

MODELAÇÃO DA EFICÁCIA DA INTERVENÇÃO DOS BOMBEIROS NO COMBATE A INCÊNDIOS EM MEIO URBANO

*António Leça Coelho*¹

*Tiago Miguel Ferreira*²

RESUMO

O MACSI_2E é um modelo de simulação das condições de segurança ao incêndio em edifícios existentes, em desenvolvimento no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que será transformado num software que permitirá simular as condições de segurança ao incêndio em edifícios, constituindo-se assim como um instrumento de apoio ao projeto com vista à definição das soluções a implementar em operações de reabilitação. O presente artigo versa sobre o modelo de eficácia dos bombeiros (MEB), um dos vários modelos parciais que constituem o MACSI_2E. É sabido que, quanto mais tarde ocorrer a intervenção dos bombeiros, maior será a dificuldade de extinção do incêndio e maior será a quantidade de água necessária para proceder a essa extinção. Assim, com o intuito de avaliar essa dificuldade e, conseqüentemente, as suas implicações em termos de segurança dos ocupantes, tanto do edifício sinistrado, como aqueles que se encontram na sua proximidade, a metodologia que aqui se apresenta e discute pretende ajudar a quantificar as grandezas consideradas como representativas dessa eficácia.

Palavras-chave: Segurança ao incêndio. Modelação. Eficácia da intervenção. Combate ao incêndio. Bombeiros.

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

² ISISE, Institute of Science and Innovation for Bio-Sustainability (IB-S), Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

INTRODUÇÃO

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) vem desenvolvendo desde 2014 um modelo de análise das condições de segurança ao incêndio em edifícios, com o acrónimo MACSIE. O modelo constituirá um instrumento de definição das soluções de projeto de segurança ao incêndio (SI) a implementar, quer em edifícios novos quer nos existentes.

O MACSIE incorpora um modelo de representação do edifício e integra todos os fatores com implicação na segurança ao incêndio, mediante a consideração de diversos modelos de simulação, com destaque para os seguintes:

- a) Modelo de simulação do desenvolvimento e propagação do incêndio;
- b) Modelo de simulação da capacidade de desempenho dos meios ativos de SIE (incluindo a modelação dos sistemas de deteção, a modelação dos sistemas automáticos de extinção e a modelação dos meios de controlo do fumo);
- c) Modelo de simulação da capacidade de desempenho dos meios passivos de SI (incluindo a modelação do efeito dos materiais de revestimento no desenvolvimento do incêndio e o comportamento dos elementos de construção face a esse incêndio);
- d) Modelo de simulação da evacuação do edifício;
- e) **Modelo de exposição** dos ocupantes tendo presente aspetos como o seu comportamento em caso de incêndio e a influência dos simulacros, da existência de sistemas automáticos de deteção de incêndio e dos sistemas de iluminação e sinalização de emergência, nesse comportamento;
- f) Modelo de simulação da eficácia de intervenção dos bombeiros;
- g) Fixação do nível mínimo de segurança admissível.

A metodologia adotada para o desenvolvimento do MACSIE passa pela articulação de investigação nacional, desenvolvida especificamente para a concretização do modelo, com investigação estrangeira já consolidada (COELHO, 2006).

No que se refere à investigação nacional desenvolvida para a concretização do MACSIE, destaca-se a modelação da evacuação dos edifícios em caso de incêndio, a modelação da capacidade de desempenho dos meios passivos, a modelação da eficácia da ação dos bombeiros e à fixação de nível mínimo de segurança admissível.

Quanto à investigação estrangeira já consolidada, salienta-se a relativa ao modelo de desenvolvimento de incêndio e a relacionada com os algoritmos que quantificam o efeito de meios ativos sobre o seu desenvolvimento. Assim, foram analisados diversos modelos teóricos relativos ao desenvolvimento e propagação do incêndio (BUDNICK & EVANS, 1986; KARLSSON & QUINTIERE, 1999; NFPA, 2000; BENGTSSON, 2001; DRYSDALE, 2001; HADJISOPHOCLEOUS & RICHARDSON, 2005; QUINTIERE, 2006), bem como softwares de simulação, nomeadamente do National Institute of Standards and Technology (NIST) (KORHONEN & HOSTIKKA, 2009; McGRATTAN et al., 2013; PEACOCK et al., 2015a; PEACOCK et al., 2015b; PEACOCK, 2016), sendo que os dois modelos do NIST foram utilizados para validar o modelo de desenvolvimento de incêndio, tendo permitido ainda avaliar soluções passivas de controlo de fumo instaladas em edifícios existentes e o seu impacto no perigo.

