmente destruídas e 5 sofreram danos significativos prejudicando a sua operação.

Ficou caracterizado que 61% (636) das estruturas foram ignizadas por meio do depósito de brasas incandescentes, 21% (222) das estruturas ignizadas pelo impacto direto do fogo e 13% (133) das estruturas ignizadas pela queima de materiais nos seus arredores, totalizando 95% (991) de todas as estruturas afetadas pelo grande incêndio de Pedrógão Grande. Com relação ao ponto onde ocorreu a ignição, ficou caracterizado que 62% (644) das ignições ocorreram pelo teto, 16% (169) pelas janelas e 7% (75) pelas portas, totalizando 85% (888) dos casos. Tais elementos nos proporcionam direcionar ações no sentido de subsidiar as avaliações do risco de incêndio nesta zona de interface.



Figuras 1 e 2 – Edifícios industriais que foram afetados por incêndios florestais em 2018.

Como exemplo de ocorrências em outro continente, em maio de 2015 [3], os incêndios florestais na província de Alberta, no Canadá, se propagaram para as zonas industriais em que estavam instaladas duas grandes empresas de petróleo, a Canadian Natural e Cenovus Energy, e tais incêndios fizeram com que cada uma destas empresas deixasse de produzir 80.000 e 135.000 barris de petróleo por dia, respectivamente. Em 2016, novos incêndios florestais queimaram parte de Fort McMurray, também em Alberta, Canadá, e se propagaram na direção das refinarias ao norte da cidade, provocando queda de 40% na produção de petróleo por conta do fechamento das instalações.

O controle do incêndio florestal torna-se relevante, principalmente quando as instalações industriais apresentam um elevado risco de incêndio. Além das questões de ordem econômica, os incêndios podem resultar em consequências catastróficas ao entorno. O ocorrido em Alberta [3], afetou as instalações de processamento de petróleo e gás combustível ao incêndio florestal, colocou em exposição ao fogo os tanques de armazenamento de produtos inflamáveis, os quais foram danificados pelo calor convectivo, pela sua radiação ou pela queda de brasas incandescentes propagadas pelo vento e, desta forma, contribuíram com a propagação do incêndio para instalações adjacentes, também conhecido como efeito dominó [4].

### **3. ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO**

De acordo com Koutsomarkos et.al [5], o desenvolvimento das técnicas dedicadas a quantificação para a avaliação do risco de incêndio na área de engenharia de segurança contra incêndio apresenta três características comuns:

- Os parâmetros devem ser identificados;
- Os parâmetros devem ser ponderados e quantificados;
- O índice de risco de incêndio deve ser calculado a partir dos valores ponderados.

Os autores dos métodos começam utilizando códigos e normas já existentes que em muitos dos casos constituem a base para a identificação dos parâmetros, isso provoca a limitação e campo de aplicação do método, delimitando-o a um tipo de construção particular. Apesar desta preocupação dos autores com a construção, nem sempre todas as suposições são declaradas e os parâmetros e ponderações são devidamente validados. Observa-se que o método Delphi [6] é utilizado na tomada de decisão por modelagem matemática empregando o uso de probabilidades, visando atribuir pesos de forma sistemática, considerando uma validação de critérios por opinião de especialistas no determinado assunto.

Existem estudos de desenvolvimento de metodologias para análise de risco de incêndio em edificações utilizando o método hierárquico [7]. Observa-se que a partir dos objetivos definidos na política, que no caso é a redução do risco de incêndio na edificação, de que sejam avaliadas se as medidas de proteção contra incêndio para a edificação são (ou não) capazes de atender às estratégias para o cumprimento dos objetivos definidos inicialmente na política.

