



**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, CIÊNCIA, PESQUISA E
TECNOLOGIA**



**DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA BOMBEIRO MILITAR
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS – TURMA 35**

ANÁLISE COMPUTACIONAL DA JANELA DE TEMPO DE ABANDONO DURANTE INCÊNDIO ESTRUTURAL

Matheus de Souza Junqueira¹

Pablo Federico Baigorri²

RESUMO

Este trabalho analisou a influência na janela de tempo de abandono, durante incêndio estrutural, de simples procedimentos de fuga, como fechar portas e janelas, por meio de simulação computacional, através da propagação da fumaça, temperatura, concentração de gases correlacionados e da visibilidade no ambiente. Tal abordagem se faz necessária pois uma simples medida, como fechar a porta ao sair do apartamento, pode influenciar diretamente na propagação do fogo e no tempo disponível para abandono dos demais ocupantes. A finalidade desse trabalho foi avaliar se fechar a porta e janelas é capaz de retardar a propagação do fogo e aumentar o tempo para abandono seguro do local. Esse propósito foi alcançado mediante comparativo de simulações numéricas, utilizando o simulador de incêndio *Fire Dynamics Simulator*³ (FDS). O estudo mostrou que deixar a porta e janela da sala abertas, resultou em uma janela de tempo de abandono de 3 minutos e 30 segundos, tornando inviável a fuga dos demais moradores após esse período. Na hipótese de terem sido fechadas, não haveria propagação da fumaça para a caixa de escada. Entretanto, caso os demais apartamentos estivessem com as janelas abertas, a fumaça exalada pela janela rompida devido ao calor, afetaria o andar superior, em níveis prejudiciais à saúde, em 8 minutos.

Palavras-chave: Abandono. Propagação. Janela de Tempo. Simulação Numérica.

¹ Cadete. Aluno do Curso de Formação de Oficiais Turma 35. Engenheiro Mecânico pela Universidade de Brasília - 2012.

² Capitão Combatente. Chefe da Subseção de Logística da Diretoria de Investigação de Incêndio - CBMDF. Bacharel em Matemática pela Universidade de Brasília - 2011.

³ Termo em inglês para Simulador Dinâmico de Incêndio

INTRODUÇÃO

Este trabalho analisou a influência na janela de tempo de abandono, durante incêndio estrutural, de simples procedimentos de fuga, por meio de simulação computacional, através da propagação da fumaça, concentração de gases correlacionados e da visibilidade no ambiente. Nesse sentido, buscou responder à seguinte pergunta: Qual a influência que simples procedimentos de fuga, como fechar portas e janelas, após o início de um incêndio, tem na janela de tempo de abandono em um prédio residencial de três andares, em Brasília? Tem como hipótese, que o ato de fechar portas ou janelas, dificulta o desenvolvimento do fogo, restringindo seus produtos, calor e fumaça, ao local afetado e retardando a propagação do incêndio. Bem como ao confiná-lo, retarda a perda de visibilidade devido a fumaça, assim como atrasa a propagação dessa, aumentando a janela de tempo de abandono, consequentemente influenciando diretamente no comportamento das vítimas.

Tal abordagem se faz necessária pois esse tempo extra pode ser suficiente para melhor abandono de todos os residentes, bem como para impedir que o fogo se alastre e consuma toda a residência ou afete outros apartamentos, de modo que o combate ao fogo, feito pelos bombeiros, seja mais efetivo, pois poderá combater o fogo confinado, ou ainda em uma fase inicial do incêndio.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a influência do simples procedimento de fechar, ou deixar aberta, portas e janelas do apartamento sinistrado, na janela de tempo de abandono e na propagação do fogo, segundo análise da visibilidade, temperatura e concentração de gases correlacionados (oxigênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono).

Esse propósito foi alcançado mediante comparativo de simulações numéricas em um prédio de três andares. Tendo dois cenários, ora com porta e janela aberta, ora com elas fechadas. Utilizando a ferramenta *Fire Dynamics Simulator* (FDS) capaz de realizar simulações de incêndios.

A seguir, serão discutidas as características do incêndio, fatores influenciadores, como a ventilação, compartimentação e visibilidade, além do comportamento natural e efeitos no corpo humano em casos de incêndio. Posteriormente, a metodologia do trabalho, com os princípios da ferramenta FDS, seu visualizador, o cenário proposto e as discussões quanto aos resultados obtidos.

1 CARACTERÍSTICAS DO INCÊNDIO

1.1 Fumaça

Primeiramente, é importante destacar que as características da fumaça são muito importantes no desenvolvimento do fogo, bem como na propagação do incêndio (CBMDF, 2009), são elas:

- Opaca – Os produtos gerados na combustão, principalmente a fuligem, diminuem a visibilidade, pois permanecem suspensos na massa gasosa;
- Móvel – Devido a diferença de temperatura e densidade entre ela e a massa de ar, que seria o próprio ambiente, a fumaça sofre empuxo constante, podendo se propagar e atingir diferentes ambientes por meio de fossos, dutos, aberturas ou qualquer outro espaço que possa ocupar;
- Tóxica – Pois a combustão gera vários produtos que prejudicam a respiração, como o dióxido e monóxido de carbono;
- Quente – Sendo resultado da reação de combustão que liberou muito calor esta eleva a temperatura a ponto de gerar novos focos de incêndio;
- Inflamável – Pois possui subprodutos da reação em cadeia da combustão em seu interior capazes de reagir com o oxigênio, tornando-a uma massa combustível gasosa.

A severidade de um incêndio depende da carga de incêndio e sua natureza, da ventilação do ambiente, da existência de medidas ativas de proteção, de fatores externos e da geometria da edificação (ASSIS, 2001). O *flashover*⁴ marca a transição em que o incêndio passa a ser controlado pelas condições de ventilação e pela geometria do edifício (QUINTIERE, 1998). A severidade do incêndio está relacionada à intensidade deste quando completamente desenvolvido, quando todos os materiais combustíveis do compartimento estão queimando, ou seja, na ignição súbita generalizada, *flashover* (MARCATTI, COELHO FILHO, & BERQUÓ FILHO, 2008).

⁴ Termo em inglês para designar o momento no desenvolvimento do fogo num cômodo no qual todas as superfícies expostas atingem suas temperaturas de ignição mais ou menos simultaneamente e o fogo se espalha rapidamente por todo o espaço. (M. KENNEDY, CFPS, & PATRICK & KATHRYN C. KENNEDY, 2018)

A compartimentação interna pode ser feita de diversas maneiras, pela vedação de vãos, dentre eles os selos, *dampers*⁵, vedadores, portas e paredes corta fogo, todos disponíveis no mercado, com utilização a princípio, a critério do projetista. A compartimentação destina-se a confinar o fogo no pavimento atingido e evitar a sua propagação, tanto em sentido vertical quanto horizontal. Esta propagação do fogo e a severidade do incêndio dependem dos seguintes fatores: da quantidade de combustível, da área de ventilação, da altura do compartimento (pé-direito), do vento e dos materiais combustíveis dos compartimentos adjacentes expostos à chama e ao calor (ROSSO, 1975). Pode-se acrescentar que, para o estudo da compartimentação, deve-se considerar a severidade do incêndio, a carga de incêndio do edifício, os efeitos da ventilação e a forma como o incêndio pode se propagar (MARCATTI, COELHO FILHO, & BERQUÓ FILHO, 2008).

Ressaltando uma das características da fumaça, ela pode provocar diversas lesões inalatórias, devido a substâncias presentes ou quanto à temperatura, sendo a principal responsável pela mortalidade de vítimas de queimaduras. Cita-se quatro mecanismos de lesão inalatória associada ao incêndio: deficiência de oxigênio, temperatura elevada, partículas encontradas na fumaça e gases tóxicos associados ao incêndio (CBMDF, 2009).

2 INFLUENCIADORES

O desenvolvimento do incêndio pode ser influenciado pela ventilação a qual o ambiente está submetido, seja um ambiente aberto, fechado, térreo ou elevado. Existe influência também da arquitetura do local, se possui grandes vãos, altura do pé direito, compartimentação entre os cômodos, *shafts*⁶ e materiais utilizados na construção do local.

2.1 Ventilação

O incêndio também sofre grande influência da limitação ou acesso de ar ao ambiente, em concentrações normais de oxigênio, em torno de 21%, o fogo se

⁵ É um tipo de registro utilizado para controlar o fluxo de ar em dutos de ventilação.

⁶ Shafts são aberturas verticais na construção, por onde passam tubulações de instalações hidrossanitárias ou ventilação, em alguns casos, são utilizados para passar eletrocalhas.

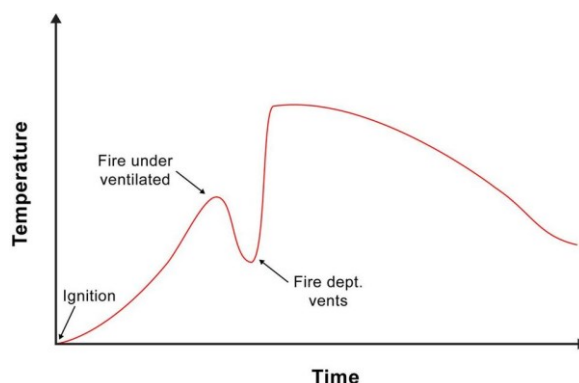
desenvolve normalmente. Se o oxigênio estiver numa porcentagem próxima de 15%, não haverá mais chama, somente brasa, e se estiver abaixo de 8% não ocorrerá mais a combustão, sendo, portanto, de extrema importância o controle da ventilação do ambiente durante um incêndio (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA POLÍCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006).

A fumaça é formada entre outras coisas de gases combustíveis provenientes da reação em cadeia que, ao se acumularem em um ambiente pouco ventilado ou em um local restrito, podem sofrer ignição de forma súbita com a entrada de oxigênio proveniente da ventilação. Essa explosão de fumaça é conhecida como *backdraft*⁷ (CBMDF, 2009).

A curva de comportamento do fogo em estruturas, Figura 1, mostra o desenvolvimento do fogo com o passar do tempo em um incêndio com ventilação limitada, em um ambiente com portas e janelas fechadas. No início do incêndio existe uma oxigenação adequada para misturar os gases aquecidos, que resultam na combustão. Enquanto o nível de oxigênio no ambiente é diminuído, o fogo se atenua, a taxa de transferência de calor do fogo se abrandando e como resultado a temperatura decai. Quando a ventilação ocorre, como quando abrimos uma porta ou janela, oxigênio é introduzido no ambiente. O oxigênio se mistura com os gases aquecidos do ambiente e o nível de energia começa a aumentar. Essa mudança na ventilação pode resultar em um rápido aumento no desenvolvimento do fogo, podendo potencialmente levar a uma situação de flashover (NIST, 2018).

⁷ É a deflagração rápida e violenta da fumaça aquecida e acumulada no ambiente pobre em oxigênio, em forma de explosão, no momento em que essa massa gasosa entra em contato com o oxigênio (CORPO DE BOMBEIRO MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2009).

Figura 1 - Desenvolvimento do fogo em ambiente fechado



Fonte: National Institute of Standards and Technology, 2018

2.2 Compartimentação

A compartimentação é uma medida de proteção passiva com objetivo de evitar ou ao menos reduzir as perdas relacionadas em um eventual incêndio. Está relacionada com diversos fatores, dentre eles: urbanísticos (distância entre edificações), arquitetônicos (dimensões e formas de espaços fechados, terraços e sacadas), espaços compartimentados (áreas permanentes ou transitórias) e projeto estrutural com vistas a ocorrência de incêndio (ONO, COSTA, & SILVA, 2005).