Quanto aos efeitos dos sistemas automáticos de deteção e de extinção foram analisados e adotados algoritmos existentes capazes de traduzir essa influência (NFPA, 2010; HURLEY et al., 2015).

Relativamente à exposição, traduzida pelo tempo de evacuação do edifício, foi desenvolvido um modelo original de evacuação com recurso à análise de redes, às relações da velocidade e do fluxo com a densidade, fazendo uma dupla análise do movimento. O modelo considera, quer os

aspectos macroscópicos, quer os microscópicos do movimento, isto é, faz uma análise macro e micro do movimento, incluindo a densidade dos grupos que se formam no decurso da evacuação e as inter-relações que se estabelecem entre os ocupantes. O modelo considera, ainda, o efeito da deteção no tempo de evacuação, recorrendo para isso a um dos algoritmos existentes para determinar o tempo de atuação de detetores térmicos e de fumo (NFPA, 2010).

Relativamente à eficácia da intervenção dos bombeiros, foi concretizado um modelo original baseado nas condições de desenvolvimento do incêndio, no tempo de evacuação e no tempo de intervenção dos bombeiros.

Quanto ao limiar mínimo de segurança admissível, este será estabelecido em colaboração com a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC)³.

Neste artigo apresenta-se de forma detalhada o modelo de simulação das condições da eficácia da intervenção dos bombeiros no combate aos incêndios urbanos.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO DE EFICÁCIA DA INTERVENÇÃO DOS BOMBEIROS

2.1 Aspectos gerais

A importância da intervenção dos bombeiros na segurança ao incêndio é plenamente reconhecida, resultado das consequências que tem, quer na segurança das pessoas, quer do edifício sinistrado e daqueles que estão na sua proximidade.

A sua intervenção contribui, naturalmente, para criar condições de maior segurança, quer para os ocupantes, nos casos em que ainda não ocorreu a evacuação total do edifício, quer para os próprios edifícios.

³ A ANEPC é a autoridade nacional em matéria de emergência e proteção civil, sendo um serviço central, da administração direta do Estado. Tem por missão planejar, coordenar e concretizar as políticas de emergência e de proteção civil e, ainda, promover a aplicação, a fiscalização e inspeção sobre o cumprimento das leis, regulamentos, normas e requisitos técnicos aplicáveis no âmbito das suas atribuições.

Contudo, a avaliação do impacto dessa intervenção é sempre qualitativa, não existindo modelos conhecidos que permitam quantificar o seu impacto na SI.

A eficácia da intervenção dos bombeiros depende de diversos fatores, uns intrínsecos ao próprio edifício, outros exteriores a este, destacando-se os seguintes:

- a) Tempo que decorre desde o início do incêndio até à sua efetiva intervenção;
- b) Meios de intervenção existentes no edifício;
- c) Abastecimento dos meios de extinção;
- d) Existência ou não de ascensores prioritários para os bombeiros em edifícios, no caso de edifícios de altura superior a 28 m;
- e) Hidrantes exteriores;
- f) Características das vias de acesso ao edifício;
- g) Características dos meios de intervenção que os bombeiros possuem.

O tempo que medeia entre o início do incêndio e o momento em que os bombeiros principiam as operações de intervenção tem, naturalmente, reflexos na eficácia da sua ação, pois quanto mais tarde ocorre essa intervenção maior será a dificuldade de extinção e eventual resgate de ocupantes retidos no seu interior⁴.

Quanto aos meios de intervenção de que o edifício está dotado, e que podem ser usados pelos bombeiros, destacam-se as redes húmidas armadas quando é possível fazer o combate pelo interior do edifício. Essa disponibilidade pode ser quantificada pelas 4 bocas armadas, funcionando em simultâneo, e fornecendo um caudal individual de 1,5 l/s, isto é, 6 l/s. Estes meios só poderão ser considerados desde que exista uma alimentação fiável.

⁴ No MACSIE a questão do resgate de eventuais ocupantes só se coloca quando o tempo disponível para evacuar o edifício é inferior ao necessário para concretizar esse objetivo.

