

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMBATE A INCÊNDIO  
NAS TEMPERATURAS DE UM COMPARTIMENTO**

**Kamyla Lima da Mata**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO COMBATE A INCÊNDIO NAS  
TEMPERATURAS DE UM COMPARTIMENTO”**

Kamyla Lima da Mata

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Mestre em Engenharia de Estruturas”.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas  
DEES - UFMG (Orientador)

---

Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues  
DEES - UFMG (Coorientador)

---

Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury  
DEES - UFMG

---

Prof. Dr. João Paulo Correia Rodrigues  
Universidade de Coimbra

---

Sr. Elcione Menezes Alves  
Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais - CBMMG

Belo Horizonte, 15 de abril de 2019

|       |   |
|-------|---|
| M425a | <p>Mata, Kamyla Lima da.<br/> Análise da influência do combate a incêndio nas temperaturas de um compartimento [recurso eletrônico] / Kamyla Lima da Mata. - 2019.<br/> 1 recurso online (149 f.: il., color.):pdf.</p> <p>Orientador: Rodrigo Barreto Caldas.<br/> Coorientador: Francisco Carlos Rodrigues.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Anexos e apêndices: f. 125-149.</p> <p>Bibliografia: f. 121-124.<br/> Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Incêndios - Teses.<br/> 3. Simulação (Computadores) - Teses. 4. Temperatura - Teses. I. Caldas, Rodrigo Barreto. II. Rodrigues, Francisco Carlos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> |
|       | CDU: 624(043)   |

*Aos meus amados pais, Márcia e Valter,  
por me darem as mãos e o mundo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por guiar-me ao longo de toda minha trajetória e me trazer sustento através da fé.

Aos meus pais, Márcia e Valter, pela fonte inesgotável de amor e por tantas vezes terem abdicado de seus sonhos a meu favor. A minha irmã Sabryna e ao meu sobrinho Gabriel que, de forma especial e carinhosa, sempre me incentivaram.

Aos professores, Rodrigo Barreto Caldas e Francisco Carlos Rodrigues, pela amizade, ensinamentos e tempo dedicado à orientação deste trabalho. Aos profissionais do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, especialmente, ao Capitão Menezes e a todos os membros da Academia de Bombeiros Militar que me acolheram e compartilharam conhecimentos, permitindo-me testemunhar a vivência perante o fogo.

Aos colegas do mestrado, Janaína Rezende, João Victor Dias, Larice Justino e Ana Carolina Saraiva pela troca de conhecimentos e pelos momentos de descontração.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Estruturas que tanto se dedicam ao ensino e ao auxílio aos alunos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de mestrado, apoio crucial para conclusão desta pesquisa.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

*“Que todo o meu ser louve ao Senhor, e que eu não esqueça nenhuma das suas bênçãos.”*

Salmos 103:2

*“Existem homens e mulheres que correm em direção ao perigo, enquanto outros correm em direção contrária.  
Existem homens e mulheres que enfrentam o calor das chamas, os mares revoltos, os abismos, os rochedos alterosos e os perigos da incerteza para salvar vidas alheias.  
Existem homens e mulheres que arriscam as próprias vidas em defesa de riquezas que não lhes pertencem.  
Existem homens e mulheres que vêem diariamente sua imagem refletida nos olhos dos que em desespero chamam por ajuda.  
Existem homens e mulheres que não poupam sacrifícios no cumprimento do dever.  
Estes homens e mulheres poderiam ser chamados de heróis.  
Mas, prefiro chamá-los de Bombeiros”.*

*(Autor Desconhecido)*

## RESUMO

MATA, K. L. *Análise da influência do combate a incêndio nas temperaturas de um compartimento*. Belo Horizonte, 2019. – Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Diante da importância do estudo sobre efeitos de conflagrações em compartimentos, principalmente no que concerne aos aspectos estruturais, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo calibrado, através da análise da influência dos tipos de combate a incêndio (intervenções) nas temperaturas de um compartimento – tipo container marítimo – *high cube*, com aproximadamente 28,3 m<sup>2</sup> de área interna, utilizado como simulador de uma real situação de incêndio pelo Corpo de Bombeiro Militar de Minas Gerais (CBMMG) durante os treinamentos. Para monitoramento da temperatura, foram conectados sensores termopares – tipo K (Cromel/Alumel) em cinco seções do compartimento, nas respectivas alturas: 0,80 m; 1,47 m; 2,15 m. Os tipos de combate variaram com o modo de aplicação de água em pulsos simples, dois pulsos ou pulsos mais longos. Os resultados demonstraram que os treinamentos simulam coerentemente os incêndios reais em ambientes construídos com as fases de início do incêndio e sua propagação, inflamação generalizada (*flashover*) e pós-*flashover*. Como parte complementar a este trabalho, os dados obtidos foram analisados subsidiariamente a simulações computacionais. Uma vez validada, a metodologia fornece subsídios e fomenta eventuais pesquisas e experimentos futuros sobre o comportamento de estruturas e materiais construtivos em altas temperaturas. Tendo em vista que a determinação dos reais valores e comportamento da temperatura - dentro desse compartimento sinistrado - o transformou em um forno adaptado para ensaios controlados.

**Palavras-chave:** Temperatura. Incêndio em Compartimento. Segurança Contra Incêndio. Simulação Computacional. Fire Dynamics Simulator.