A compartimentação horizontal é uma subdivisão de pavimento em duas ou mais unidades autônomas executada, por meio de paredes e portas resistentes ao fogo, objetivando dificultar a propagação do fogo e facilitar a retirada de pessoas e bens. Enquanto a compartimentação vertical é o conjunto de medidas de proteção contra incêndios que tem por finalidade evitar a propagação de fogo, fumaça ou gases de um pavimento para outro, interna ou externamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

A compartimentação horizontal, foco do estudo, está relacionada diretamente a estanqueidade, ou seja, capacidade de o elemento estrutural impedir a penetração de chamas e calor através de fissuração excessiva ou fraturas para os compartimentos adjacentes, o suficiente para ignizar um chumaço de algodão (VARGAS & SILVA, 2003).

Os principais propósitos da compartimentação são:

- Conter o fogo em seu ambiente de origem;
- Manter as rotas de fuga seguras contra os efeitos do incêndio;
- Facilitar as operações de resgate e combate ao incêndio.

A compartimentação horizontal pode ser obtida através dos seguintes dispositivos, (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA POLÍCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO 2004):

- Paredes e portas corta-fogo;
- Registros corta-fogo nos dutos que traspassam as paredes corta-fogo;
- Selagem corta-fogo da passagem de cabos elétricos e tubulações das paredes corta-fogo; e
- Afastamento horizontal entre janelas de setores compartimentados

Ao longo dos anos, os móveis que compunham as residências tiveram uma mudança em sua composição. Antes feitos de madeiras nobres, algodão e outros tecidos naturais, foram substituídos por tecidos sintéticos e madeiras compactadas de baixa densidade. A diferença no comportamento do fogo nesses materiais foi estudada no início dos anos 80, comparando sofás. O móvel, feito em algodão, teve uma taxa de liberação de calor de 370 kW depois de 910s da ignição, enquanto o de material sintético alcançou 1.990 kW após 260s. Ambos liberaram quantidade similar de energia, 419 MJ e 425 MJ, respectivamente. Pode-se notar que mesmo com quantidades totais de energia liberada similares, os novos materiais tendem a liberar calor a uma taxa mais elevada, exaltando ainda mais a importância da rápida atuação do corpo de bombeiros (KERBER, 2012).

Em geral, são utilizadas em apartamentos, portas comuns de madeiras, diferentemente das portas corta-fogo. Aquelas, não foram desenvolvidas para resistirem ao fogo, nem são estanques a fumaça. A utilização de portas comuns, maciças ou ocas, oferece uma considerável proteção no sentido da compartimentação, sendo capazes de dificultar tanto a propagação do calor quanto da fumaça, sendo, exploradas nesse estudo (ATF FIRE RESEARCH LABORATORY, 2011). O trabalho utilizará um simulador de incêndio para analisar a influência do fechamento de portas na ocorrência de um incêndio, bem como a manutenção de

janelas fechadas, pois, sua abertura, normalmente na intenção de extrair fumaça, pode aumentar a ventilação do ambiente, inserindo oxigênio.

2.3 Visibilidade

Devido aos produtos contidos na fumaça, entre eles a fuligem - material sólido suspenso na massa gasosa - esta possui a característica de ser opaca, diminuindo sua visibilidade de acordo com a quantidade de materiais em suspensão. A visibilidade durante a fuga influencia diretamente o comportamento dos ocupantes em sua tomada de decisão e em sua direção e velocidade de deslocamento. A alta temperatura da fumaça pode impedir completamente a passagem de uma pessoa pelo local, modificando sua rota de fuga. A concentração da fumaça impede a visibilidade total do ambiente, tornando a velocidade da fuga mais lenta. Outro fator que reduz significativamente a velocidade é a posição de deslocamento. Uma pessoa em pé se desloca muito mais rápido que uma pessoa agachada, e esta, mais rápido que uma pessoa que se desloca em três pontos, ou com a cabeça o mais próximo do solo, de modo a evitar o contato com a fumaça quente e mais concentrada que se localiza nas partes mais altas (MARIANI & CARLOS, 2016).

O correto controle de fumaça em edificações é de suma importância para a preservação da vida uma vez que a intoxicação pelos gases produzidos em um incêndio pode provocar a incapacitação dos ocupantes, dificultando o abandono e, em casos extremos, provocando a morte dos mesmos (CARLOS, MARIANI, & MORAES, 2016).

O pé-direito dos andares utilizados na simulação é de 2,70m. No entanto, com a geração de fumaça uma espécie de bolsão de gases começa a se formar na parte superior, diminuindo cada vez mais a altura de ar ainda disponível. Desta forma, as pessoas não mais se deslocarão na posição ereta, mas sim, agachadas, reduzindo a velocidade de deslocamento e seu campo de visão. Aquelas que tentarem em deslocar-se na posição em pé terão dificuldades para respirar e visualizar os obstáculos da rota de fuga (ALVES, CAMPOS, & BRAGA, 2008)

A NBR 13434 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), de sinalização de segurança contra incêndio e pânico versa, entre outras coisas, sobre a sinalização de orientação e salvamento, que visa indicar as rotas de saída e ações necessárias. Elas devem apresentar efeito fotoluminescente, para que sejam melhor

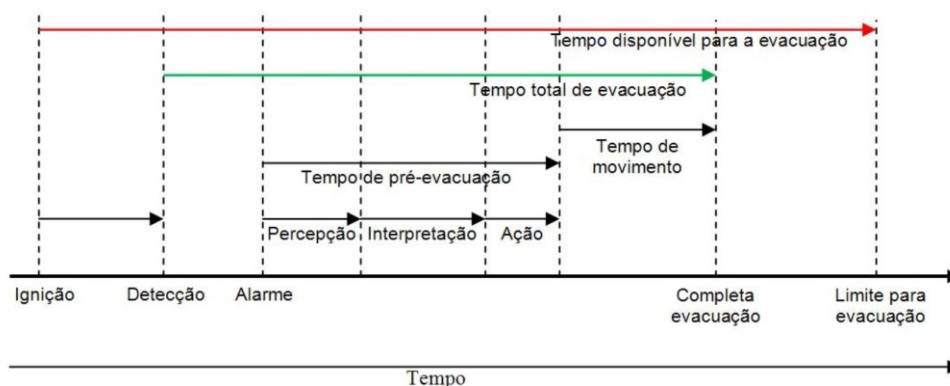
visualizadas em condições de pouca, ou nenhuma luminosidade, e deve ser instalada de modo que a distância de percurso de qualquer ponto da rota de saída até a sinalização seja de no máximo 7,5m. Portanto, como métrica, este trabalho utilizará como uma visibilidade prejudicada, qualquer visibilidade abaixo dos 7,5m indicado pela norma NBR 13434, de 2004.

2.4 Comportamento Humano

O comportamento de cada ocupante frente as ameaças, durante um sinistro de incêndio, é de vital importância no tempo de fuga necessário para abandono total do edifício. O tempo necessário para o abandono deve ser menor do que o tempo disponível para a fuga. Pode-se estimar esse tempo através de modelos de propagação do fogo, e de abandono. Os modelos de propagação do fogo podem prever a movimentação da fumaça em uma edificação, já os modelos de abandono podem prever a movimentação das pessoas em um prédio no caso de fuga (FAHY, 2002).

A contagem deste tempo inicia-se na eclosão do incêndio, terminando com a saída de todas as pessoas do prédio. De acordo com o *Handbook of Fire Protection Engineering* (SFPE, 2002), podemos estimar o tempo total de abandono como sendo a soma dos vários tempos de detecção, alarme, reação e do movimento de fuga propriamente dito, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Tempo total de abandono e seus componentes



Fonte: SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERING, 2002

O tempo de pré-evacuação (pré-abandono) é um dos mais complexos para ser estimado, por muito tempo presumiu-se que todos os ocupantes, assim que tomassem conhecimento da ocorrência de um incêndio, começariam a abandonar o prédio instantaneamente. Entretanto, a partir de dados colhidos em diversos incêndios, foi

constatado que sempre há um tempo entre o alarme e o início do movimento de fuga (MARTINS, RODRIGUES & BRAGA, 2009). A reação das pessoas não era imediata, criando-se nos novos modelos para esse tempo entre o alarme da ocorrência do incêndio e o início da fuga.

Entre 60% e 80% dos óbitos imediatos ocorridos na cena de um incêndio são atribuídos à inalação de fumaça (ANSEEUW, et al., 2013). É o produto da combustão que mais afeta, de várias maneiras, as pessoas por ocasião de abandono da edificação. A trajetória da fumaça dentro do edifício está diretamente ligada à sua compartimentação (horizontal ou vertical, como corredores, dutos, caixas de escada não protegidas, entre outros). Tal compartimentação é, em sua maioria, definida ainda na fase de projeto de arquitetura. (ALVES A. B., 2010).

A aleatoriedade dos incêndios, e por se tratarem de fenômenos normalmente violentos, faz do abandono dos locais de maior risco a estratégia mais confiável de salvamento de vidas humanas. A reação ao fogo dos materiais aplicados em uma edificação tem grande influência sobre o tempo disponível para o abandono das pessoas envolvidas nos incêndios (ETRUCO, 2002).

2.4.1 Efeitos no corpo humano

O comportamento humano também está relacionado as reações que o corpo pode ter ao encontrar um ambiente com concentrações específicas dos gases que compõem a atmosfera diferentes das normais, como o dióxido de carbono (CO_2) ou o monóxido de carbono (CO). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em sua Resolução Nº 09, de 16 de janeiro de 2003, recomenda a concentração máxima de 1000 partes por milhão (ppm) de CO_2 em um ambiente, a partir da qual o ar é considerado como contaminado quimicamente (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003). Segundo a NR 15, a concentração máxima de CO, em um ambiente fechado, não deve passar de 20 ppm (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2018).

Tabela 1 - Efeitos da concentração de CO_2 (dióxido de carbono)

Concentração de CO_2	Efeitos
400 ppm	Concentração normal no ambiente externo.

400 – 1000 ppm	Concentração encontrada basicamente em espaços ocupados, mas com boa ventilação
1000 – 2000 ppm	Concentração relacionada a queixas de sonolência e sensação de abafamento
2000 – 5000 ppm	Concentração relacionada ao aparecimento de dores de cabeça, sonolência, baixa concentração, aumento da frequência cardíaca e náuseas
> 5000 ppm	Concentração relacionada à toxicidade e privação de oxigênio
> 40000 ppm	Concentração altamente prejudicial relacionada à privação de oxigênio

Fonte: Laboratório de Ambientes Climatizados - LAC, 2018

Tabela 2 - Efeitos da concentração de CO (monóxido de carbono)

Concentração de CO	Efeitos
10 ppm - 15 ppm	Nenhum
15 ppm - 60 ppm	Diminuição da capacidade visual
60 ppm - 100 ppm	Dores de cabeça
100 ppm - 270 ppm	Tontura, fraqueza muscular
270 ppm - 800 ppm	Inconsciência
> 800 ppm	Morte

Fonte: Laboratório de Ambientes Climatizados - LAC, 2018

O processo de combustão consome oxigênio enquanto produz os produtos de sua reação. Com o passar do tempo, a concentração dos produtos se torna maior que a dos reagentes, em um ambiente fechado. Assim, esses gases ocupam o espaço do oxigênio e diminuem sua concentração. Em concentrações normais, o dióxido de carbono não é uma substância tóxica, mas em maiores concentrações, “expulsa” o oxigênio do local, diminuindo sua concentração e dificultando as trocas gasosas normais do corpo humano. A concentração normal de oxigênio na atmosfera é de aproximadamente 20,8%. Quando ela é menor que 18% o corpo começa a reagir aumentando a frequência respiratória: causando tontura, desorientação,

inconsciência (10%), ou até morte, quando a concentração chega a cerca de 5% (SFPE, 2002).