Os ascensores prioritários para os bombeiros podem ter um papel de significativa importância nos edifícios de altura superior a 28 m, quer nas ações de salvamento, quer de combate ao incêndio, sempre que este é possível de ser feito pelo interior, apresentando um impacto direto no tempo de intervenção e/ou de socorro aos ocupantes.

Relativamente aos hidrantes exteriores, eles são fundamentais para abastecer os veículos de combate ao incêndio⁵. Estes hidrantes devem fornecer a quantidade de água necessária para efetuar, quer as operações ofensivas de combate, quer as defensivas. Essa quantidade de água pode ser determinada em função da potência calorífica libertada, apresentando-se nesta secção o seu cálculo.

Na metodologia desenvolvida foi ainda considerada a questão dos veículos de combate que podem ser utilizados, face às características urbanas do local onde se situa o edifício. As características das vias de acesso podem facilitar ou dificultar a atuação dos bombeiros. Relativamente a esta matéria, o método entra em linha de conta com a forma como os bombeiros operacionalizam a atividade de combate ao incêndio e, eventualmente, de salvamento. No que concerne a viaturas de combate ao incêndio e salvamento existem, fundamentalmente, as seguintes:

- a) Veículo ligeiro de combate a incêndios (VLCI);
- b) Veículo urbano de combate a incêndios (VUCI);
- c) Veículo com via vertical de evacuação giratória (VE);
- d) Veículo com plataforma elevatória (VPE);
- e) Veículo tanque tático urbano (VTTU).

No caso de intervenção em edifícios de altura não superior a 9 m, poderá ser utilizado apenas um VUCI e dispensado o VE ou o VPE.

⁵ Importa notar que a ausência de hidrantes na proximidade do edifício sinistrado não implica que os bombeiros não disponham de água para proceder ao combate, mas apenas que há um atraso no início dessa operação.

Nas situações em que as vias de acesso não permitem a circulação das viaturas dos bombeiros, ou possibilitam somente uma viatura de pequeno porte (VLCI), a montagem do combate será sempre feita no início ou fim da rua, uma vez que a viatura irá funcionar como tampão e obstruir os acessos, obrigando a montagem de lanços de mangueira aumentando o tempo de intervenção.

Após a chegada dos bombeiros ao local, o combate ao início inicia-se de imediato, mesmo no caso dos VLCI, na medida em que estes dispõem de um depósito com um volume de aproximadamente 400 l.

Tendo em consideração os vários fatores referidos, foi desenvolvida uma metodologia para o desenvolvimento de um modelo de eficácia da intervenção dos bombeiros, cujas características fundamentais são as seguintes:

- a) Substituição dos diversos fatores com impacto na intervenção dos bombeiros unicamente por dois: o designado tempo de intervenção e a relação entre a água necessária para combate ao incêndio e aquela que está disponível para esse combate;
- b) Definição do tempo de intervenção dos bombeiros (T_{Int}), o qual depende dos seguintes tempos parciais: tempo de detecção, tempo de notificação, tempo de preparação de saída, tempo de trajeto e tempo de preparação para intervir;
- c) Comparação do T_{Int} com o um tempo de referência (T_{ref}), que, no modelo, corresponde ao instante em que há uma alteração significativa das condições de desenvolvimento do incêndio, tendo-se considerado que isso ocorre quando se verifica a inflamação generalizada. Não existindo um critério universal para definir o momento em que ocorre a inflamação generalizada, considerou-se no modelo que isso ocorria quando no cenário de incêndio a temperatura atinge os 550°C;
- d) Desenvolvimento de uma metodologia com vista a determinar a quantidade de água necessária para combate ao incêndio, quer para as operações ofensivas, quer para as operações defensivas, sendo esta

comparada com a disponível para o combate. A necessidade de água para as operações ofensivas depende essencialmente do desenvolvimento e propagação do incêndio no edifício sinistrado, ao passo que a água para operações defensivas (proteção de prédios vizinhos) depende, fundamentalmente, da radiação que, devido ao incêndio em causa, incide sobre os edifícios vizinhos, dos materiais de revestimento exterior, nomeadamente da caixilharia, e da dimensão dos vãos exteriores desses edifícios.