Foram desenvolvidos diferentes métodos para análise de risco que, foram considerando situações e propósitos específicos e, por esta razão, uma vez que tais métodos atingiram o seu objetivo, em muitos casos não são mais utilizados. Isso mostra que a longevidade do método de análise de risco pode estar limitada ao contexto de sua criação. Isto acaba demonstrando que a maioria dos métodos não são passíveis de atualização, ou que talvez seja mais fácil começar de novo em vez de atualizar uma abordagem anterior. Este último ponto é ainda enfatizado pelo facto de que a documentação de alguns métodos nem sempre está completa e a base para decisões nem sempre é clara. Os métodos que podem ser utilizados para a avaliação do risco de incêndio nas edificações industriais, segundo Dobbernack, R. [8], são as metodologias de Gretener [8] e de FRAME (Fire Risk Assessment Method for Engineering) [9], conhecidos pela indústria e mercado segurador.

Foi apresentada por Ferreira, Rodrigues e Coelho [10,11] a proposta de utilização do método hierárquico para avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos, um tipo de infraestrutura tipicamente inserida em zonas industriais. A primeira parte de seu estudo [10] trata do desenvolvimento do método, apresentando as políticas, as estratégias e medidas relativas que devem ser consideradas para o tipo de edificação em estudo, atribuindo-se as importâncias relativas entre os níveis hierárquicos (p. ex. entre os objetivos e as estratégias e entre as estratégias e as medidas de proteção). A segunda parte [11] traz a aplicação deste método. Sob o ponto de vista de assertividade em relação à proteção contra incêndio, o método hierárquico considera o risco tal-e-qual na essência, trazendo a avaliação do risco de incêndio para a aplicação definida em sua origem. Entretanto, o ajuste deste método para a nova configuração de risco de incêndio a ser avaliada, ou seja, um outro tipo de edificação e de ocupação, fará com que sejam modificadas as estratégias e as consequentes medidas de proteção para atendimento aos objetivos definidos na política, ou seja, novos parâmetros precisam de ser construídos e se reproduzem num novo método. Tais métodos consideram o desenvolvimento do incêndio no interior do edifício ou em áreas dentro dos limites da propriedade, mas não levam em conta os incêndios na envoltória dos limites adjacentes à propriedade, que é o caso dos incêndios nas zonas de interface. Diante das considerações acima, o desenvolvimento da avaliação do risco de incêndio na zona de interface industrial torna-se algo mais específico. Nota-se que grande parte das pesquisas abordam o risco de incêndio nas zonas de interface urbana florestal (foco do estudo nas habitações) e que poucos são os estudos para avaliação do risco de incêndio na zona de interface industrial florestal [3], sendo alguns destes em indústrias de petróleo.

Indiferentemente do tipo de atividade industrial, o impacto negativo das perdas sociais e econômicas com a descontinuidade da atividade industrial e a destruição das estruturas,

provenientes de um incêndio, é um factor relevante e deve ser levado em conta. Segundo Khakzad [8], a modelagem e avaliação de risco de incêndios em zonas de interface industrial florestal são importantes, porque além do potencial de danos às instalações industriais, existe a possibilidade de perda substancial da receita devido a paralisação das operações (seja por questões de segurança ou de reparo/substituição das utilidades industriais).

O comportamento do fogo na zona de interface, ou seja, entre a floresta e o edifício industrial, desde a sua ignição, com a conseqüente propagação e desenvolvimento, tem características particulares. Dentro deste contexto, estão identificados a seguir os aspetos relevantes a serem considerados na avaliação do risco de incêndio na interface industrial florestal.

A ação destrutiva dos incêndios florestais em Pedrógão Grande [2] demonstrou que o fogo encontrou condições favoráveis para a ignição dos materiais na envoltória dos edifícios, com o avanço de suas chamas pelas laterais e pelo depósito de partículas incandescentes nas coberturas destas edificações carregadas pelo vento em sua grande maioria. Portanto, o controle da aplicação dos materiais de construção utilizados na envoltória das edificações quanto ao seu comportamento ao fogo torna-se relevante, exposto nas investigações de White & Delichatsios [12], em que:

- Os incêndios em fachadas se constituam em eventos de menor frequência e as conseqüências resultantes em termos de extensão da propagação do incêndio e das perdas patrimoniais podem ser potencialmente elevadas;
- Os afastamentos entre elementos de revestimento de fachada com a estrutura da parede (substrato) auxiliam a uma propagação mais rápida e intensa das chamas do que em fachadas planas;
- Nas ocorrências estudadas existiam situações em que os edifícios foram construídos sem atender às exigências regulamentares para reação ao fogo dos materiais de construção;
- A queda de partículas em chamas se constitui como perigo significativo. No incêndio ocorrido na Zona Industrial (ZI) da Tocha, a cobertura do edifício foi afetada pelo incêndio florestal e o material proporcionou o avanço ao interior do mesmo (Figuras 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Edifício afetado pela queda de partículas em chamas de um incêndio florestal

Outros fatores importantes que podem influenciar o risco de incêndio, bem como a sua propagação e desenvolvimento para dentro da zona industrial, são:

- A organização do atendimento a emergências é relevante pois uma inadequada organização da emergência pode levar a ausência ou insuficiência das medidas para combate ao incêndio na envoltória do edifício, frente a dimensão promovida pelo potencial dano do incêndio florestal em direção à zona industrial. A ausência de um plano de

emergência que esteja no domínio dos ocupantes do edifício e que distribua as tarefas que devem ser realizadas quando de uma emergência, seja para realizar a evacuação das pessoas do edifício de forma segura, seja para iniciar as ações de combate inicial ao incêndio até à chegada dos Bombeiros, é um risco potencial e merece a atenção devida;

- A localização do edifício dentro da zona industrial e sua proximidade com a mancha florestal, não somente a distância do edifício em relação a floresta, mas como é constituída a cobertura vegetal, desde o coberto herbáceo, passando pelo arbustivo até as povoações arbóreas, e o seu estado de humidade, que dependerá do clima e das condições meteorológicas de determinado instante (Figuras 5 e 6).



Figuras 5 e 6 – Exemplos de envoltória florestal ao redor de zona industrial

- A arquitetura na utilização do espaço envolvente e o envelope do edifício industrial. Quanto mais os edifícios estiverem localizados na periferia da zona industrial, mais estes estarão suscetíveis à ação dos incêndios florestais;
- A utilização de revestimentos não adequados à ação do fogo, com especial preocupação ao seu posicionamento, a dimensão e a quantidade de vãos no edifício, podem facilitar a penetração de partículas em chama no interior do edifício (Figuras 7 e 8).



Figuras 7 e 8 – Situação em que ocorreu a entrada de chamas, gases quentes e partículas inflamadas: portão da indústria (figura 7); janela translúcida (figura 8).

#### **4. ANÁLISE DOS PARÂMETROS PARA DETERMINAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NA ZONA DE INTERFACE CONSIDERANDO A METODOLOGIA FRAME**

Considerando os aspetos associados à proteção do património e das atividades industriais desenvolvidas, vai-se analisar o método FRAME [9] sobre a sua abordagem, de forma a identificarmos os ajustes para a aplicação na avaliação do risco de incêndios na interface industrial florestal. Este método teve origem no método de Gretener e tem como base cinco princípios básicos:

- 1) Deve existir o equilíbrio entre o perigo e as medidas de proteção. O método propõe que isto seja expresso matematicamente, em que o valor do risco seja igual à razão entre o perigo e

a proteção, e que este valor seja igual ou inferior a 1. Ou seja, valores do risco superiores a 1 correspondem a uma situação desfavorável sob o ponto de vista do risco de incêndio. O dano causado por um incêndio deve ser limitado à divisão existente, não pode haver a existência de vítimas e deve-se ter condições de retornar ao edifício depois do incêndio ter ocorrido;