3 METODOLOGIA

Este trabalho é um estudo de caso analítico, procurando problematizar o seu objeto, desenvolvendo novas teorias, proporcionando avanços do conhecimento, a partir da hipótese de que o ato de fechar portas ou janelas dificulta o desenvolvimento do fogo, restringindo seus produtos - calor e fumaça - ao local afetado e retardando a propagação do incêndio (YIN, 2001). Conforme salientou-se na introdução, este trabalho empregou como ferramenta de simulação numérica, o FDS, amplamente utilizado para simulação de incêndios, com visualização através da ferramenta *Smokeview*. Estas ferramentas são empregadas para melhor entendimento da dinâmica do incêndio em sinistros findados, e são utilizadas no desenvolvimento de novos empreendimentos, simulando incêndios e prevendo possíveis cenários de risco, podendo assim evitar ou minimizar seu potencial, ainda na fase de projeto (TABACZENSKI, et al., 2017).

A ferramenta foi utilizada para quantificar a influência na dinâmica do incêndio do hábito comum de deixar portas ou janelas abertas ao se evadir de um local com foco de incêndio. Em um prédio de três andares, tendo seu foco inicial no quarto de um apartamento, no primeiro andar, de três quartos, com dimensões características do Plano Piloto, em Brasília, Distrito Federal.

3.1 Simulador Dinâmico de Incêndios – FDS

Este estudo utilizou o *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*), uma ferramenta de cálculo numérico difundida na simulação computacional do incêndio, que possui uma boa relação entre casos reais e simulações feitas com o programa, e também conhecido pela sua precisão. Estudos realizados pelo próprio instituto mostram essa relação, como no incêndio que ocorreu dentro de um apartamento em Baltimore no ano 2011 e que mostrou a correlação dos fatos investigados pela perícia e os resultados da simulação numérica do caso (NAUM, 2012).

O FDS é um modelador de incêndio com base em dinâmica computacional de fluidos (*Computational Fluid Dynamics* - CFD). O Software resolve numericamente uma forma específica das equações de Navier-Stokes apropriada para baixa velocidade (BAUM & REHM, 1978), com fluxo termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça dos incêndios. Sendo utilizado no estudo de escoamentos lentos e progressivos, não sendo apropriado para simular propagações rápidas, como deflagrações ou detonações. Para visualizar os resultados obtidos da simulação no FDS foi utilizado o programa *Smokeview* (MCGRATTAN, 2006).

O FDS também não é adequado para simular reações químicas específicas, utilizando apenas as propriedades de materiais sólidos como calor específico, condutividade térmica e densidade. São processos complicados de se descrever apenas com essas características, havendo inúmeras premissas nesse sentido, como publicado na comunidade FDS-SMV (SHEPPARD, 2009). Para isso, esse estudo usou uma abordagem mais simples, tendo como fonte de calor um fluido/gás inflamável, com taxa de liberação de calor e massa constantes, já que as reações das cadeias hidro carbonadas são simples de se prever e serem calculadas pelo programa, fornecendo um resultado mais preciso (MCGRATTAN, 2006).

Para a realização dos cálculos o programa necessita de alguns dados de entrada, dentre eles, o número de células que compõem a malha, que é a divisão do espaço amostral. Buscando uma relação entre tempo de cálculo e precisão dos resultados foram utilizadas células com 10cm no ambiente sinistrado e 20cm nos demais ambientes, como recomendado em estudos similares (HAMINS, 2009).

3.2 Smokeview

Smokeview é um programa de visualização que foi desenvolvido para mostrar os resultados dos cálculos feitos pelo FDS, sendo capaz de produzir fotos e animações. (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2018)

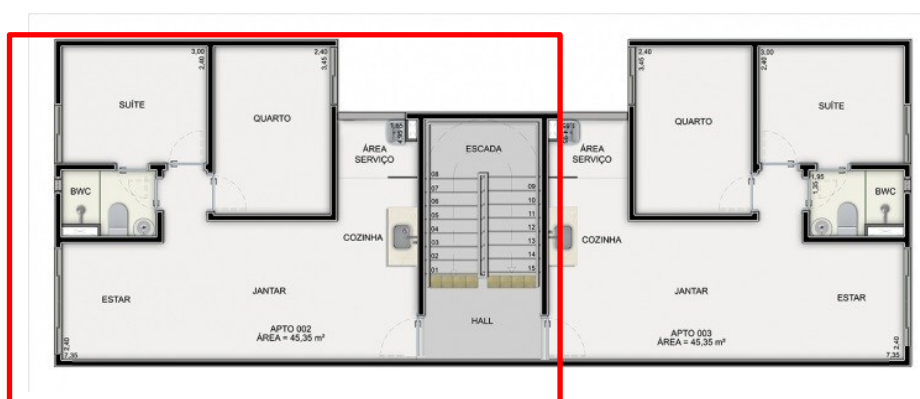
3.3 Apartamento Utilizado

A simulação foi realizada em um prédio de três pavimentos, que não possui escadas enclausuradas (escada ventilada e isolada do hall dos apartamentos e por paredes e portas corta fogo), comum na zona urbana de Brasília. Sendo considerado os pavimentos da seguinte forma: O primeiro pavimento foi considerado como 1º

andar, o segundo como 2º andar e o terceiro como 3º andar. A planta do apartamento utilizado para a simulação será uma residência de dois quartos, com cozinha, banheiro e área de serviço, como na *Figura 3*. O pé-direito dos andares utilizados na simulação é de 2,7m. A planta corresponde a muitas das utilizadas na construção de Brasília, mais especificamente na SQS 413, no Plano Piloto. Vários códigos de obras do Plano Piloto modificaram as plantas dos edifícios, em 1960, 1967, 1989 e 1998. Seguindo as premissas de Le Corbusier, na fachada da frente, são voltados os compartimentos nobres (sala e quartos) sendo usualmente caracterizada por grandes janelas corridas. Para os fundos ficam área de serviço, cozinha e dependências dos empregados (BRAGA, 2005).

O código de obras 1960 ordena: “As áreas de serviço deverão ter elementos vazados que as protejam da visibilidade externa e impeçam a colocação de roupas para secar nos peitoris...”. Muitos foram concebidos para serem vazados, ou seja, terem conexão entra a frente e a parte de trás do edifício, tendo assim melhor ventilação (BRAGA, 2005).

Figura 3 - Planta Baixa de um apartamento na SQS 413, em destaque a parte utilizada na simulação



Fonte: BLOGSPOT, 2016

3.1 Queimador

Um recipiente quadrado, com 1m² de área e a 30cm de altura, simulou o incêndio. Sendo modelado como etanol líquido, combustível padrão utilizado em queimas simuladas, seus resultados foram adquiridos com diversos testes físicos, e utilizados para correlacionar e ajustar os parâmetros de simulação dentro do programa FDS. A taxa de liberação de calor é de 5000 W, equivalente a uma sala inteira em

chamas, levando 150 segundos para alcançar 100% de sua potência (DEHAAN, 2007).

3.2 Cenários

Cada simulação ocorre durante os 10 primeiros minutos (600 segundos) do início do incêndio, tendo dois cenários analisados. Em ambos os cenários foi considerado que o incêndio se iniciou no primeiro pavimento, no quarto mais distante da porta. O trabalho procura quantificar a janela de tempo disponível para um abandono seguro. Serão dois cenários que simularão um ambiente confinado no apartamento, compartimentado através da porta principal e de uma das janelas da sala do apartamento, podendo perder essa compartimentação através da quebra de uma das janelas. Através de dados obtidos da simulação, como a concentração de oxigênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, a visibilidade através da fumaça e a temperatura aproximada, fatores esses que dificultam uma fuga segura sem equipamentos adequados. A simulação não salienta a propagação do fogo, portanto não possui outros combustíveis nos cenários se não aquele utilizado no foco. A percepção do morador com relação ao incêndio, momento em que este se levantará e fechara ou não as portas e janelas, será quando a temperatura no meio da sala atingir 40°C a 1m de altura do piso, a concentração de CO₂ atingir 1000 ppm (concentração que causa sonolência e sensação de abafamento) ou a concentração de CO atingir 20 ppm (onde pode ocorrer diminuição da capacidade visual), levando 5 segundos para fechá-las.

Um cenário, chamado de “Fechado” terá todas as portas e janelas do apartamento fechadas, exceto uma das janelas, a da área de serviço (tanto para não restringir completamente a fuga da fumaça, quanto para simular esse tipo de local, que normalmente ficam com as janelas abertas para ventilação), podendo ter outras aberturas caso a temperatura da janela alcance 300°C, temperatura em que os vidros provavelmente não resistiriam e se romperiam (SKELLY, 2014). O objetivo do cenário “Fechado” é simular que o proprietário se evadiu do apartamento assim que percebeu o incêndio, fechando as janelas e a porta principal ao sair, ou em um incêndio que se iniciou com ninguém no local, como se o incêndio tivesse começado em um modem de internet, por exemplo.

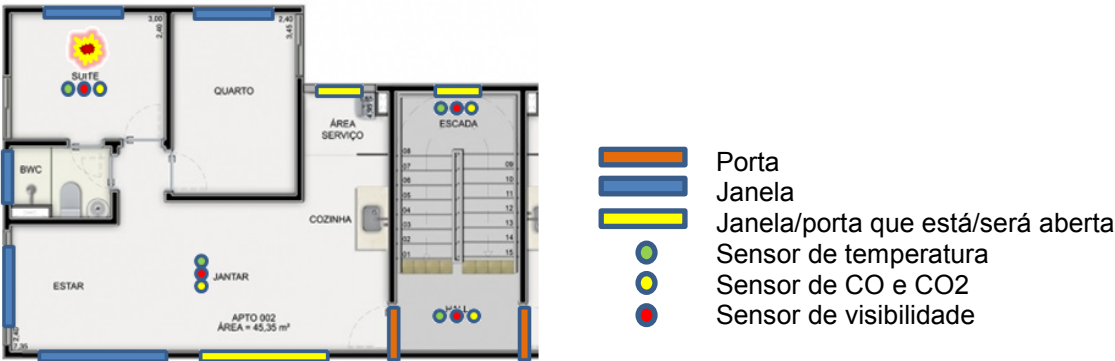
Outro cenário, denominado “Aberto”, terá uma das janelas da sala sempre aberta, bem como a janela da área de serviço. A porta de entrada será aberta assim que o morador perceber o incêndio, igualmente ao cenário “Fechado”, e permanecerá assim, considerando que morador manteve a janela e porta abertas ao acordar, deixando-a aberta por esquecimento, ou com o intuito de ventilar o ambiente, o que faria com que a fumaça se propagasse para a caixa de escada.