Os efeitos dos vários fatores anteriormente indicados são traduzidos no modelo pela Equação (1).

$$E_{IB} = \frac{T_{Ref}}{T_{Int}} \times \frac{CA_{Disp}}{CA_{Nec}} \quad (1)$$

onde:

T_{Int} representa o tempo de intervenção (min);

T_{Ref} é o tempo de referência, definido em função da ocorrência da inflamação generalizada no compartimento (min);

CA_{Nec} é o caudal de água necessário para as operações de combate ao incêndio (l/min). Este caudal resulta da soma do que é necessário para operações ofensivas com o necessário para operações defensivas;

CA_{Dis} representa o caudal de água disponível para as operações de combate ao incêndio (l/min).

A equação anterior reflete a seguinte evidência: a eficácia é tanto maior quanto menor for o tempo de intervenção e maior for a disponibilidade de água. Essa equação é válida para as situações em que o edifício não tem um sistema de extinção automática de incêndio (SAEI).

Nos casos em que existe um SAEI não deve ocorrer a fase de inflamação generalizada, correspondendo à potência máxima libertada e, conseqüentemente, a temperatura máxima, ao instante em que ocorre o funcionamento do SAEI, pelo que o tempo de intervenção dos bombeiros é

substituído pelo tempo de operação desse sistema (T_{OSAEI}) e a Equação (1) é substituída pela Equação (2).

$$E_{IB} = \frac{T_{Ref}}{T_{OSAEI}} \times \frac{CA_{Disp}}{CA_{Nec}} \quad (2)$$

2.3 Tempo de intervenção

Quanto mais tarde ocorrer a intervenção dos bombeiros maior será a dificuldade de extinção do incêndio e maior será a quantidade de água necessária para proceder a essa extinção.

Para avaliar essa dificuldade e, conseqüentemente, as suas implicações em termos de risco, será feita a comparação entre a potência calorífica libertada ao fim do tempo previsto para a intervenção dos bombeiros (este tempo depende da existência, ou não, de um sistema automático de detecção de incêndio, da forma de transmissão aos bombeiros, do tempo de deslocação, da existência, ou não, de hidrantes na via de acesso, etc.), com a libertada ao fim dum tempo de referência, fornecido pela corporação de bombeiros locais. Na Figura 1 representam-se esquematicamente os diversos tempos associados à intervenção dos bombeiros, desde o início do incêndio até à sua extinção.

O designado tempo de intervenção representa o tempo que decorre entre o início de incêndio e o instante em que os bombeiros começam o combate ao incêndio e pode ser expresso pela Equação (3).

$$T_{Int} = T_D + T_N + T_{PS} + T_T + T_{PI} \quad (3)$$

em que:

T_{Int} é o tempo de intervenção (s);

T_D é o tempo de detecção (s);

T_N é o tempo de notificação (s);

T_{PS} é o tempo de preparação para a saída (s);

T_T é o tempo de trajeto (s);

T_{PI} é o tempo de preparação para intervir (s).

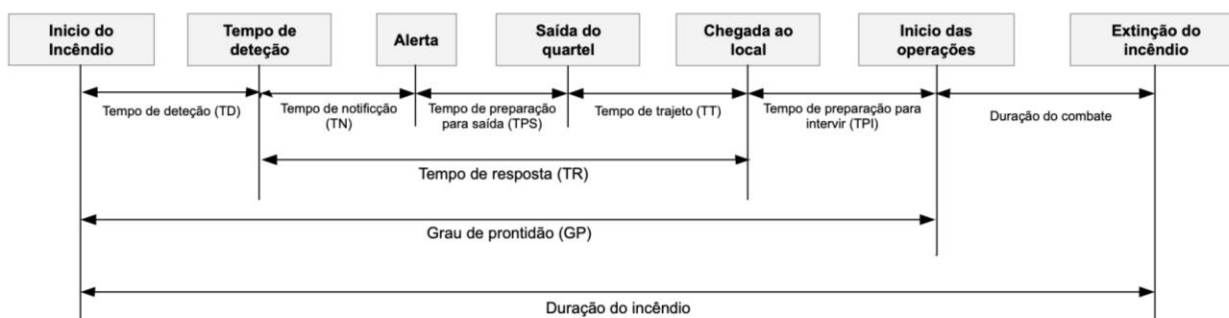


Figura 1: Tempos relacionados com a intervenção dos bombeiros

O tempo de detecção do incêndio é determinado a partir do modelo de simulação do tempo de resposta dos sistemas automáticos de detecção de incêndio integrado no MACSIE⁶.