- 2) Os perigos são mensurados por dois fatores, sendo que o primeiro define o caso mais desfavorável a considerar, e o segundo define a extensão das possíveis consequências. Portanto, são determinados 2 valores para compor os perigos, como sendo o “Risco Potencial (P)” e o “Risco Aceitável (A)”;
- 3) A determinação dos valores para o fator de proteção consideram diferentes medidas de proteção que são usualmente utilizadas nas edificações, sejam elas de proteção passiva, como por exemplo, meios para evacuação dos ocupantes (escadas e rampas de acesso), a resistência ao fogo dos elementos construtivos, a separação física dos riscos, a reação ao fogo dos materiais de construção; sejam elas de proteção ativa, como por exemplo, os meios manuais de intervenção (extintores e sistemas de boca armada de combate ao incêndio), os meios automáticos de intervenção (sistemas de detecção e alarme de incêndio, sistemas de chuveiros automáticos); o auxílio público, como por exemplo o apoio ao combate pelo Corpo de Bombeiros;
- 4) Deve-se determinar o valor do risco para 3 situações distintas, sendo o primeiro valor para o edifício e o seu conteúdo, correspondente à componente “patrimonial”; o segundo valor relativo aos ocupantes do edifício, correspondente à componente “pessoas”, e a terceira que envolve a atividade econômica que se desenvolve no edifício, correspondente à componente “atividades”. Os fatores para determinação em cada componente são distintos e os meios de proteção para cada uma das situações podem apresentar resultados diferentes;
- 5) A unidade de cálculo é sempre associada a um compartimento no mesmo nível (andar). Se existem vários compartimentos ou vários níveis (andares), são necessários cálculos para cada compartimento e para cada andar ou, pelo menos, para os compartimentos mais representativos do perigo de incêndio no edifício.

Os parâmetros que estão associados aos riscos do bem patrimonial (R) e das atividades (R2) trazem ao método algumas das preocupações que são manifestadas no risco de incêndio nas zonas de interface industrial florestal, como por exemplo, as características construtivas de resistência e de reação ao fogo dos materiais, das medidas de proteção ativa e dos afastamentos entre as áreas de risco, mas estes parâmetros têm como essência o desenvolvimento do incêndio no interior do compartimento. No caso do risco aos ocupantes (R1) há uma preocupação com relação à preservação da vida humana e da saída das pessoas do edifício em uma situação de risco. A seguir estão apresentadas as equações para mensuração dos riscos e os parâmetros aplicados. Não se apresenta a abordagem de como são calculados, cujos detalhes estão em planilhas de cálculo e no manual do FRAME publicado por De Smet [9].

O valor do risco associado aos bens patrimoniais (R) é determinado pela Equação 1:

$$R = P/(A.D) \quad (1)$$

Onde: P: Risco Potencial associado à edificação  
A: Risco Aceitável para a edificação  
D: Nível de proteção associado à edificação

O risco potencial P é determinado pela Equação 2:

$$P = q.i.g.e.v.z \quad (2)$$

Onde: q: fator de carga de incêndio (carga térmica do que está armazenado);  
i: fator de propagação do incêndio;  
g: fator de geometria horizontal;  
e: fator dos andares;  
v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A$  é determinado pela Equação 3:

$$A = 1,6 - a - t - c \quad (3)$$

Onde: a: fator de ativação;  
t: fator de evacuação;  
c: fator de conteúdo.

O nível de proteção  $D$  é determinado pela Equação 4

$$D = W . N . S . F \quad (4)$$

Onde: W: fator dos recursos de água;  
N: fator de proteção normal;  
S: fator de proteção especial;  
F: fator de resistência ao fogo.

O valor do risco associado aos ocupantes ( $R1$ ) é determinado pela Equação 5:

$$R1 = P1 / (A1 . D1) \quad (5)$$

Onde: P1: Risco Potencial associado aos ocupantes na edificação  
A1: Risco Aceitável associado aos ocupantes na edificação  
D1: Nível de proteção para os ocupantes na edificação

O risco potencial  $P1$  é determinado pela Equação 6:

$$P1 = q . i . e . v . z \quad (6)$$

Onde : q: fator de carga de incêndio (carga térmica do que está armazenado);  
i: fator de propagação do incêndio;  
e: fator dos andares;  
v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A1$  é determinado pela Equação 7:

$$A1 = 1,6 - a - t - r \quad (7)$$

Onde: a: fator de ativação;  
t: fator de evacuação;  
r: fator ambiental.

O nível de proteção  $D1$  é determinado pela Equação 8:

$$D1 = N . U \quad (8)$$

Onde: N: fator de proteção normal;

U: fator de fuga.