Tabela 3 - Eventos em cada cenário

<i>Cenário</i>	<i>Abertura</i>	<i>Condição Inicial</i>	<i>Após perceber o incêndio</i>
<i>Fechado</i>	Porta sala	Fechada	Fechada
	Janela sala	Aberta	Fechada
<i>Aberto</i>	Porta sala	Fechada	Aberta
	Janela sala	Aberta	Aberta

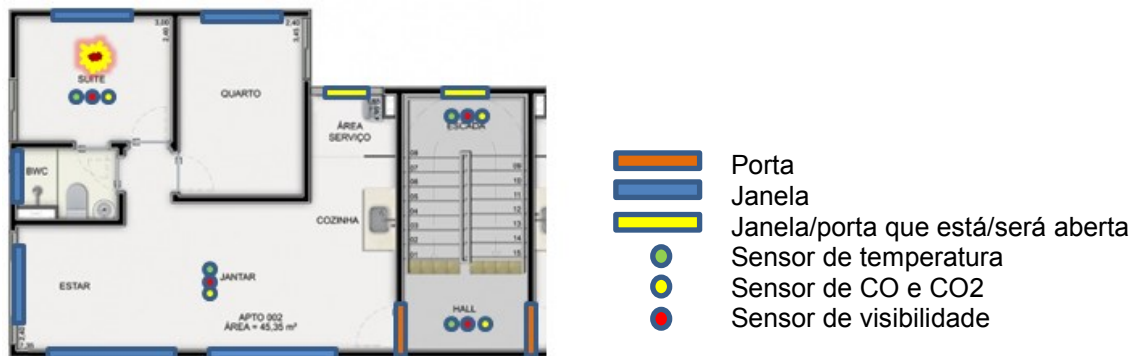
Fonte: O autor

Figura 4 - Localização dos sensores



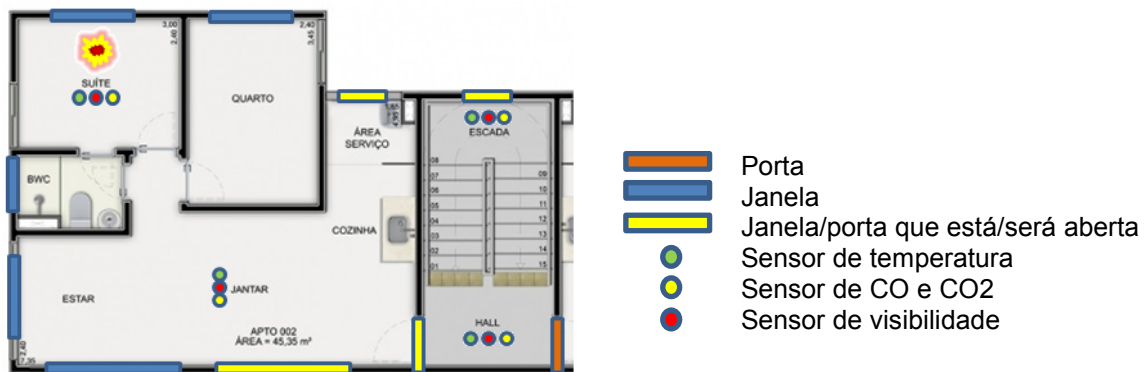
Fonte: O autor

Figura 5 - Cenário "Fechado"



Fonte: O autor`

Figura 6 - Cenário "Aberto"



Fonte: O autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação numérica forneceu dados de concentração de oxigênio, de monóxido de carbono e de dióxido de carbono, bem como de visibilidade e temperatura, todos em função do tempo, nos 600s (10 minutos) de simulação. Dados estes, que não seriam obtidos em um incêndio real sem um grande aparato de equipamentos e pessoas.

A extensão das lesões causadas pela intoxicação é dependente da concentração dos gases presentes, da duração, da exposição e das morbididades do indivíduo exposto. O tempo exato de exposição aos gases é uma variável muito instável e dependente da reação de cada pessoa, portanto de difícil controle. Assim sendo, o foco das análises foi na concentração de cada um dos gases ao longo do

tempo, e suas possíveis consequências segundo estudos anteriores, evidenciados no item 2.4.

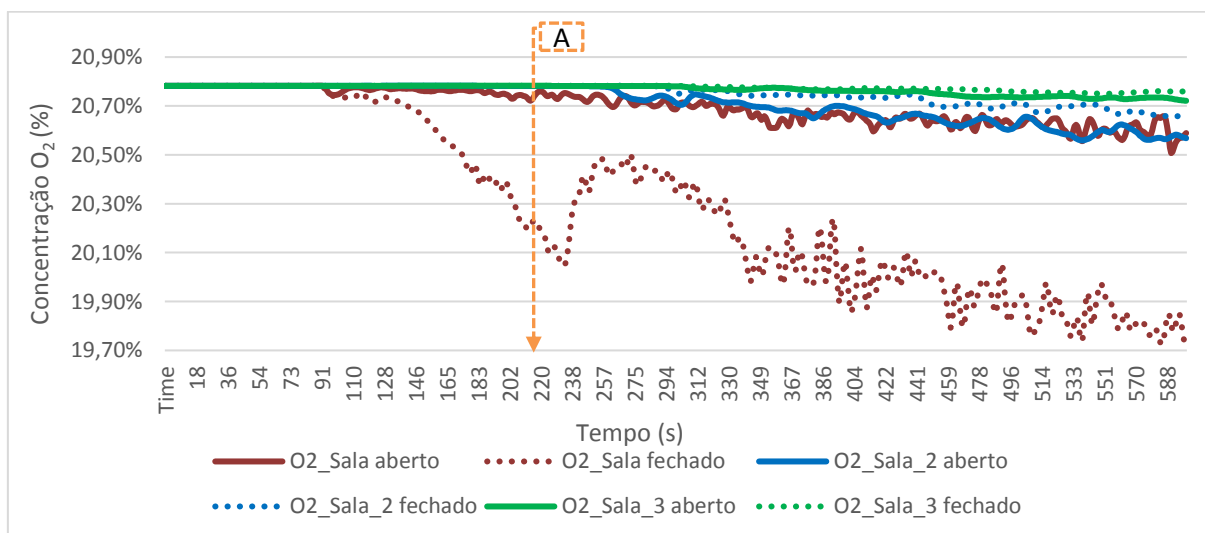
4.1 Concentração de Oxigênio

Como visto em 2.4.1, a concentração normal de oxigênio na atmosfera é de aproximadamente 20,8%, e quando ela é menor que 18%, o corpo começa a sofrer alterações fisiológicas de forma a tentar melhorar a absorção de oxigênio devido a essa baixa concentração.

4.1.1 Nos centros das salas

A concentração de oxigênio não atingiu níveis muito abaixo do normal (de 20,8% passou para 19,7%) em nenhum dos cenários no centro da sala, não atingindo concentrações que causariam alterações fisiológicas. Entretanto, é importante ressaltar que as trocas gasosas do corpo humano dependem da concentração de outros gases, como visto em 2.4, que também foram avaliados. Pode-se perceber a influência da ruptura da janela do quarto incendiado na concentração de oxigênio aos 210s, momento em que há um aumento repentino da concentração de oxigênio no local.

Figura 7 - Concentração de oxigênio no centro das salas. (A) Momento de ruptura da janela (210s)

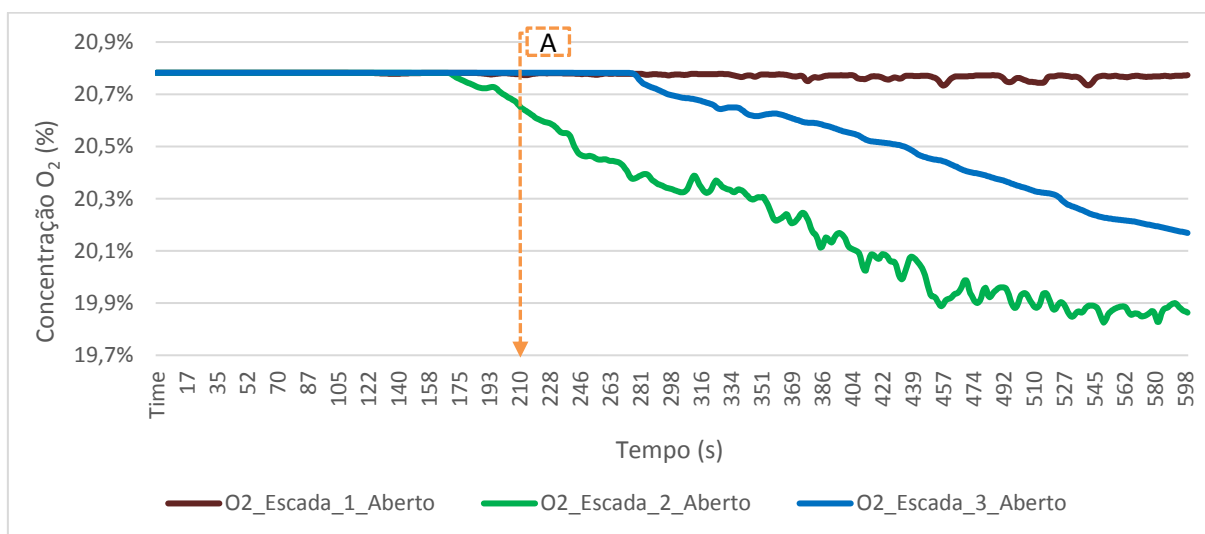


Fonte: O autor

4.1.2 Na caixa de escada

Assim como no centro das salas, a concentração de oxigênio na caixa de escada não atingiu níveis muito abaixo do normal, no cenário aberto variou de 20,8% para 19,7%, já no cenário fechado, se manteve em 20,8%, pois praticamente não houve fuga de fumaça para a caixa de escada. Não sendo a concentração de oxigênio, um fator determinante para o abandono seguro nesses cenários.

Figura 8 - Concentração de oxigênio na caixa de escada, cenário aberto



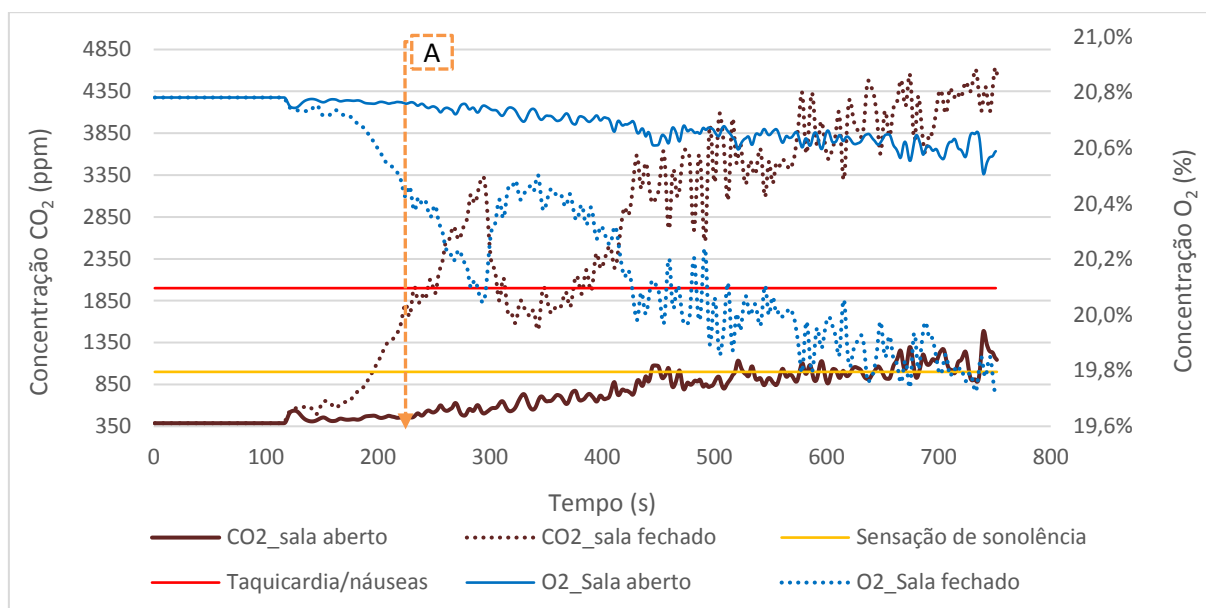
Fonte: O autor

4.2 Concentração de dióxido de carbono (CO₂)

4.2.1 Nos centros das salas

A concentração de dióxido de carbono no apartamento incendiado ultrapassa as 1000 ppm em 200s no cenário fechado, e em 450s no cenário aberto. Pode-se perceber que com o cenário fechado a concentração de CO₂ aumenta na medida que a concentração de O₂ diminui, o que acontece rapidamente até os 240s, momento em que a janela do quarto incendiado se rompe, e há uma rápida inversão no sentido das concentrações, que voltam ao seu comportamento após os 400s. Já no cenário de portas abertas pode-se perceber que as concentrações diminuem/aumentam mais lentamente, permitindo que o fogo permaneça alimentado por maior tempo.