O tempo de notificação depende de vários fatores, como por exemplo, a existência de ligação direta aos bombeiros. Quando não existe essa ligação, este tempo depende, ainda, da existência, ou não, de equipa de segurança. Foram, assim, definidos três tempos de notificação distintos, tendo em consideração as hipóteses anteriores.

Relativamente ao tempo de preparação para a saída ele é praticamente igual para todas as corporações e é de aproximadamente 1 minuto.

Quanto ao tempo de trajeto, este deverá ser fornecido pela corporação de bombeiros locais. Esse tempo poderá constar de uma lista publicada pela respetiva corporação, a qual deve ser periodicamente revista.

⁶ Nas situações em que não existe um sistema automático de detecção de incêndio o modelo tem uma rotina que estima o instante em que o incêndio é detetado em função da potência calorífica libertada, tendo sido definido um valor de referência para essa potência.

Relativamente ao tempo de preparação para intervir, ele depende de diversos fatores, por exemplo, a necessidade de estabelecer lanços de mangueira para efeitos de ligação às viaturas de combate.

2.4 Tempo de operação do SAEI

O tempo de operação dos sistemas automáticos de extinção é obtido a partir de um modelo parcial incorporado no MACSIE que, em função do tipo de desenvolvimento do incêndio e das características do sistema de extinção, determina esse tempo (e que será naturalmente inferior ao tempo de intervenção dos bombeiros).

A entrada em funcionamento⁷ do SAEI ocorre muito antes da ocorrência da inflamação generalizada. A partir do instante em que o SAEI entra em funcionamento, verifica-se uma diminuição gradual da potência calorífica libertada e, conseqüentemente, da temperatura no cenário de incêndio. Assim, quando existe um SAEI, a eficácia da atuação dos bombeiros é superior, facto que se encontra refletido nas Equações (1) e (2).

2.5 Tempo de referência

O T_{Ref} está associado ao instante em que há uma alteração significativa das condições de desenvolvimento do incêndio, tendo-se considerado que o momento mais significativo dessas alterações ocorre quando se verifica a inflamação generalizada.

Embora não exista um critério universal para definir o momento em que ocorre a inflamação generalizada, é frequentemente aceite que tal ocorre para temperaturas entre os 500°C e os 600°C (BENGTSSON, 2001; DRYSDALE, 2001; QUINTIERE, 2006).

Por conseguinte, considerou-se neste modelo que o tempo de T_{Ref} está associado à temperatura de 550°C, pelo que, a partir do MDPI, sabemos em que momento ocorre essa temperatura.

⁷Considera-se que estes sistemas só são fiáveis se no edifício estiver implementada uma organização e gestão da segurança ao incêndio.

A metodologia adotada permite determinar um tempo de referência, o qual varia, naturalmente, com o tipo de desenvolvimento de incêndio previsível para o edifício e com as condições da sua evolução (T_g).

Importa notar que, a menos que haja limitação do desenvolvimento do incêndio, quer seja por força de condições de ventilação, quer por todo o material combustível ter sido consumido, quando não exista um sistema de extinção automática de incêndio, a potência calorífica libertada e, conseqüentemente, a temperatura, crescem no tempo.

2.6 Água necessária para operações ofensivas

O combate ao incêndio por parte dos bombeiros está dependente, entre outros fatores, da disponibilidade de água em quantidade suficiente, quer para as operações ativas (ataque ao incêndio no edifício), quer para as operações passivas (proteção dos edifícios próximos).

Foi, assim, desenvolvido um modelo que tem em consideração o tipo de incêndio que se desenvolve no interior do edifício para, a partir daí, se calcular a necessidade de água para realizar esse combate.

A água necessária para as operações ofensivas e defensivas depende do facto de o cenário de incêndio ter, ou não, um sistema automático de extinção (SAE).

Quando não existe no cenário um SAE, o MDPI calcula a potência calorífica Q (MW) libertada nesse incêndio. Por outro lado, a partir da carga de incêndio existente no cenário de incêndio, é determinado o tempo necessário para consumir essa carga, supondo que o incêndio não é controlado pela ventilação.

Sabe-se, por outro lado, que a água projetada sobre o incêndio absorve calor até atingir a temperatura de 100°C , mudando da fase líquida para a fase de vapor, necessitando de absorver, por cada litro, $2,6 \text{ MW/l/s}$, para que se produza essa mudança de fase.