O valor do risco associado às atividades ( $R2$ ) é determinado pela Equação 9:

$$R2 = P2/(A2 \cdot D2) \quad (9)$$

Onde: P2: Risco Potencial associado às atividades na edificação;  
A2: Risco Aceitável associado às atividades na edificação;  
D2: Nível de proteção associado às atividades na edificação.

O risco potencial  $P2$  é determinado pela Equação 10:

$$P2 = i \cdot g \cdot e \cdot v \cdot z \quad (10)$$

Onde: i: fator de propagação;  
g: fator de geometria horizontal;  
e: fator dos andares;  
v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A2$  é determinado pela Equação 11:

$$A2 = 1,6 - a - c - d \quad (11)$$

Onde: a: fator de ativação;  
c: fator de conteúdo;  
d: fator de dependência.

O nível de proteção  $D2$  é determinado pela Equação 12:

$$D2 = W \cdot N \cdot S \cdot Y \quad (12)$$

Onde: W: fator de recursos em água;  
N: fator de proteção normal;  
S: fator de proteção especial;  
Y: fator de salvaguarda.

Na determinação dos riscos potenciais, nas três situações (P, P1 e P2), está presente o fator de propagação do incêndio  $i$ , que atribui pesos quanto à classificação da reação ao fogo dos materiais das superfícies no compartimento, de definir uma dimensão média do conteúdo que esteja presente no compartimento e qual a temperatura mínima para que ocorra a inflamação dos materiais no compartimento.

Quanto à determinação dos riscos aceitáveis, nas três situações (A, A1 e A2), está presente o fator de ativação do incêndio  $a$ , fortemente associado à natureza da atividade industrial, ao uso de fontes de aquecimento, à qualidade das instalações elétricas na indústria e ao risco de explosão no interior da planta industrial. Ainda, nestas três situações, ocorre a aplicação do fator de conteúdo  $c$  que é calculado em função da característica do que está no interior do compartimento, se são conteúdos substituíveis, dificilmente substituíveis ou insubstituíveis, considerando no dimensionamento deste fator o valor dos bens presentes.

Ou seja, na avaliação dos riscos potenciais e dos riscos aceitáveis, estão presentes variáveis que têm atributos capazes de serem utilizados para uma avaliação do risco de incêndio na envoltória dos edifícios. Uma questão a ser colocada é da delimitação da área de avaliação do

risco, no caso o risco de incêndio incidente na envoltória do edifício. Considerando a abordagem matemática do método e de que a análise destes riscos envolve o interior dos compartimentos, pode-se propor uma abordagem alternativa e de certa forma análoga, mas com o foco na envoltória do edifício ( $Re$ ), conforme a Equação 13:

$$Re = Pe / (Ae \cdot De) \quad (13)$$

Onde:  $Pe$ : Risco Potencial associado à envoltória da edificação  
 $Ae$ : Risco Aceitável na envoltória da edificação  
 $De$ : Nível de proteção associado à envoltória da edificação

O risco potencial  $Pe$  é determinado pela Equação 14:

$$Pe = q \cdot i \cdot g \cdot e \cdot v \cdot z \quad (14)$$

Onde:  $q$ : fator de carga de incêndio na envoltória do edifício (carga térmica do que está na envoltória do edifício);  
 $i$ : fator de propagação do incêndio na envoltória do edifício;  
 $v$ : fator de ventilação;  
 $e$ : fator dos andares;  
 $z$ : fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $Ae$  é determinado pela Equação 15:

$$Ae = 1,6 - a - c \quad (15)$$

Onde:  $a$ : fator de ativação na envoltória do edifício;  
 $c$ : fator de conteúdo na envoltória do edifício.

O nível de proteção  $De$  é determinado pela Equação 16:

$$De = W \cdot N \cdot S \cdot F \cdot Y \quad (16)$$

Onde:  $W$ : fator dos recursos de água;  
 $N$ : fator de proteção normal;  
 $S$ : fator de proteção especial;  
 $F$ : fator de resistência ao fogo na envoltória do edifício.  
 $Y$ : fator de salvaguarda.