## **ABSTRACT**

MATA, K. L. *Analysis of the influence of fire fighting types in the temperatures of a compartment*. Belo Horizonte, 2019. – Master's Thesis. Structural Engineering Department Program, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

*In view of the importance of the study on the effects of conflagrations in compartments, especially with regard to structural aspects, the objective of this work was to develop a calibrated model by analyzing the influence of fire fighting types (interventions) in the temperatures of a compartment - type container - high cube, with approximately 28.3 m<sup>2</sup> of internal area, used as simulator of a real fire situation by the Minas Gerais Military Fire Department of Brazil (CBMMG) during the training. For temperature monitoring, thermocouple sensors - type K (Cromel / Alumel) connected in five compartment sections, at respective heights: 0.80 m; 1.47 m; 2.15 m. The types of combat varied with the mode of application of water in simple pulses, two pulses or longer pulses. The results showed that the training represents well the real fires in building presenting the fire phases, ignition and growth, flashover and after flashover. As complementary part to this work, the results analyzed subsidiarity to computational simulations. Once validated, the methodology provides subsidies and encourages future research and experiments on the behavior of structures and building elements at high temperatures. Considering that, the determination of the actual temperature values and behavior - inside this sinister compartment - turned it into an oven adapted for controlled trials.*

**Keywords:** *Temperature. Fire in compartment. Fire Safety. Computacional Simulation. Fire Dynamics Simulator.*



## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2 - CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1: Curva de incêndio-padrão (Silva, 2001). .....  | 8  |
| Figura 2.2: Conceito de tempo equivalente (Caldas, 2008). .....  | 9  |
| Figura 2.3: Curva de incêndio-natural (Silva, 2001). .....   | 10 |
| Figura 2.4: Relação temperatura e taxa de calor liberado x tempo de um incêndio e, suas respectivas fases (Adaptado – Buchanan, 2001). ..... | 11 |
| Figura 2.5: Fase de crescimento do fogo, pré-flashover (IFSTA, 2001). .....  | 13 |
| Figura 2.6: Fase de flashover de compartimento situação de incêndio (Adaptado – IFSTA, 2001). .....  | 14 |
| Figura 2.7: Queima generalizada (Adaptado – IFSTA, 2001). .....  | 15 |
| Figura 2.8: Curva de incêndio fogo controlado (Adaptado – NIST, 2010). .....   | 19 |
| Figura 2.9: Container utilizado para treinamento do CBMMG. ....  | 25 |
| Figura 2.10: Atuação de bombeiros durante treinamento em container. ....   | 26 |
| Figura 2.11: Posicionamento e sentido de rodízio durante fase de observação. ....  | 28 |
| Figura 2.12: Posicionamento e sentido de rodízio durante fase de ataque tridimensional. .  | 29 |
| Figura 2.13: Medições aferidas dentro do compartimento (Adaptado – CBMDF, 2009)...   | 30 |
| Figura 2.14: Medições aferidas no Teste 2 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009). ....  | 31 |
| Figura 2.15: Medições aferidas no Teste 3 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009). ....  | 32 |
| Figura 2.16: Medições aferidas no Teste 4 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009). ....  | 32 |
| Figura 2.17: Gráfico - perfil vertical de temperatura (Adaptado – Braga <i>et al.</i> , 2016). ....  | 33 |
| Figura 2.18: Gráfico - perfil horizontal de temperatura (Adaptado – Braga <i>et al.</i> , 2016)...   | 34 |
| Figura 2.19: Temperaturas nos pontos internos e externos do corpo (Adaptado – Braga <i>et al.</i> , 2016). .....                             | 34 |
| Figura 2.20: Gráfico da temperatura na máscara de proteção respiratória (Adaptado – Braga <i>et al.</i> , 2016). .....                       | 35 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.21: Gráfico do fluxo de calor (Adaptado – Braga <i>et al.</i> , 2016). .....  | 36 |
| Figura 2.22: Brigada de Incêndio da NSW participando de treinamento (Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....                                   | 37 |
| Figura 2.23: Container de treinamento da NSW (Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....  | 38 |
| Figura 2.24: Comparação de múltiplos testes para configuração 3, em diferentes temperaturas ambientes (Mackay <i>et al.</i> , 2010). ..... | 39 |
| Figura 2.25: Medições do termopar para configuração 1 (Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....   | 39 |
| Figura 2.26: Medições do termopar para configuração 5 (Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....   | 40 |
| Figura 2.27: Medições do termopar para configuração 6 (Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....   | 41 |
| Figura 2.28: Centro de treinamento, República Tcheca. ....   | 42 |
| Figura 2.29: Posicionamento dos termopares (Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....   | 44 |
| Figura 2.30: Temperaturas medianas a 1510 mm de altura, próximo ao queimador (Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....                     | 45 |
| Figura 2.31: Temperatura média na seção longitudinal (Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....   | 45 |
| Figura 2.32: Temperatura média na seção transversal (Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....  | 45 |
| Figura 2.33: Medidas do fluxo de calor (Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....   | 46 |
| <b>Capítulo 3 - PARÂMETROS DA ANÁLISE EXPERIMENTAL</b>   |    |
| Figura 3.1: Esquemático do container. ....   | 48 |
| Figura 3.2: Equipamento – tipo container em funcionamento. ....  | 49 |
| Figura 3.3: Carga de incêndio no local de queima. ....   | 50 |
| Figura 3.4: Gráfico HRR <i>versus</i> altura da pilha de palete (Adaptado – SFPE, 2016). .....   | 52 |
| Figura 3.5: Curva de TCL para paletes de madeira (Adaptado – Pyrosim <i>apud</i> BFRL Data, 1996). .....                                   | 52 |
| Figura 3.6: Especificações do container, em planta. Sem escala. ....   | 56 |
| Figura 3.7: Nomeação e posição dos termopares, vista lateral direita. Sem escala. ....   | 56 |
| Figura 3.8: Especificações das posições dos termopares, em seção. Sem escala. ....   | 56 |
| Figura 3.9: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....   | 59 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.10: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                      | 60 |
| Figura 3.11: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                      | 60 |
| Figura 3.12: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                      | 61 |
| Figura 3.13: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                      | 61 |
| Figura 3.14: Valores médios de temperatura, por termopar – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                       | 63 |
| Figura 3.15: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                         | 64 |
| Figura 3.16: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 05, 06 e 07. ....                          | 66 |
| Figura 3.17: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 05, 06 e 07. ....                          | 67 |
| Figura 3.18: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 05, 06 e 07. ....                          | 67 |
| Figura 3.19: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 05, 06 e 07. ....                          | 68 |
| Figura 3.20: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 05, 06 e 07. ....                          | 69 |
| Figura 3.21: Gráficos comparativos dos perfis de temperatura, TMP 13, seção 05 – Ensaios 05, 06 e 07. ....     | 71 |
| Figura 3.22: Valores médios de temperatura, por termopar – Ensaios 05, 06 e 07. ....                           | 72 |
| Figura 3.23: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 05, 06 e 07. ....                             | 73 |
| Figura 3.24: Profissionais atuantes – Ensaios 05, 06 e 07. ....  | 73 |
| Figura 3.25: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 05. .... | 74 |
| Figura 3.26: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 06. .... | 75 |
| Figura 3.27: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 07. .... | 75 |
| Figura 3.28: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 08, 09 e 10. ....                          | 78 |
| Figura 3.29: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 08, 09 e 10. ....                          | 78 |
| Figura 3.30: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 08, 09 e 10. ....                          | 79 |
| Figura 3.31: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 08, 09 e 10. ....                          | 79 |
| Figura 3.32: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 08, 09 e 10. ....                          | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3.33: Valores médios de temperatura, por termopar– Ensaios 01, 02, 03 e 04. .... | 82  |
| Figura 3.34: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 01, 02, 03 e 04.....   | 82  |
| Figura 3.35: TMP 04, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 05, 06, 07. ....               | 84  |
| Figura 3.36: TMP 13, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 05, 06, 07. ....               | 85  |
| Figura 3.37: TMP 04, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 08, 09, 10. ....               | 87  |
| Figura 3.38: TMP 13, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 08, 09, 10. ....               | 88  |
| Figura 3.39: TMP 04, seção 02 – Ensaios 05, 06, 07 e 08, 09, 10. ....                   | 89  |
| Figura 3.40: TMP 13, seção 05 – Ensaios 05, 06, 07 e 08, 09, 10. ....                   | 89  |
| Figura 3.41: Temperaturas máximas atingidas em todos os ensaios.....                    | 90  |
| <b>Capítulo 4 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIOS</b>                                |     |
| Figura 4.1: Modelo computacional do container. ....                                     | 99  |
| Figura 4.2: Curva fração – HRR x tempo. ....  | 101 |
| Figura 4.3: Posicionamento dos termopares. ....   | 103 |
| Figura 4.4: Posicionamento dos medidores de camada de fumaça. ....                      | 103 |
| Figura 4.5: Altura da interface da camada de fumaça. ....                               | 105 |
| Figura 4.6: Temperatura média da camada de fumaça.....                                  | 105 |
| Figura 4.7: Desenvolvimento da camada de fumaça – experimental.....                     | 106 |
| Figura 4.8: Desenvolvimento da camada de fumaça – computacional. ....                   | 106 |
| Figura 4.9: Análise da camada de fumaça – computacional. ....                           | 107 |
| Figura 4.10: TCL x Tempo .....  | 108 |
| Figura 4.11: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 01 .....              | 108 |
| Figura 4.12: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 02 .....              | 109 |
| Figura 4.13: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 03 .....              | 109 |
| Figura 4.14: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 04 .....              | 110 |
| Figura 4.15: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 05 .....              | 111 |
| Figura 4.16: Queima generalizada – experimental <i>versus</i> computacional.....        | 112 |