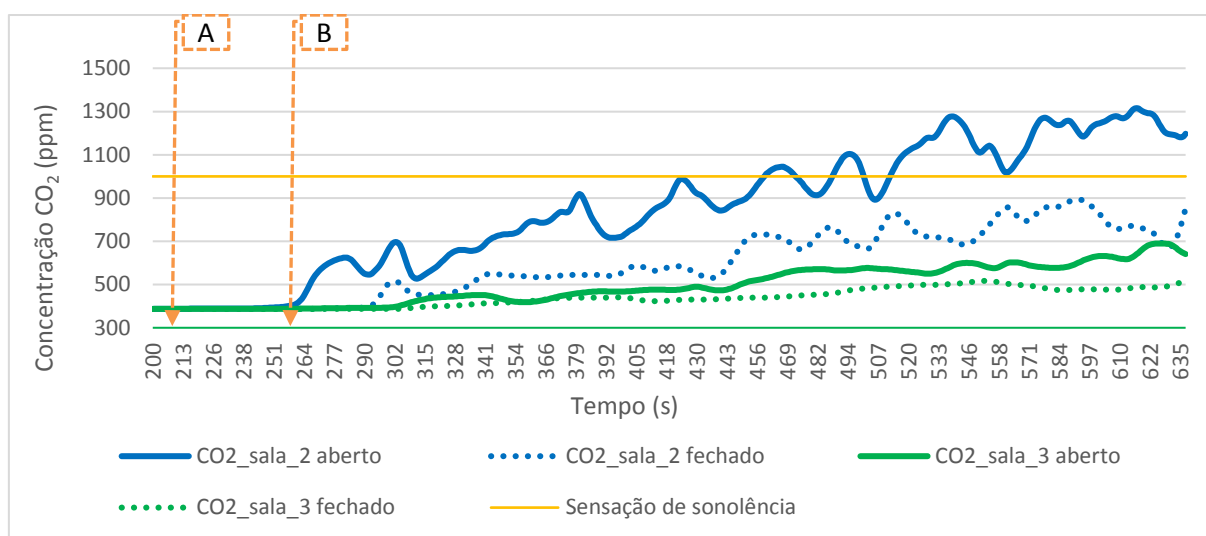
Figura 9 - Concentração de dióxido de carbono no centro do da sala do apartamento incendiado. (A) Momento de ruptura da janela (210s)



Fonte: O autor

A concentração de dióxido de carbono não atinge níveis muito altos no segundo ou no terceiro pavimentos. No segundo pavimento, no cenário com portas e janelas abertas, chega a ultrapassar 1000 ppm aos 450s, entretanto, não seriam concentrações muito tóxicas para pequenas exposições. Após o deslocamento de fumaça pela caixa de escada, pode-se perceber um aumento significativo na concentração de CO₂ após 210s, momento de ruptura da janela do quarto sinistrado e aos 260s, momento em que a fumaça chega no terceiro andar e fica retida, tendo como únicos meios de saída as janelas da escada. Vale-se ressaltar a importância de avaliar a concentração dos demais gases e do tempo de exposição.

Figura 10 - Concentração de dióxido de carbono nas salas do 2º e 3º andar. (A) Momento de ruptura da janela (210s). (B) Momento em que a fumaça atinge o 3º andar (260s).



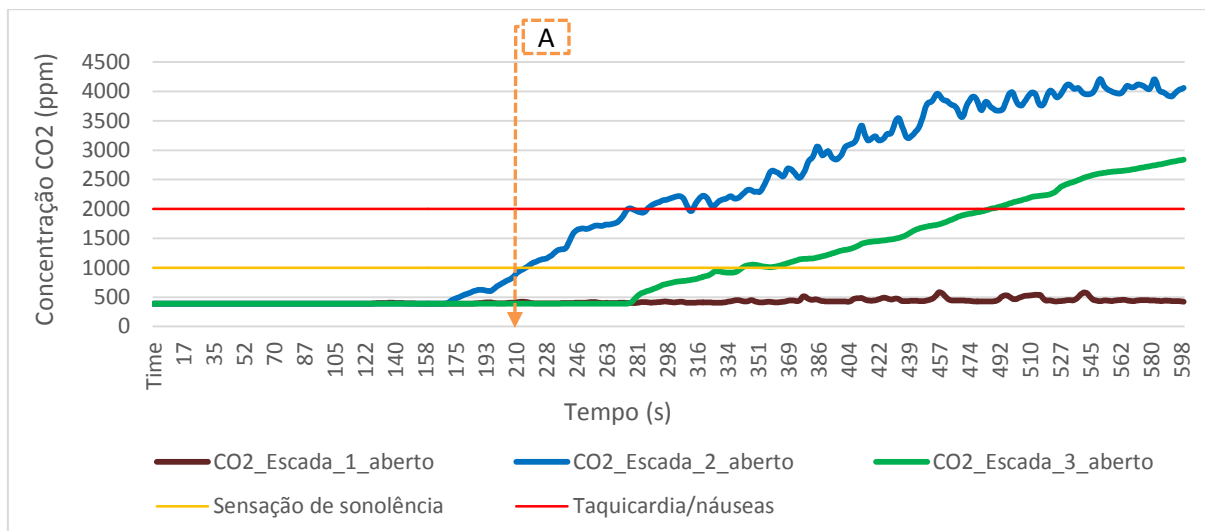
Fonte: O autor

4.2.2 Na caixa de escada

A concentração de CO₂ no 1º andar permanece abaixo das 500 ppm durante toda simulação, concentração considerada normal, devido a alguns fatores: o fato do medidor estar a uma altura de 90cm em um pé direito de 270cm; dos gases quentes serem mais leves, e se dirigirem para as partes mais altas do edifício; da geometria das escadas, pois logo ao sair do apartamento sinistrado a fumaça buscou as partes altas da escada e encontrou como saídas, as janelas de ventilação da escada. Pode-se notar que existe um aumento quase constante da concentração após os 260s, isto porque nesse momento, a fumaça atingiu o 3º andar, preenchendo toda a caixa de escada, tendo como saídas apenas as janelas de ventilação, que não eram capazes de retirar toda a fumaça produzida, deste modo, aumentando gradativamente a concentração de CO₂.

No 2º e 3º andar, ultrapassou a concentração capaz de causar sonolência aos 210s e aos 340s, respectivamente, dificultando o abandono. Aos 290s, no 2º andar, cerca de 5 minutos após o início do fogo, a concentração de CO₂ atinge o patamar de 2.000 ppm, capaz de gerar taquicardia, náuseas e dores de cabeça. Nesse instante, os moradores do 3º andar também ficariam impedidos, pois também deverão passar pelo 2º pavimento para abandonar o prédio. Ou seja, os moradores possuem cerca de 5 minutos para abandonarem o prédio devido a concentração de CO₂.

Figura 11 - Concentração de dióxido de carbono na caixa de escada. (A) Momento de ruptura da janela (210s).



Fonte: O autor

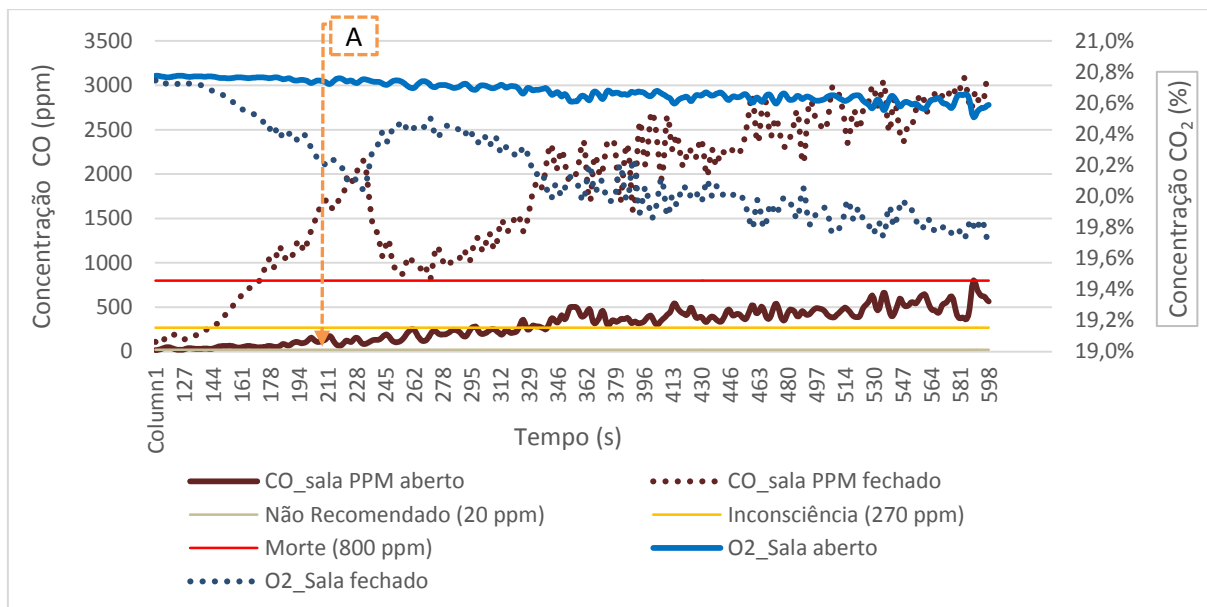
4.3 Concentração de monóxido de carbono (CO)

A concentração de monóxido de carbono (CO) chegou a níveis que afetariam a permanência de pessoas no local, ou até levariam à óbito. Entre os gases avaliados, o monóxido de carbono é o mais tóxico, pois tem uma característica química singular, é capaz de se ligar mais facilmente à hemoglobina do sangue que o próprio oxigênio, cerca de 240 vezes mais, atrapalhando o transporte de oxigênio para os tecidos, consequentemente no funcionamento do organismo (CONDE A, 2004).

4.3.1 Nos centros das salas

Os níveis de monóxido de carbono (CO) passam do aceitável quando atingem concentração acima de 20 ppm. No pavimento onde ocorre o incêndio esses níveis são alcançados em apenas 90s do início, em ambos os cenários, mostrando a rapidez com que a toxicidade da fumaça pode afetar a saúde, e níveis de inconsciência (270 ppm) em apenas 145s com a porta fechada e 290s com a porta aberta. Aos 180s ultrapassou o patamar que pode levar uma pessoa a óbito (800 ppm), no cenário de portas fechadas, e próximo aos 600s, no cenário de portas abertas, evidenciando que a baixa concentração de oxigênio aumentou a concentração de CO proporcionalmente.

Figura 12 - Concentração de monóxido de carbono no centro da sala do apartamento sinistrado (A) Momento de ruptura da janela (210s).