Os fatores envolvidos nas equações que determinam  $Pe$ ,  $Ae$  e  $De$ , tendo em conta os incêndios na envoltória dos edifícios precisam de ser ajustados, pois são sensíveis para a determinação do risco na envoltória do edifício ( $Re$ ). Os comentários para a realização de ajustes em alguns destes parâmetros estão apresentados a seguir.

- Fator de geometria horizontal  $g$ : o ajuste deve levar em conta as condições do desenvolvimento do incêndio na área exterior ao edifício, uma vez que os cálculos levam em conta os incêndios dentro do edifício;
- Fator de propagação do incêndio  $i$ : o ajuste é fundamental neste novo parâmetro, pois envolverá o que está na envoltória analisada do edifício. Deve-se aqui definir qual é a abrangência desta envoltória, ou seja, dimensões características e sua volumetria, de forma a gerar parâmetros quantificáveis. Além disto, como se trata de fachadas e de coberturas,

ou seja, pensando em incêndios que se propagam do exterior para o interior do edifício, deve-se neste parâmetro considerar a classificação da reação ao fogo dos materiais de fachada e de cobertura, pensando na atribuição de materiais com melhor comportamento ao fogo visando a proteção na envoltória contra a ação de incêndios externos;

- Fator da carga de incêndio  $q$ : deve-se determinar o valor da carga de incêndio a qual esteja presente na interface florestal industrial, de forma que ocorra a ponderação equivalente ao que hoje se tem para o interior dos compartimentos no presente método. As distâncias, as alturas e os diferentes materiais combustíveis da interface são variáveis que influenciam a determinação desta carga de incêndio;
- Fator dos andares  $e$ : o ajuste é importante, pois a altura da edificação também tem influência na propagação vertical do incêndio;
- Fator de acessibilidade  $z$ : o ajuste é importante, pois a acessibilidade na envoltória do edifício contará significativamente para contenção e combate inicial ao incêndio;
- Fator de proteção especial  $S$ : o fator de proteção associado aos sistemas de proteção especiais pode ser ajustado com o objetivo da implementação de sistemas preventivos para irrigar as superfícies da edificação durante a ocorrência de um incêndio florestal, como um sistema de chuveiros automáticos externos, e tal eficiência destes sistemas, as quais ainda não são conhecidas em literatura, devem ser aferidas por meio de estudos experimentais, de forma a subsidiar a aplicação. Outras medidas de combate contra os incêndios advindos do exterior, como por exemplo, o uso de canhões monitores e de combate aérea, podem ser incorporados e ponderados na composição deste fator;
- Fator de resistência ao fogo na envoltória do edifício  $F$ : neste fator já estão incorporados os coeficientes para resistência ao fogo dos muros exteriores e da resistência ao fogo para a cobertura, os quais, segundo o próprio método, não podem ser superiores a 120 minutos;
- Fator de fator de ventilação  $v$ : no caso dos incêndios em zonas de interface industrial florestal, as aberturas para ventilação nas laterais e na cobertura devem ser devidamente projetadas no sentido de evitar a entrada de partículas incandescentes em queima provenientes do incêndio florestal, de forma a evitar o início e o desenvolvimento do incêndio no interior do edifício, e este fator deve ser ajustado levando tais questões em conta.

## 5. CONCLUSÃO

Para a discussão de novas formas de avaliação do risco a partir de métodos já existentes, como por exemplo o FRAME, faz-se necessário o entendimento das variáveis envolvidas na concepção do método, de forma a propor ajustes sem afetar a sua essência para a aplicação nos edifícios industriais. As propostas apresentadas no presente artigo são preliminares, visando motivar estudos futuros para a quantificação do risco de incêndio utilizando esta abordagem e que seja tratado com o aprofundamento necessário para possibilitar a aplicação deste método a edifícios industriais que possam ser expostos a incêndios com interface florestal.