Figura 4.17: Análise da propagação do fogo – computacional. .... 112

Figura 4.18: Lâminas dinâmicas de temperatura - computacional..... 113

## **APÊNDICE B**

Figura B1: Elevações do container de treinamento. Sem escala. .... 127

Figura B2: Planta técnica e seções AA e BB do container de treinamento..... 128

Figura B3: Especificações dos dispositivos termopares..... 129

## **APÊNDICE C**

Figura C1: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaio 01, 02, 03 e 04..... 130

Figura C2: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaio 01, 02, 03 e 04..... 130

Figura C3: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaio 01, 02, 03 e 04..... 131

Figura C4: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaio 01, 02, 03 e 04..... 131

Figura C5: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaio 01, 02, 03 e 04..... 132

Figura C6: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaio 05, 06 e 07. .... 132

Figura C7: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaio 05, 06 e 07. .... 133

Figura C8: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaio 05, 06 e 07. .... 133

Figura C9: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaio 05, 06 e 07. .... 134

Figura C10: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaio 05, 06 e 07..... 134

Figura C11: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaio 08, 09 e 10..... 135

Figura C12: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaio 08, 09 e 10..... 135

Figura C13: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaio 08, 09 e 10..... 136

Figura C14: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaio 08, 09 e 10..... 136