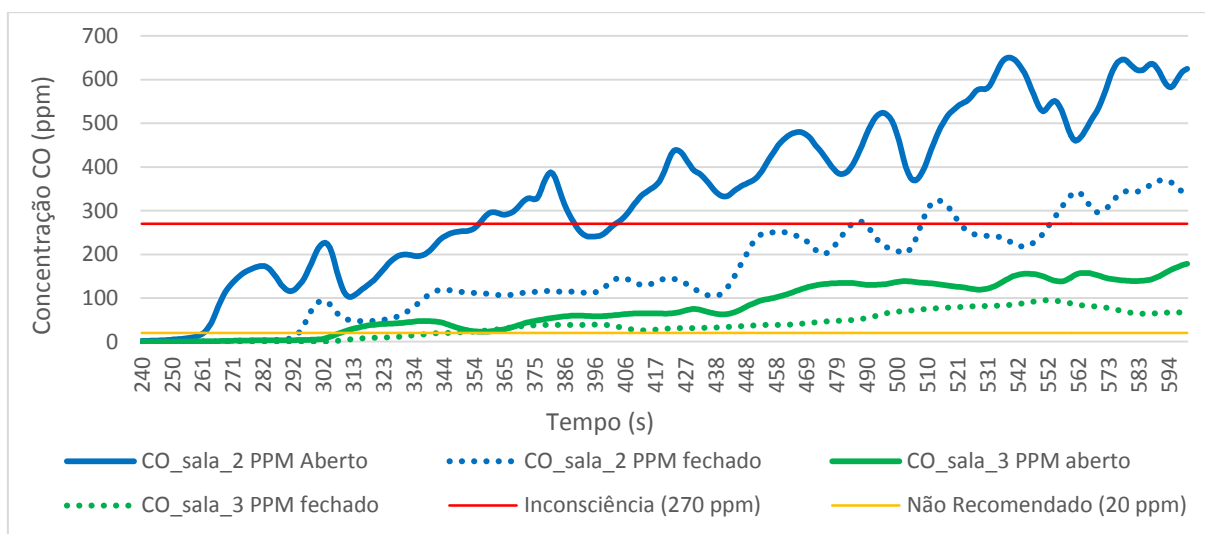
Fonte: O autor

A propagação da fumaça também é rápida para os outros pavimentos, no segundo andar, em apenas 260s, com a porta aberta, e em 290s com a porta fechada, já é alcançado o nível máximo aceitável de 20 ppm. Já no terceiro andar, o mesmo acontece em 300s com a porta aberta, e em 340s com a porta fechada. Pode-se perceber um atraso médio de 35s entre os cenários, tempo que poderia ser utilizado para um abandono mais seguro, caso a porta tivesse sido fechada.

A concentração de monóxido de carbono (CO) chega ao ponto de causar inconsciência (270 ppm) em uma pessoa no segundo andar, em apenas 350s com a porta aberta, e em 509s com ela fechada, cerca de 2 minutos e 30s. Já no terceiro pavimento, a concentração não chega a tal ponto nos 600s de simulação para ambos os cenários.

Após 360s, a concentração na sala do segundo andar ultrapassou o patamar capaz de levar uma pessoa à inconsciência (270 ppm), no cenário de portas abertas e em 504s no de portas fechadas. Ainda próximo aos 10 minutos de simulação, no cenário de portas abertas, a concentração no segundo andar chegou próximo à que poderia levar uma pessoa à morte (800 ppm).

Figura 13 - Concentração de monóxido de carbono no centro das salas do 2º e 3º andar

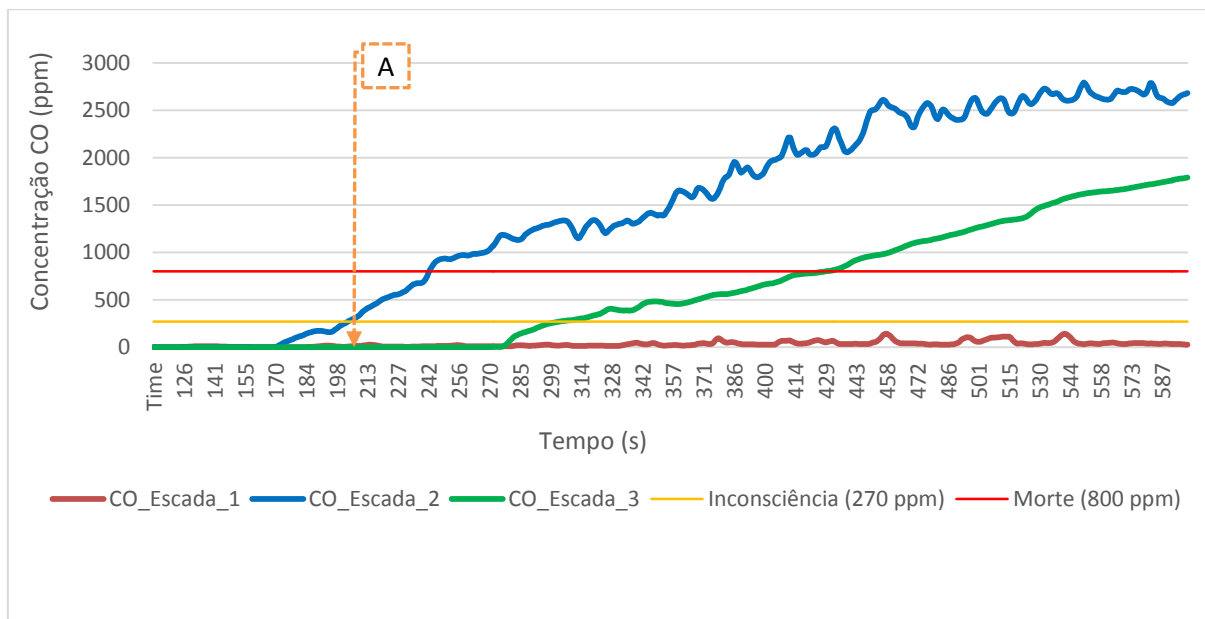


Fonte: O autor

4.3.2 Na caixa de escada

Na caixa de escada, a concentração de monóxido de carbono se torna um fator preponderante, por se tratar, na maioria das vezes, do único local de fuga dos ocupantes durante um incêndio. Os dispositivos medidores de concentração foram colocados ainda no hall dos apartamentos, no centro, entre as escadas que descem (direita) e as que sobem (esquerda), a uma altura de 80cm, considerando o caminhar já abaixado das pessoas. A concentração na caixa de escada do 3º andar ultrapassa a concentração causadora de inconsciência (270 ppm) aos 290s, cerca de 5 minutos após o início do incêndio, ou seja, os moradores do último andar, a priori, não seriam mais capazes de utilizarem a escada após esse período. No 2º andar o limite de inconsciência é alcançado aos 200s, uma janela de tempo de abandono de apenas 3 minutos e 20 segundos, para os moradores dos andares superiores ao apartamento sinistrado. No 1º andar, a concentração não ficou tão alta quanto nos outros pavimentos, mesmo fato explicado no item 4.2.2, não passou de 134 ppm, mas se manteve acima de 50 ppm após 340 segundos, pouco mais de 5 minutos, capaz de gerar desde diminuição da capacidade visual à tontura e dores de cabeça, podendo influenciar no abandono seguro de todos os demais pavimentos, pois todos os moradores deverão passar pelo 1º andar. No cenário fechado não houve variação significativa na concentração de CO na caixa de escada.

Figura 14 - Concentração de monóxido de carbono na caixa de escada, cenário aberto



Fonte: O autor

4.4 Visibilidade

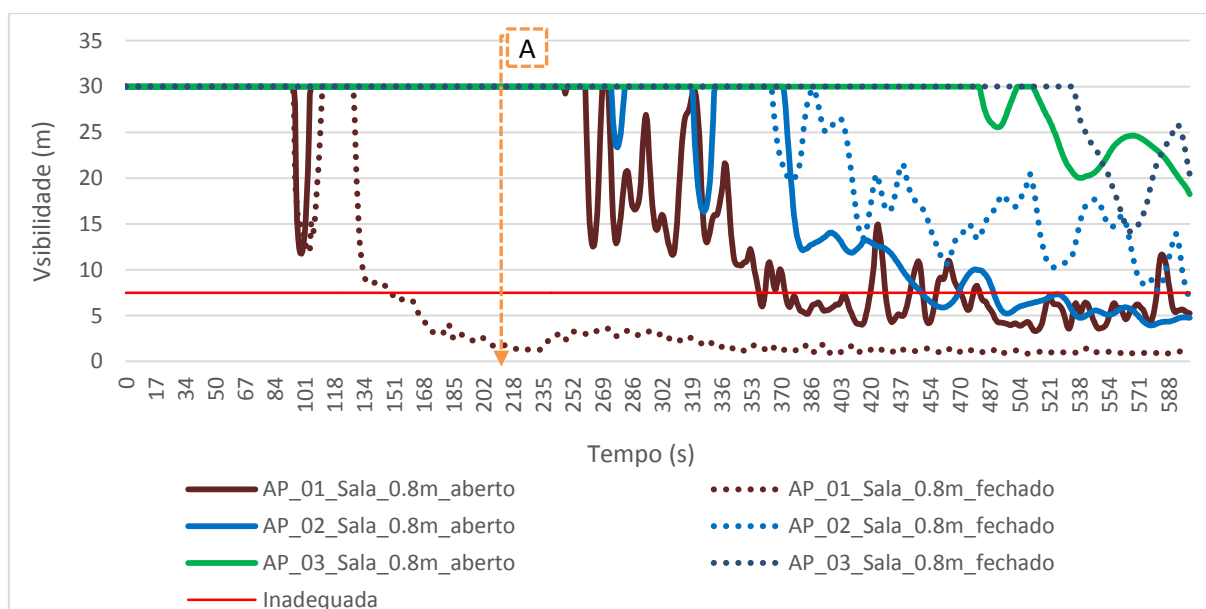
Um dos primeiros pontos a serem observados após a simulação é a visibilidade, um dos objetivos deste trabalho, diretamente relacionada à altura da camada de fumaça. Esta afeta de forma expressiva a maneira como ocorre a evacuação das pessoas, chegando a ser a maior causadora de mortes em caso de incêndio (ANSEEUW, et al., 2013). A altura da camada de fumaça foi avaliada através da concentração de oxigênio e na visibilidade, nas alturas de 0,8m e 1,6m, simulando uma pessoa se deslocando em pé, ou de joelhos. A visibilidade é o sentido que guia uma pessoa em uma situação de evacuação, seja observando as sinalizações, seja procurando aqueles caminhos já conhecidos. Como mencionado anteriormente, baseado na NBR 13434, a visibilidade considerada abaixo do aceitável seria de 7,5m.

Pode-se concluir da Figura 16, que a visibilidade dentro do apartamento não variou entre os dois cenários a 160cm do piso, entretanto a 80cm, na Figura 15, pode-se ver um atraso de 210s. De 60s no segundo andar a 80cm, e de 80s a 160cm. Já no terceiro andar, essa visibilidade abaixo de 7,5m, só é alcançada a 160cm de altura no cenário de portas abertas. No apartamento incendiado uma pessoa teria até 150s, no cenário de portas fechadas, e 360s no cenário aberto para abandonar o apartamento. Já no segundo andar, esse tempo vai de 440s para o cenário de porta

aberta a 600s com porta fechada. Esse comportamento de que o melhor cenário para a visualização é o cenário de portas abertas, caminha de encontro com a hipótese de que deixar as portas e janelas fechadas – cenário fechado - seria mais benéfico para o abandono seguro, o que era esperado. Entretanto, a fumaça que não está retida no apartamento incendiado está se deslocando por toda caixa de escada, influenciando no comportamento do fogo que poderia se propagar para outros lugares, e principalmente no abandono dos outros moradores que terão sua janela de tempo reduzida, ratificando a hipótese inicial.