Os incêndios na zona de interface industrial florestal envolvem questões multidisciplinares, e a avaliação do risco de incêndio acaba, por sua vez, confrontando diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo a engenharia florestal, a engenharia hidráulica e engenharia civil, as quais devem ser subsidiadas com uma abordagem técnica e prevencionista dos fundamentos da engenharia de segurança contra incêndio, tais como a dinâmica do fogo nos incêndios florestais, do comportamento ao fogo dos materiais de construção utilizados nos edifícios, da gestão da armazenagem dos materiais combustíveis e inflamáveis, do dimensionamento de medidas de proteção contra incêndio capazes de conter riscos sensíveis ao incêndio. Tal abordagem deve considerar ações que possam ajudar na prevenção para evitar o princípio de incêndio, de ações que possam auxiliar na proteção dos edifícios, por meio de medidas de proteção passiva e de proteção ativa contra a ação dos incêndios. Portanto, um

caminho possível para subsidiar os ajustes em métodos para avaliação do risco de incêndio existentes e torná-los utilizáveis em situação de incêndio em zona de interface industrial florestal é considerar abordagens que envolvam a simulação computacional de cenários, da realização de ensaios experimentais reproduzindo os casos reais de incêndio nas zonas de interface industrial florestal, com o foco de obter dados e correlações para ajustar os parâmetros apresentados.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] San-Miguel-Ayanz, J; Durrant, T.; Boca, R.; Libertà, G.; Branco, A. ; De Rigo, D.; Ferrari, D.; Maianti, P.; Vivancos, T.A.; Schulte, E.; Loffler, P. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2016, Joint Research Centre, European Commission, Luxemburg (2017), p. 120.
- [2] Ribeiro, L.M.; Rodrigues, A.; Lucas, D.; Viegas, D.X. The large fire of Pedrógão Grande (Portugal) and its impact on structures, Imprensa da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, 2018, Coimbra.
- [3] Khakzad, N., Modeling wildfire spread in wildland-industrial interfaces using dynamic Bayesian network, Reliability Engineering & System Safety, Volume 189, 2019, Pages 165-176, ISSN 0951-8320.
- [4] Valerio, C.; Gianfilippo, G; Giacomo A., Gigliola, S., Severino, Z., The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis, Journal of Hazardous Materials, Volume 127, Issues 1–3, 2005, Pages 14-30, ISSN 0304-3894.
- [5] Koutsomarkos, V.; Rush, D.; Jomaas, G; Law, A. Comparative analysis of fire indexing methodologies, 2019, Interflam 2019 Conference Paper, Royal Holloway, Egham, UK.
- [6] Shields, T.J., Silcock, G.W.H., Donegan, H.A. et al. Methodological problems associated with the Use of the Delphi technique. Fire Technol 23, 175–185 (1987).
- [7] R.W. Saaty, The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, Mathematical Modelling, Volume 9, Issues 3–5, 1987, Pages 161-176, ISSN 0270-0255.
- [8] Dobbernack, R. Fire Risk Assessment Methods. Final Report of Workgroup 6. Fire Risk Evaluation to European Cultural Heritage – FIRETECH, 2003.
- [9] De Smet, E. Handbook for the use of this Fire Risk Assessment Method for Engineering (FRAME), 2nd. Edition, 1999.
- [10] Ferreira, E.; Rodrigues, J.P.C; Coelho, A.L., o método hierárquico na avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos Parte I – apresentação do método, Volume I, pg. 419-418, 2011, Natal/Brasil, 1º Congresso Ibero-Latino-americano em Segurança Contra Incêndios (CILASCI 01), ISBN: 978-989-97210-0-5.
- [11] Ferreira, E.; Rodrigues, J.P.C; Coelho, A.L., O método hierárquico na avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos Parte II – Aplicação do método, Volume I, pg. 429-438, 2011, Natal/Brasil, 2011, Brasil, 1º Congresso Ibero-Latino-americano em Segurança Contra Incêndios (CILASCI 01), ISBN: 978-989-97210-0-5.
- [12] White, N; Delichatsios, M. Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. Verlag New York: Springer; 2015 ISBN: 978-1-4939-2898-9.