Figura C15: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaio 08, 09 e 10..... 137

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2 – CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1: Taxa de liberação de calor de itens de armazenamento e mobiliários. (Adaptado - NFPA, 1993 <i>apud</i> Buchanan, 2001). .....                              | 7  |
| Tabela 2.2: Tempo requerido de resistência ao fogo, TRRF, em minutos (ABNT NBR 14432:2001). .....  | 9  |
| Tabela 2.3: Síntese dos fatores e influências sobre a severidade do incêndio, a segurança à vida e a segurança do patrimônio (Vargas e Silva, 2003). .....             | 16 |
| Tabela 2.4: Principais medidas de prevenção e de proteção contra incêndio associados aos elementos do sistema global de segurança contra incêndio (Berto, 1991). ..... | 23 |
| Tabela 2.5: Fases do combate a incêndio no simulador, tipo container (CBMGO, 2015). .....  | 28 |
| Tabela 2.6: Temperaturas aferidas dentro do compartimento (CBMDF, 2009). .....   | 31 |
| Tabela 2.7: Temperaturas aferidas no Teste 2 (CBMDF, 2009). .....  | 31 |
| Tabela 2.8: Temperaturas aferidas no Teste 3 (CBMDF, 2009). .....  | 32 |
| Tabela 2.9: Temperaturas aferidas no Teste 4 (CBMDF, 2009). .....  | 32 |
| Tabela 2.10: Dados dos testes experimentais no container da NSW (Adaptado – Mackay <i>et al.</i> , 2010). .....  | 38 |
| Tabela 2.11: Comparação das máximas temperaturas e pico de temperatura. ....   | 40 |
| Tabela 2.12: Especificações técnicas compartimento nº1 (Adaptado – Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....  | 43 |
| Tabela 2.13: Condições meteorológicas (Adaptado – Bernatíková <i>et al.</i> , 2012). .....   | 44 |
| <b>Capítulo 3 - PARÂMETROS DA ANÁLISE EXPERIMENTAL</b>   |    |
| Tabela 3.1: Dados do container marítimo utilizado para treinamento do CBMMG. ....  | 47 |
| Tabela 3.2: Média do peso dos paletes nos ensaios experimentais. ....  | 51 |
| Tabela 3.3: Cálculos sobre a carga de incêndio. ....   | 51 |
| Tabela 3.4: Classes de umidade das madeiras (ABNT NBR 7190:1997). .....  | 54 |
| Tabela 3.5: Valores referentes à densidade das madeiras dos paletes. ....  | 55 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 3.6: Dados dos paletes nos ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                                      | 57  |
| Tabela 3.7: Dados dos ensaios 01, 02, 03 e 04. ....  | 58  |
| Tabela 3.8: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                           | 62  |
| Tabela 3.9: Dados dos paletes nos ensaios 05, 06 e 07. ....  | 65  |
| Tabela 3.10: Dados dos ensaios 05, 06 e 07. ....   | 66  |
| Tabela 3.11: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 05, 06 e 07. ....                              | 69  |
| Tabela 3.12: Consequências ao ser humano de acordo com o aumento de temperatura (Lawson, 2009). .... | 76  |
| Tabela 3.13: Dados dos paletes nos ensaios 08, 09 e 10. ....   | 76  |
| Tabela 3.14: Dados dos ensaios 08, 09 e 10. ....   | 77  |
| Tabela 3.15: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 08, 09 e 10. ....                              | 81  |
| <b>Capítulo 4 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIOS</b>   |     |
| Tabela 4.1: Cálculo do tamanho das células. ....   | 100 |
| Tabela 4.2: Propriedades térmicas dos materiais adotados. ....                                       | 102 |
| Tabela 4.3: Temperaturas máximas atingidas – Computacional x Experimental ....                       | 111 |
| <b>APÊNDICE A</b>  |     |
| Tabela A1: Dados das densidades das madeiras dos paletes. ....                                       | 125 |
| <b>APÊNDICE D</b>  |     |
| Tabela D1: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 01. ....  | 138 |
| Tabela D2: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 02. ....  | 139 |
| Tabela D3: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 03. ....  | 140 |
| Tabela D4: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 04. ....  | 141 |
| Tabela D5: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 05. ....  | 142 |
| Tabela D6: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 06. ....  | 143 |
| Tabela D7: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 07. ....  | 145 |
| Tabela D8: Dados jatos d’água dos ensaios 01, 02, 03 e 04. ....                                      | 146 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela D9: Dados jatos d'água dos ensaios 05, 06 e 07. ....                        | 146 |
| Tabela D10: Média (litros) da quantidade de água dos jatos d'água, por ensaio..... | 147 |



# LISTA DE SÍMBOLOS

## Letras Romanas Minúsculas

|          |   |
|----------|---|
| $q_{fi}$ | Carga de incêndio específica, expressa em MJ/m <sup>2</sup> de área de piso |
| $m_i$    | Massa inicial da madeira  |
| $m_s$    | Massa da madeira seca   |
| $m_{12}$ | Massa da madeira a 12% de umidade   |
| $v_{12}$ | Volume da madeira a 12% de umidade  |
| $dx$     | Tamanho da malha para determinada simulação                                 |
| $c_p$    | Calor específico (kJ/kg.K), normalmente igual a 1,005                       |
| $g$      | Gravidade (m/s <sup>2</sup> ), normalmente igual a 9,81                     |
| $h$      | Altura  |
| $h_p$    | Altura da pilha de paletes  |