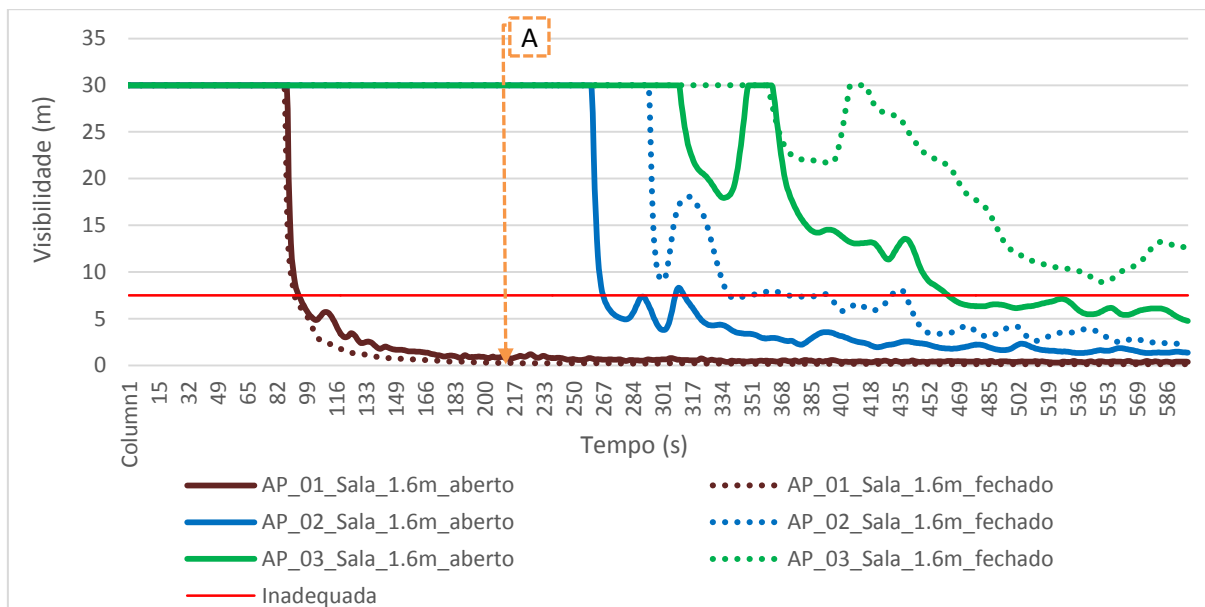
4.4.1 Nos centros das salas

Figura 15 - Visibilidade no centro dos apartamentos a 80cm do piso. (A) Momento de ruptura da janela (210s)



Fonte: O autor

**Figura 16 - Visibilidade no centro dos apartamentos a 160cm do piso. (A)
Momento de ruptura da janela (210s)**

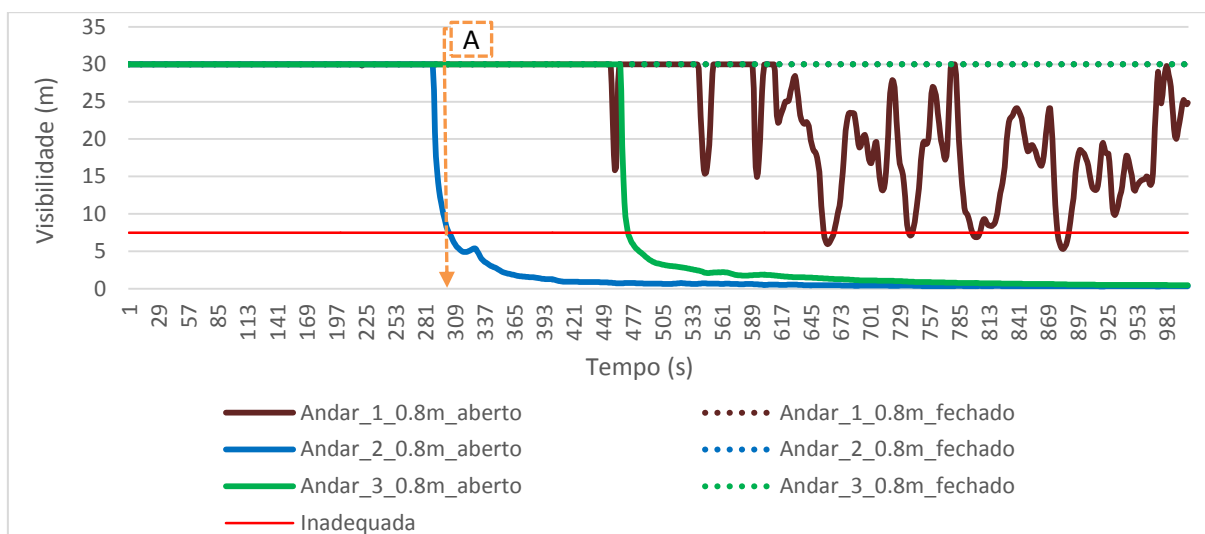


Fonte: O autor

4.4.2 Na caixa de escada

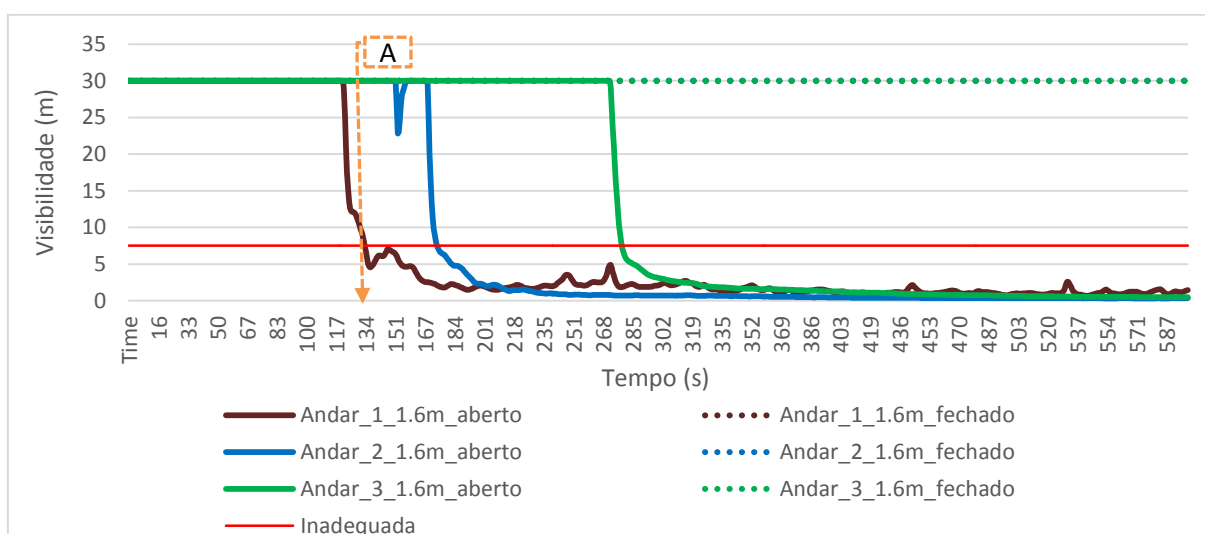
Na caixa de escada a visibilidade foi muito influenciada pela abertura da porta. Fazendo que com apenas 2 minutos do início do incêndio, já não fosse possível visualizar adequadamente as escadas do prédio ao se deslocar de pé, a 160cm do piso, e em 3 minutos e meio, ajoelhado, a 80 cm do piso. Vale ressaltar que os moradores dos andares superiores deverão passar pelos *halls* (patamar da caixa de escada) dos apartamentos inferiores, evidenciando que o comportamento de se fechar portas é essencial para um adequado abandono dos moradores dos demais apartamentos.

Figura 17 – Visibilidade na caixa de escada a 80cm do piso. (A) Momento em que a visibilidade fica abaixo de 7,5m no segundo andar.



Fonte: O autor

Figura 18– Visibilidade na caixa de escada a 160cm do piso. (A) Momento em que a visibilidade fica abaixo de 7,5m no primeiro andar.



Fonte: O autor

4.5 Temperatura

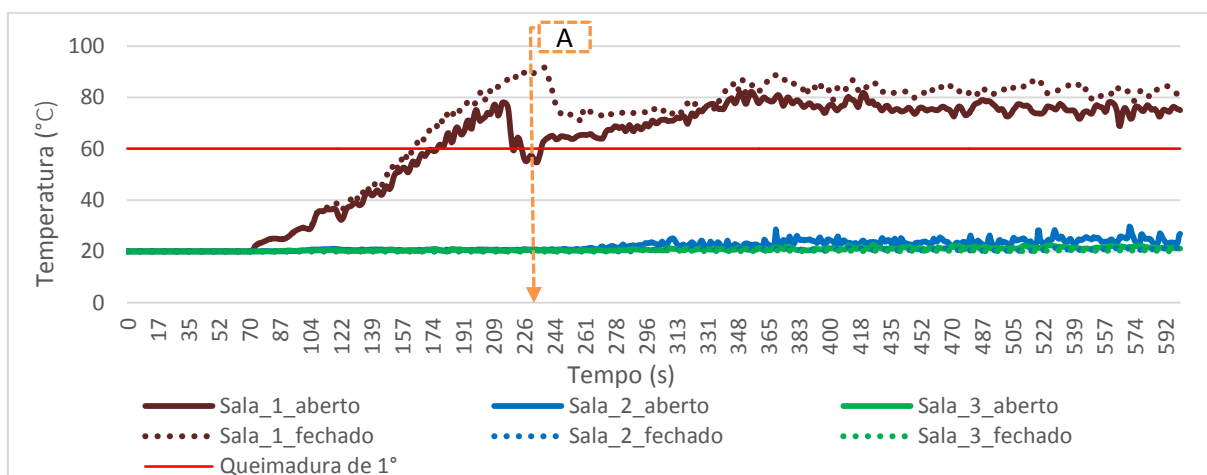
A fumaça gerada também tem uma outra característica que influencia no comportamento humano, ser quente, por transportar consigo grande parte da energia liberada pelo fogo, pode atingir temperaturas muito elevadas. Levou cerca de 4 minutos para que a temperatura no centro da sala do apartamento atingisse 60 °C,

temperatura na qual já ocorreriam queimaduras de primeiro grau. Ou seja, o morador desse apartamento teria uma janela de abandono de 4 minutos.

4.5.1 Nos centros das salas

A queda de temperatura evidenciada em 210s se dá no momento de ruptura da janela do quarto incendiado, o foco do incêndio. Essa nova abertura modifica o caminho da fumaça, diminuindo a temperatura nos outros pontos, como nas salas e na caixa de escada.

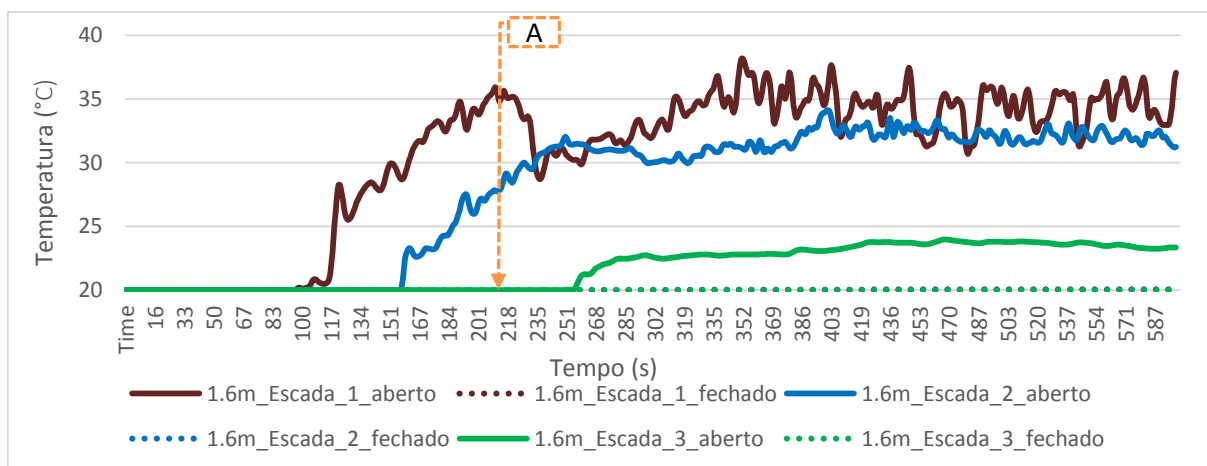
Figura 19 - Distribuição de temperatura no centro das salas. (A) Momento de ruptura da janela (210s)