A partir do conhecimento do calor libertado, o caudal de água necessário para operações ofensivas (A_{oo}), expresso em l/min⁸, pode ser obtido a partir da Equação (4):

$$A_{oo} = \frac{60 \times Q}{2,6 \times \rho} \quad (4)$$

em que ρ representa um fator de eficácia, dado que nem toda a água projetada no decurso do combate ao incêndio passa ao estado de vapor e, portanto, há sempre uma parte dela que não absorve calor.

De acordo com dados experimentais, este valor encontra-se compreendido entre 0,3 e 0,6 (HADJISOPHOCLEOUS e RICHARDSON, 2005), tendo-se optado por adotar no modelo um valor intermédio igual a 0,45.

2.7 Água necessária para operações defensivas

Numa situação dos incêndios urbanos interessa, não só controlar os danos no edifício sinistrado (edifícios emissores), mas também evitar que esses incêndios se propaguem aos edifícios vizinhos (edifícios recetores). Importa, portanto, prever um adicional de água para as designadas operações defensivas, de modo a que referida propagação não ocorra. Porque a quantidade de água para essas operações é apenas uma pequena parte da água necessária para as ofensivas, introduziram-se diversas simplificações na formulação do modelo (quase todas conservativas) com vista à sua quantificação.

A propagação de incêndio pelo edifício emissor ao edifício recetor deve-se essencialmente à radiação emitida pelo primeiro e depende do tipo de incêndio, das aberturas existentes e da posição relativa dos dois edifícios (traduzido pelo fator de forma).

Relativamente à posição das superfícies, com o objetivo de simplificar a determinação do fator de forma, supôs-se que as fachadas são paralelas, sendo d a distância entre elas, conforme se esquematiza na Figura 2.

⁸ O valor 60 presente no numerador da Equação (4) foi introduzido de forma a que o valor obtido para o caudal seja expresse em l/min.

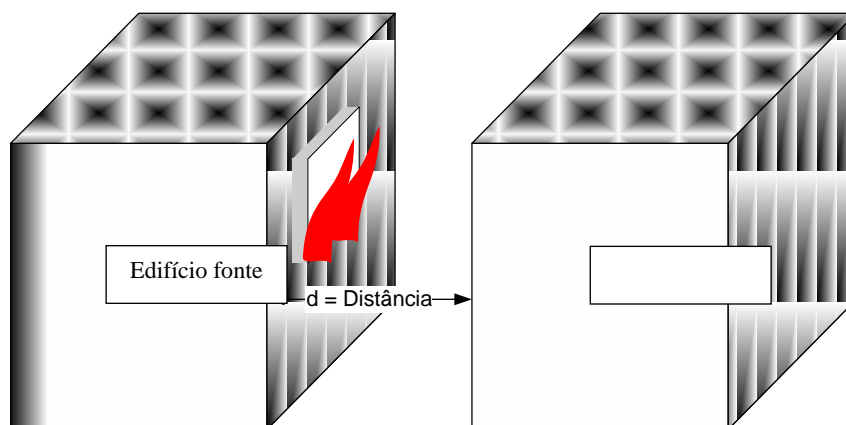


Figura 2: Propagação de incêndio por radiação entre edifícios fronteiros

A radiação transmitida durante o incêndio não é constante, admitindo-se no modelo que ela corresponde a 35% da potência total do incêndio. Na NFPA 92 [6] indica-se que a parte correspondente à radiação é 30% da potência total. No entanto, como o objetivo dessa norma é o controle de fumo, a condição conservativa corresponde a minimizar a transmissão de calor por radiação. Assim, considerou-se que a potência radiada (Q_r) é obtida a partir da Equação (5), em que Q representa a potência total determinada pelo MDPI.

$$Q_r = 0,35 Q \quad (5)$$

O objetivo é fazer com que a radiação que incide sobre a fachada recetora tenha um valor que não provoque a inflamação dos materiais constituintes dessa fachada. Nas situações em que não se conhece o valor do fluxo de calor q_r necessário para provocar a ignição desses materiais, poderá ser adotado um valor de referência igual a 10 kW/m^2 , de acordo com NFPA 92 (NFPA, 2009).