## Letras Romanas Maiúsculas

|              |  |
|--------------|--|
| $M_i$        | Massa total de cada componente $i$ do material combustível |
| $H_i$        | Potencial calorífico específico do material combustível    |
| $A_f$        | Área do piso do compartimento                              |
| $V_{sat}$    | Volume da madeira saturada                                 |
| $D^*$        | Diâmetro do fogo   |
| $Q$          | Taxa de calor liberado                                     |
| $T_{\infty}$ | Temperatura ambiente (K), normalmente igual a 293          |
| $U$          | Umidade, %   |

**Letras Gregas Minúsculas**

|               |   |
|---------------|---|
| $\theta_g$    | Temperatura do ambiente antes do início do aquecimento (°C), geralmente tomada igual a 20°C |
| $\theta_0$    | Temperatura dos gases (°C), no instante t   |
| $\rho_{ap}$   | Densidade aparente  |
| $\rho_\infty$ | Densidade do ar (kg/m <sup>3</sup> ), normalmente igual a 1,204                             |
| $\rho$        | Densidade   |

**Letras Gregas Maiúsculas**

|          |           |
|----------|-----------|
| $\Sigma$ | Somatório |
|----------|-----------|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |  |
|--------|--|
| 2D     | Bidimensional  |
| 3D     | Tridimensional   |
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas   |
| AICF   | Altura da Interface da Camada de Fumaça  |
| Art.   | Artigo   |
| BM     | Bombeiro Militar   |
| BRFL   | <i>Building and Fire Research Laboratory</i>   |
| CB     | Corpo de Bombeiros   |
| CBMDF  | Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal   |
| CBMES  | Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo   |
| CBMESP | Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo  |
| CBMGO  | Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás  |
| CBMMG  | Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais   |
| CDF    | <i>Computacional Fluid Dynamics</i>  |
| cm     | Centímetro   |
| CO     | Monóxido de Carbono  |
| CREA   | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia  |
| DEES   | Departamento de Engenharia de Estruturas   |
| EPI    | Equipamento de Proteção Individual   |
| EPRA   | Equipamento de Proteção Respiratória Autônomo  |
| FDS    | <i>Fire Dynamics Simulator</i>   |
| g      | Gramas   |
| HRR    | <i>Heat Release Rate</i>   |
| HRRPUA | Taxa de liberação de calor por unidade de área especificada no FDS<br>(kW/m <sup>2</sup> ) |
| HRRPUV | Taxa de liberação de calor por unidade de volume (kW/m <sup>3</sup> )                      |

|                |  |
|----------------|--|
| HVAC           | Solucionador de rede do FDS, para sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado                               |
| IFSTA          | <i>International Fire Service Training Association</i>   |
| ISO            | <i>International Organization for Standardization</i>  |
| IT             | Instrução Técnica  |
| J              | Joules   |
| kg             | Quilograma   |
| kJ             | Kilojoule  |
| kW             | Kilowatt   |
| log            | Logarítimo   |
| m              | Metro  |
| m <sup>2</sup> | Metro quadrado   |
| m <sup>3</sup> | Metro cúbico   |
| MALPUA         | Parâmetro do FDS que estipula a taxa de perda de massa do gás combustível por unidade de área, Kg/(m <sup>2</sup> s) |
| m; min         | Minuto   |
| MJ             | Megajoule  |
| mm             | Milímetros   |
| NBR            | Norma Brasileira   |
| NFPA           | <i>National Fire Protection Association</i>  |
| NIST           | <i>National Institute of Standards and Technology</i>  |
| n°             | Número   |
| PVC            | Policloreto de Vinil   |
| RS             | Rio Grande do Sul  |
| s; seg         | Segundos   |
| SPFE           | <i>Society of Fire Protection Engineers</i>  |
| T              | Temperatura  |
| t              | Tempo  |
| TCL            | Taxa de Calor Liberado   |
| TC; TMP        | Termopar   |
| TMCF           | Temperatura Média da Camada de Fumaça  |

|      |  |
|------|--|
| TRRF | Tempo Requerido de Resistência ao Fogo |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais   |
| W    | Watt                                   |