Fonte: O autor

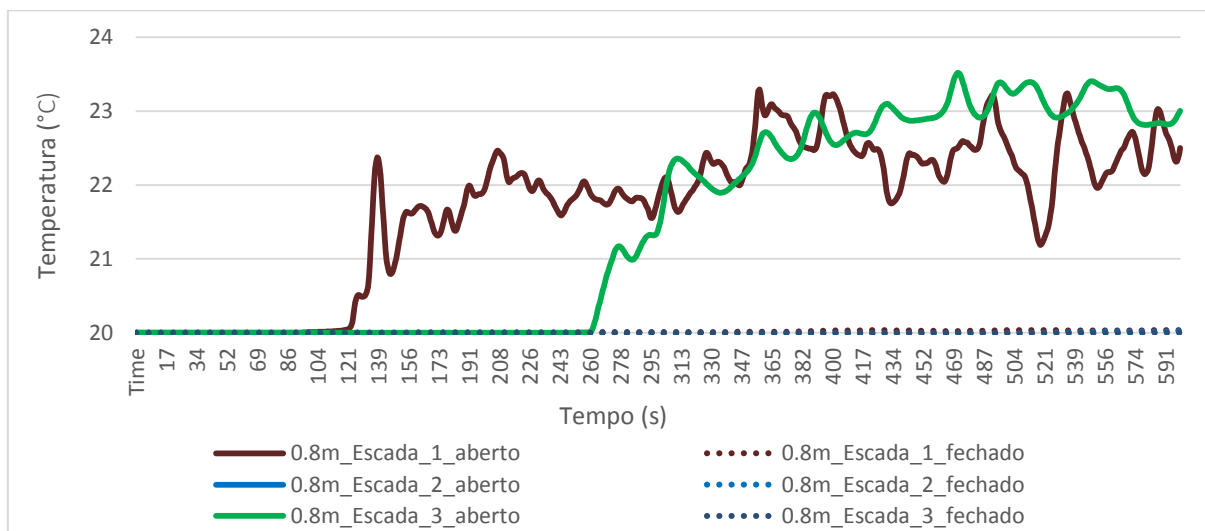
4.5.2 Na caixa de escada

Figura 20 - Distribuição de temperatura na caixa de escada a 160cm do piso. (A) Momento de ruptura da janela (210s)



Fonte: O autor

Figura 21 - Distribuição de temperatura na caixa de escada a 80cm do piso



Fonte: O autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram que o objetivo do trabalho foi alcançado. Foi possível avaliar a influência que simples procedimentos de fuga, como fechar portas e janelas após o início de um incêndio, tem na janela de tempo de abandono em um prédio residencial de três andares em Brasília, através da análise da visibilidade, temperatura e concentração de gases correlacionados (oxigênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono).

Considerando a geometria do local sinistrado, se tratando de um prédio com apenas uma escada, a variável mais significativa demonstrada nesse estudo para um abandono seguro, é a abertura ou fechamento da porta de acesso do apartamento sinistrado. Uma vez que todos os moradores deverão passar pelas escadas do pavimento afetado para abandonar o local.

Tendo como referência o centro das salas, a queda na concentração de O_2 não foi significativa, o menor valor registrado foi de 19,8%, ficando acima dos 18%, quando começa a causar alterações no corpo humano. A concentração dos gases CO e CO_2 aumentam mais rapidamente com as portas fechadas, cerca de 3 minutos de diferença entre os cenários. O mesmo ocorreu com a visibilidade, cerca de 3 minutos e 30 segundos de diferença. Em todos os casos, foi evidente a queda na concentração e da temperatura devido a ruptura da janela aos 3 minutos, mostrando graficamente

essa variação, pois essa nova abertura, mais próxima do foco, modificou o caminho da fumaça, diminuindo a concentração e a temperatura em todos os pontos, como nas salas e na caixa de escada.

O principal local influenciador do abandono seguro é a caixa de escada, onde os demais moradores deverão passar para abandonar com segurança o edifício. A concentração de O_2 também não ficou abaixo do considerado normal, e a temperatura não chegou a $40^\circ C$, longe dos preocupantes $60^\circ C$, que poderiam causar queimaduras de 1º grau. A visibilidade atingiu o mínimo recomendado em apenas 2 minutos do início do incêndio, já não sendo possível visualizar adequadamente as escadas do prédio de pé, e em 3 minutos e meio, ajoelhado. A concentração de CO_2 se tornou preocupante aos 3 minutos e 30 segundos, já a de CO , aos 3 minutos e 20 segundos.

Ou seja, os moradores possuem cerca de 2 minutos para abandonarem o prédio movimentando-se em pé, devido a visibilidade. Movimentando-se agachado, teriam cerca de 3 minutos e 30 segundos para abandonarem o prédio sem possivelmente ter consequências devido a concentração de O_2 , CO e CO_2 .

A hipótese inicial de que a ação de fechar portas, ou seja, confinar o incêndio na sua zona de origem, retarda a perda de visibilidade devido a fumaça, aumenta a qualidade do ar respirável pelas vítimas e evita danos a elas, ocasionando o aumento da janela de tempo de abandono, foi ratificada - cerca de 3 minutos e meio - influenciando no comportamento das vítimas, que deverão abandonar o prédio nessa janela de tempo. Além disso, reiterou-se que compartimentar o incêndio no seu início, restringe o desenvolvimento do incêndio ao local afetado, principalmente de seus subprodutos, como calor, CO e CO_2 , bem como impede que o fogo se alastre e consuma toda a residência, ou afete outros apartamentos, de modo que o combate ao fogo, feito pelos bombeiros também seja mais efetivo

Diante da reduzida janela de tempo de abandono observada, cerca de 3 minutos e 30 segundos, caso a porta de entrada e janela da sala sejam mantidas abertas, reforça-se a importância do desenvolvimento de estudos e trabalhos de conscientização pública, para que esses simples procedimentos se tornem um hábito comum da população do Distrito Federal.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF EVACUATION TIME DURING STRUCTURAL FIRE

ABSTRACT

This work analyzed the influence of the evacuation time during structural fire, of simple escape procedures, such as closing doors and windows, through computer simulation, analyzing smoke propagation, temperature, concentration of correlated gases and visibility through the smoke. This study is necessary because a simple measure, such as closing the door when leaving the apartment, can directly influence the spread of fire and the time available time for total evacuation. The purpose of this work was to evaluate whether closing the door and windows is able to slow the spread of fire and increase the time for safe abandonment of the site. This study compare numerical simulations using the Fire Dynamics Simulator (FDS), a fire simulator. The study showed that leaving the door and window open, gave an evacuation time of 3 minutes and 30 seconds. Leaving the doors and windows closed, there would be no smoke spread to the stairwell. However, if the other apartments had their windows open, the smoke exhaled from the heat-broken window, would affect the upper floor at harmful levels within 8 minutes.

Keywords: Evacuation. Propagation. Time. Numerical Simulation.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. B. **A questão do escape em edifícios altos: a influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**. Universidade de Brasília. Brasília, 2010

ALVES, A. B., CAMPOS, A. T., & BRAGA, G. C. (2008). **Simulação computacional de incêndio aplicada ao projeto de arquitetura**. Seminário internacional NUTAU. 2008.

ANSEEUW, K., DELVAU, N., BURILLO-PUTZE, G., IACO, F. D., GELDNER, G., HOLMSTRÖM, P., SABBE, M. **Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: a European expert consensus**. European Journal of Emergency Medicine. 2013. Disponível em: <<https://insights.ovid.com/article/00063110-201302000-00002>>. Acesso em: 2 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, A. N. **Resolução Nº 9**. Brasil. 2003

ASSIS, V. T. **Estudo de caso: Carga de incêndio em edifícios de escritórios**. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Belo Horizonte, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13434**: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico. 2004.

ATF FIRE RESEARCH LABORATORY. **30 Dowling Circle**. U. S. Department of Justice. Maryland, 2011

BAUM, H. R., & REHM, R. G. **The equations of motion for thermally driven, buoyant flows**. Journal of Research of the National Bureau of Standards 83 nº 3, pp. 297-308. 1978.

Blogspot. **Planta baixa do apartamento**. Disponível em <<http://oportunidade413sul.blogspot.com/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

BRAGA, D. K. **Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**. Universidade de Brasília. DF, 2005. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2015/10/25/interna_cidad esdf,503816/predios-trazem-curiosidades-sobre-a-construcao-das-primeiras-quadras.shtml>. Acesso em: 14 jun. 2018.

CARLOS, T. B., MARIANI, L. M., & MORAES, H. H. **Avaliação do desempenho de sistemas de controle de fumaça por modelagem numérica**. Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar, p3-16. 2016

CBMDF. **Manual Básico de Combate a Incêndio**. Brasília, 2009

CONDE A, A. A. **Intoxicação por monóxido de carbono**. URG PED - Artigos. 2004. Disponível em: <<http://repositorio.chlc.min-saude.pt/handle/10400.17/1005>>. Acesso em: 20 set. 2019.

DEHAAN, J. D. **Kirk's Fire Investigation**. New Jersey, 2007.

ETRUCO, P. **Reação ao fogo dos materiais e tempo de escape em edifícios de centros comerciais no Brasil**. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, 2002.

FAHY, R. F. **Tools of the simulation of human behavior**. Fire Protection Engineering. 2002.

HAMINS, K. M. **The use of simulation in fire investigation**. Stord/Haugesund University College. Noruega, 2009.

KENNEDY, M., CFPS, & KENNEDY, P. **Flashover and fire analysis - a discussion of the practical use of flashover analysis in fire investigations**, 2018.

KERBER, S. **Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes**. 2012.

LABORATÓRIO DE AMBIENTES CLIMATIZADOS – LAC. **Concentração de CO₂ no ar**. 2018. Disponível em: < <http://www.ambientesclimatizados.com.br>>. Acesso em: 14 jun. 2018

MARCATTI, J., COELHO FILHO, H. d., & BERQUÓ FILHO, J. **Compartimentação e afastamento entre edificações**. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora. 2008

MARIANI, L. M., & CARLOS, T. B. **Estudo de evacuação em edificação em Brasília com o uso do FDS-EVAC**. Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MARTINS, Diego de Souza; RODRIGUES, Andréa Carla Lima; BRAGA, George Cajaty Barbosa. **Modelagem computacional da dinâmica de evacuação em locais de reunião de público**. Ambient. constr., Porto Alegre , v. 19, n. 3, p. 147-164, Sept. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000300147&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 dec. 2019.

MCGRATTAN, K. **Fire Dynamics Simulator – technical reference guide**. NIST Special publication 1018. 2006

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 15**. Atividades e operações insalubres. Brasil. 2018.

NAUM, C. **Fire Dynamic Simulation of 2011 Baltimore County LODD - 30 Downling Circle**. Baltimore, 2012.

National Institute of Standards and Technology. **FDS and Smokeview**. Disponível em: <<https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview>>. Acesso em: 9 set. 2019.

ONO, R., COSTA, C. N., & SILVA, V. P. **A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio**. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo, 2005.

CBPMSP. **Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros**. 4. ed. São Paulo: PMESP, 2006

CBPMSP. **Conceitos básicos de segurança contra incêndio**. Instrução Técnica Nº 02/2004. São Paulo: PMESP, 2004.

QUINTIERE, J. G. **Principles of fire behavior**. New York: Delmar Publisher, 1998.

RODRIGUES, E. E. **Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras**. Porto Alegre, 2009.

ROSSO, T. **Incêndios e Arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 1975.

SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERING. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 2002.

SHEPPARD, D. **US Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives**. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30918980.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2009.

SKELLY, M. **An experimental investigation of glass breakage in compartment fires**. 2014.

TABACZENSKI, R. e., LEAL, M., ANCELMO, T., PIRES, C., JEFERSON, J., & RÊGO SILVA, J. **Aplicação do software Fire Dynamics Simulator (FDS) no estudo da segurança contra incêndios (SCI) no Brasil**. Revista Flammae. 2017.

THUNDERHEADENG. **Pathfinder - Flexible Movement Simulation**. 2019. Disponível em: <<https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>>. Acesso em: 18 abr. 2019

VARGAS, M. R., & SILVA, V. P. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro: IBS/CBSA, 2003.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookmam, 2001