Por simplificação, supondo, a título de exemplo, que todo o Q_r emitido é recebido pela fachada fronteira (condição altamente conservativa), será possível relacionar q_r e Q_r através da Equação (6):

$$q_r = \frac{Q_r}{4 \times \pi \times d^2} \quad (6)$$

Se na equação anterior substituir q_r , por 10 kW/m^2 , resulta que Q_r é obtido a partir da equação (7):

$$Q_r = 125,65 \times d^2 \quad (7)$$

Assim, Q_r (kW) terá de ser inferior ao valor anterior dado pela Equação (5), pelo que se torna necessário projetar água em quantidade tal para que isso se verifique. Conhecido o valor de Q_r , a determinação da água necessária para as operações defensivas pode ser determinada por uma equação idêntica à Equação (4).

3. CONCLUSÕES

Porque a ocorrência dos incêndios pode ser minimizada, mas não eliminada, a importância da intervenção dos bombeiros na SI é indiscutível e isso é reconhecido na própria legislação.

Contudo, essa importância é avaliada de forma qualitativa, não se conhecendo a existência de modelos que simulem e quantifiquem o impacto dessa intervenção nas condições gerais de SI nos edifícios.

Porque se considera necessária uma mudança da abordagem qualitativa para uma quantitativa, foi desenvolvido um modelo que permite quantificar a referida eficácia.

Neste artigo apresentam-se as características fundamentais da metodologia desenvolvida com vista à quantificação do impacto da intervenção dos bombeiros, quer na segurança das pessoas, quer no edifício atingido e, ainda, daqueles que estão na sua proximidade, fato que é da maior importância nos centros urbanos antigos em que existe uma densificação extrema do tecido urbano, com uma proximidade mínima entre os edifícios.

Nessa metodologia procurou-se incluir os fatores com impacto na eficácia da intervenção dos bombeiros, salientando-se o impacto na eficácia da

intervenção dos sistemas de extinção automática de incêndio, desde que, no edifício em causa, exista uma equipa de segurança e a manutenção adequada desse sistema.

O modelo em causa faz parte de um outro (MCSIE) que tem como objetivo a avaliação das condições de segurança ao incêndio em edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENGTSSON, L.G. *Enclosure fires*. Swedish Rescue Services Agency, 2001.

BUDNICK, E. K.; EVANS, D. D. **Hand calculations for enclosure fires**. In **Fire Protection Handbook**, 16th ed., edited by A.E. Linville and J.L. Cote, 21-21. Quincy, MA: NFPA, 1986.

COELHO, A. Leça. **Proposta de uma nova metodologia de abordagem à segurança ao incêndio em Portugal**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2006.

DRYSDALE, D. *An introduction to fire dynamics*. John Wiley & Sons, 2011.

HADJISOPHOCLEOUS, G.V.; RICHARDSON, J.K., 2005. Water flow demands for firefighting. *Fire technology*, v.41, n.3, p.173-191, 2015.

HURLEY, M.J.; GOTTUK, D.T.; HALL Jr, J.R.; HARADA, K.; KULIGOWSKI, E.D.; PUCHOVSKY, M., WATTS Jr, J.M.; WIECZOREK, C.J. eds.,. **SFPE handbook of fire protection engineering**. Springer, 2015.

KARLSSON, B.; QUINTIERE, J.. *Enclosure fire dynamics*. CRC press, 1999.

KORHONEN, T.; HOSTIKKA, S. **Fire dynamics simulator with evacuation: Fds+ Evac**: Technical reference and user's guide, 2009.

McGRATTAN, K.; HOSTIKKA, S.; McDERMOTT, R.; FLOYD, J.; WEINSCHENK, C.; OVERHOLT, K., 2013. **Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1**: mathematical model. *NIST special publication, 1018(1)*, p.175, 2013.

NFPA - National Fire Protection Association, 2010. **NFPA 72: national fire alarm and signaling code**. The Association, 2010.

_____ NFPA92B: Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas. 2000 ed.

PEACOCK, R.D. **CFAST—Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) Volume 4**: Configuration Management. *Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. NIST Technical Note*. 2016

PEACOCK, R.D.; McGRATTAN, K.B.; FORNEY, G.P.; RENEKE, P.A.,. **CFAST—Consolidated Fire And Smoke Transport (Version 7) Volume 1**: Technical Reference Guide. *Technical Note xxxx, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 1*, pp.69-71, 2015a

_____ **CFAST—Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7)—Volume 3**: Verification and Validation Guide. *NIST Technical Note 1889v3 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2015)*, 2015b.

QUINTIERE, J. **Fundamentals of fire phenomena**. Wiley, 2006.