# SUMÁRIO

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Introdução .....</b>                               | <b>1</b> |
| 1.1 Considerações Iniciais.....                          | 1        |
| 1.2 Objetivos .....                                      | 3        |
| 1.3 Justificativa e Relevância do Tema.....              | 4        |
| 1.4 Organização .....                                    | 5        |
| <b>2. Conceitos Básicos e Revisão Bibliográfica.....</b> | <b>6</b> |
| 2.1 Incêndios em Compartimentos.....                     | 6        |
| 2.2 Taxa de Calor Liberado (TCL) .....                   | 7        |
| 2.3 Modelos de Incêndios .....                           | 7        |
| 2.3.1 Curvas Nominais.....                               | 8        |
| 2.3.1.1 TRRF e Tempo Equivalente .....                   | 8        |
| 2.3.2 Curvas Paramétricas.....                           | 10       |
| 2.4 Dinâmica do Incêndio .....                           | 11       |
| 2.4.1 Ignição.....                                       | 12       |
| 2.4.2 Crescimento ou <i>Pré-Flashover</i> .....          | 13       |
| 2.4.3 <i>Flashover</i> .....                             | 14       |
| 2.4.4 Incêndio Pós- <i>Flashover</i> .....               | 15       |
| 2.4.5 Resfriamento e Extinção do Fogo.....               | 15       |
| 2.5 Variáveis de Influência em Incêndio .....            | 15       |
| 2.5.1 Carga de Incêndio .....                            | 17       |
| 2.5.2 Grau de Ventilação.....                            | 18       |
| 2.6 Segurança Contra Incêndios.....                      | 19       |
| 2.6.1 A Evolução no Brasil .....                         | 20       |
| 2.6.2 Medidas de Segurança Contra Incêndios .....        | 22       |
| 2.7 Revisão Bibliográfica.....                           | 24       |
| 2.7.1 Considerações sobre o CBMMG .....                  | 24       |
| 2.7.2 Treinamento em Containers .....                    | 25       |
| 2.7.3 CBMGO (2015) .....                                 | 27       |
| 2.7.4 CBMDF (2009).....                                  | 30       |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 2.7.5     | Braga <i>et al.</i> (2016).....                  | 33         |
| 2.7.6     | Mackay <i>et al.</i> (2010) .....                | 37         |
| 2.7.7     | Bernatíková <i>et al.</i> (2012).....            | 43         |
| <b>3.</b> | <b>Análise Experimental.....</b>                 | <b>47</b>  |
| 3.1       | Especificações do Ambiente Simulado .....        | 47         |
| 3.2       | Descrição da Carga de Incêndio .....             | 49         |
| 3.2.1     | Umidade e Densidade.....                         | 53         |
| 3.3       | Resultados .....                                 | 55         |
| 3.3.1     | Ensaio Experimentais 01, 02, 03 e 04.....        | 57         |
| 3.3.2     | Ensaio Experimentais 05, 06 e 07.....            | 64         |
| 3.3.3     | Ensaio Experimentais 08, 09 e 10.....            | 76         |
| 3.3.4     | Observações Gerais .....                         | 83         |
| <b>4.</b> | <b>Simulação Computacional de Incêndio .....</b> | <b>93</b>  |
| 4.1       | Definição .....                                  | 93         |
| 4.2       | Os Modelos de Simulações Computacionais .....    | 93         |
| 4.2.1     | Dinâmica Computacional de Fluidos (CFD).....     | 94         |
| 4.3       | Os <i>Softwares</i> .....                        | 95         |
| 4.3.1     | Fire Dynamics Simulator (FDS) .....              | 95         |
| 4.3.1.1   | Tamanho das Células no FDS .....                 | 97         |
| 4.3.1.2   | Smokeview .....                                  | 99         |
| 4.3.2     | <i>PyroSim</i> .....                             | 99         |
| 4.4       | Geração do Cenário .....                         | 99         |
| 4.5       | Entrada de Dados.....                            | 100        |
| 4.6       | Resultados .....                                 | 104        |
| 4.6.1     | Interface da Camada de Fumaça .....              | 104        |
| 4.6.2     | Gradiente Vertical de Temperatura .....          | 107        |
| 4.6.3     | Observações Gerais .....                         | 113        |
| <b>5.</b> | <b>Considerações Finais.....</b>                 | <b>115</b> |
| 5.1.1     | Conclusões .....                                 | 115        |
| 5.1.2     | Sugestão para Trabalhos Futuros .....            | 119        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>121</b> |
| <b>Apêndice A .....</b>                 | <b>125</b> |
| <b>Apêndice B .....</b>                 | <b>127</b> |
| <b>Apêndice C .....</b>                 | <b>130</b> |
| <b>Apêndice D .....</b>                 | <b>138</b> |
| <b>Anexo A .....</b>                    | <b>148</b> |



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

Conforme a norma internacional ISO 8.421-1, incêndio é definido como o rápido processo de combustão dispersado descontroladamente pelo tempo e espaço. Esse acontecimento oferece risco à vida, e são, em grande parte dos casos, responsáveis por inúmeras perdas patrimoniais, uma vez que o fogo em grandes proporções pode levar a estrutura de uma edificação ao colapso, o que impossibilitaria a fuga de seus usuários ou prejudicaria a aproximação e o acesso de meios de combate ao fogo.

O combate a essas conflagrações, quando em espaços confinados, apresenta alta periculosidade, levando em conta a considerável problemática da real previsão do comportamento do fogo durante a sua evolução (Hora e Žižka, 2016). Atualmente, de modo a otimizar e garantir a intervenção com os serviços de combate e resgate, é essencial que se compreenda de modo teórico e prático o comportamento de um incêndio, bem como, do compartimento perante essa situação, para que os elementos construtivos e estruturais sejam dimensionados e as edificações estejam aptas a resistir ao calor, pelo menos o tempo suficiente para evitar seu colapso antes de sua completa desocupação. Uma vez que, segundo Bernatíková *et al.* (2012), durante as intervenções a essas conflagrações, os combatentes são expostos a altas temperaturas, alta densidade do fluxo de calor, possível exposição a substâncias químicas no ar e diminuição da capacidade de orientação, geometria do espaço e layout de mobiliário desconhecidos. E, esses fatores fazem do resgate de pessoas e do sucesso no tempo da supressão de incêndios muito mais difíceis.

Em diversos países, containers marítimos têm sido utilizados como equipamentos simuladores de incêndio durante os treinamentos das brigadas de incêndio. De acordo com Casey (2018) quando adotados para essa finalidade é fundamental atentar-se a questões estruturais e de construção, bem como à segurança imediata e a longo prazo dos

combatentes; diferenças de comportamento do fogo; e, conformidade com os padrões estabelecidos pelas autoridades. Esses treinamentos permitem otimizar a habilidade, os métodos de combate e apresentam uma gama de resultados positivos quando examinada a relação entre o processo de aprendizagem e a eficácia de combates a incêndios. Haja vista que, a posteriori, a experiência adquirida durante os treinamentos resulta em decisões mais acertivas durante as situações reais e, por conseguinte, minimizam o estresse físico e reduzem a exposição ao calor dos combatentes (Hora e Žižka, 2016). Além disso, segundo Bernatíková *et al.* (2012), os simuladores tornam possível observar o curso do fogo e permitem demonstrar as diversas formas de aplicação de água até a sua extinção.

Na Austrália os treinamentos em containers foram implementados de modo a instruir os bombeiros com o conhecimento e experiência necessária para lidar de forma eficaz, eficiente e segura em sinistros nos locais compartimentados. A principal ideia por trás do combate se concentra em resfriar a camada de gases quentes, reduzir o risco de *flashover* e a possível ocorrência de *backdraft* antes de atacar diretamente o foco do fogo. Desse modo, o bombeiro ganha um controle maior do ambiente, o que ajuda no processo de busca e resgate de ocupantes dentro do compartimento (Mackay *et al.*, 2010).

No centro de treinamento de West Midlands em Oldsbury, Inglaterra, uma estação de treinamento foi recentemente construída. Constituída por seis andares de container, possui muitas áreas de incêndio com diferentes configurações em cada andar, que podem representar escritórios e ocupações residenciais. Além disso, é equipado com uma escadaria pressurizada, um poço de elevador e equipamentos de controle de fumaça (Casey, 2018).

No município de Zbiroh, na República Tcheca, também optaram por instalar um centro constituído por diversos locais de treinamento, de forma que as condições de incêndio pudessem ser simuladas tanto em espaço compartimentado, quanto ao ar livre (Bernatíková *et al.*, 2012).

No Brasil, de acordo com as informações viabilizadas pelo site do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais (CBMMG, 2015), o estado de Minas Gerais é o terceiro a adotar este tipo de equipamento para treinamentos, seguindo o estado do Espírito Santo e o Distrito Federal. A adoção de containers para treinamento, tem por intuito capacitar os bombeiros no combate ofensivo e atender às novas premissas de melhoria das táticas de combate que, atualmente, pregam por economia de esforços militares, otimização técnica e economia de água. Durante o treinamento de aproximadamente 25 minutos, os participantes são

confrontados com visibilidade restrita, devido à saturação de fumaça, calor extremo, vapor d'água e chamas reais, o que propicia um treinamento mais realista para uma melhor atuação nas ocorrências.

## 1.2 Objetivos

Diante da importância do estudo sobre efeitos de conflagrações em compartimentos, principalmente, no que tange aos aspectos estruturais, o primordial objetivo deste trabalho é a análise da influência dos tipos de combate a incêndio (intervenções), nas temperaturas desenvolvidas em um compartimento – tipo container marítimo – *high cube*, com aproximadamente 28,3m<sup>2</sup> de área interna, utilizado como simulador de uma real situação de incêndio pelo Corpo de Bombeiro Militar de Minas Gerais (CBMMG) durante os treinamentos. Para monitoramento da temperatura, foram conectados sensores termopares – tipo K (Cromel/Alumel), bainha rígida com diâmetro 3 mm x 1000 mm e cabo flexível, em cinco seções do compartimento, nas respectivas alturas: 0,80 m; 1,47 m; 2,15 m. De acordo com a parte experimental tem-se que, os ensaios 01 a 04 foram realizados conforme um treinamento normal, mediante ataques tridimensionais, com aplicação de rápidos jatos d'água na camada de gases quentes (pulsos simples de 0,2 a 0,5 segundos) aplicados um a um, seguidos de ataques combinados (pulsos e pacotes de água), finalizando apenas com aplicações de pacotes de água. No ensaio 05 foram aplicados dois pulsos rápidos por vez, seguidos da aplicação de ataques combinados e, por fim, apenas aplicação de pacotes de água. No ensaio 06 foram aplicados pulsos mais longos (1,5 segundos), posteriormente, ataques combinados e, ao fim, aplicados apenas pacotes d'água. O ensaio 07 foi realizado exatamente como em um combate a incêndio real, mediante aplicação de pulsos e pacotes d'água, mas, sem especificações exatas dos instantes de cada ataque, ou seja, foram realizados de acordo com a experiência e necessidade dos combatentes, de modo que pudessem avançar mais rapidamente até o foco. Os ensaios 08 a 10 foram realizados sem qualquer intervenção de jatos d'água.

Por intermédio dos resultados das análises experimentais realizadas em parceria com o CBMMG, desenvolveu-se um modelo calibrado que fornece subsídios e fomenta eventuais pesquisas e experimentos futuros sobre o comportamento de estruturas e materiais construtivos em altas temperaturas. Tendo em vista que a determinação dos reais valores e comportamento da temperatura - dentro desse compartimento sinistrado - transformou o compartimento em um forno adaptado para ensaios controlados. Como intuito de

complementar este trabalho, os dados obtidos foram analisados subsidiariamente a simulações computacionais para verificação e desempenho, através dos *softwares Fire Dynamics Simulator – FDS* versão 6.7.0 (MCGrattan *et al.*, 2015) e *PyroSim* (Thunderhead Engineering, 2018), versão 2018.3.2010, fundamentados na dinâmica e no comportamento do incêndio.

### **1.3 Justificativa e Relevância do Tema**

No Brasil, a busca pela melhora na qualidade de instalações, equipamentos, procedimentos e criação de programas de orientação aos fabricantes e usuários das edificações clama por pesquisas sobre causas e efeitos de incêndios; uma vez que, estes são uma fonte importante de dados. No entanto, as pesquisas sobre sistemas estruturais e materiais construtivos em situações de incêndio ainda são pouco difundidas, visto que são poucos os laboratórios experimentais apropriados que conseguem simular um incêndio real, tendo em vista o oneroso custo dos fornos de simulação.

Pode-se dizer que, a apuração do comportamento real no interior do compartimento estudado, quando submetido a altas temperaturas, juntamente com as simulações computacionais, resultaram em um compartimento controlado, ou seja, preciso na simulação de um incêndio real. Em consequência, a equipe do CBMMG e a própria Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) contam com um equipamento calibrado e, dentro desse viés, o Departamento de Engenharia de Estruturas (DEES) poderá manipulá-lo para pesquisas e análises de corpos de provas em altas temperaturas, além de possibilitar a avaliação dos efeitos do combate de incêndios nos sistemas construtivos, garantindo que os impactos de um sinistro sejam estudados e previstos, contribuindo com reformulações necessárias tanto em projetos, como em ferramentas consideradas norteadoras para ações do Corpo de Bombeiros.

Com cunho social, os resultados da pesquisa viabilizam a verificação da eficiência dos equipamentos utilizados pelo Corpo de Bombeiros pois, através deles, podem-se aperfeiçoar as práticas adotadas, bem como, apontar os reais efeitos do combate por meio de jatos na diminuição da temperatura. Por conseguinte, também forneceu dados para analisar e melhorar a forma de combate.

## 1.4 Organização

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No Capítulo 1, *Introdução*, apresentam-se as considerações iniciais, os objetivos, seguidos da justificativa e relevância do tema proposto.

No Capítulo 2, intitulado *Conceitos Básicos e Revisão Bibliográfica*, são abordados os princípios básicos da engenharia e segurança contra incêndios, como: conceitos iniciais sobre a dinâmica de um incêndio, seguidas das medidas de segurança contra incêndios, assim como, a revisão bibliográfica acerca do tema, incluindo pesquisas que serviram de parâmetros para desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 3, nomeado como *Análise Experimental*, englobam-se os ensaios experimentais, os resultados obtidos e suas respectivas análises.

O Capítulo 4 disserta sobre o *Simulação Computacional de Incêndio*, discorrendo sobre as definições dos modelos de simulações e os aspectos da dinâmica computacional, abordando também as definições dos *softwares* utilizados para realização deste trabalho. Além disso, são convertidos os aspectos obtidos nas análises experimentais para simulações computacionais, por intermédio do modelamento do cenário nos *softwares FDS e PyroSim*. Por fim, são discutidos e analisados os resultados de calibração relativos a estas simulações.

Concluindo a pesquisa, o Capítulo 5, intitulado como *Considerações Finais*, apresenta o corolário sobre segurança contra incêndio, sintetizando os pontos mais significativos, conclusões e sugestões para continuidade da pesquisa.

Na sequência, as *Referências Bibliográficas*.

# 2

## CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Incêndios em Compartimentos

Incêndio em compartimento, segundo a *Society of Fire Protection Engineers*, SFPE (2016), é caracterizado como incêndio em ambientes fechados, isto é, nos cômodos das edificações.

A norma brasileira ABNT NBR 14432:2001, define compartimento como “edificação, ou parte dela, compreendendo um ou mais cômodos, espaços ou pavimentos, quando associado a situações de incêndio, define-o como espaços construídos com intuito de evitar a propagação do incêndio de dentro para fora de seus limites, incluindo o alastramento para edifícios adjacentes, quando aplicável”.

O Eurocode 1, Parte 1-2 (2002), conceitua compartimento de incêndio como um espaço no interior do edifício, considerando um ou mais pavimentos, que delimitado por elementos de separação, evita a deflagração do fogo para compartimentos adjacentes.

A grande discrepância existente na evolução de um incêndio ao ar livre e de um incêndio em um compartimento é encontrada basicamente em dois fatores: primeiramente, na oferta de oxigênio e, depois, no “*feedback radioativo*”<sup>1</sup> ou a retroalimentação. O crescimento de um incêndio em um compartimento, normalmente é controlado pela disponibilidade e quantidade de oxigênio e/ou de combustível. Contudo, quando há limitação na quantidade de oxigênio, a condição é conceituada como *ventilação controlada*, quando há limite, na quantidade de combustível, define-se o incêndio como *fogo controlado* (Hurtado, 2013).

---

<sup>1</sup>*Feedback radioativo*: definido pela queima em um compartimento. Os gases produzidos ficam contidos e se acumulam abaixo do teto formando uma camada térmica, irradiando grande parte do calor de volta ao ambiente. (CBMES, 2016).

## 2.2 Taxa de Calor Liberado (TCL)

Calor de Combustão é a quantidade de calor liberado para certa quantidade de massa de material queimado. Já a taxa de liberação de calor, ou *heat release rate* (HRR), como também é conhecida internacionalmente, pode ser conceituada como a taxa de calor (energia) dispendida pelo material combustível durante o processo de combustão em função do tempo, segundo o Eurocode 1, Parte 1-2 (2002). Essa liberação de calor está estritamente ligada à quantia, natureza do combustível, e à quantidade de oxigênio disponível. A TCL de um material é designada como o parâmetro mais considerável para descrever os riscos potenciais de um incêndio, é geralmente medida em Kilowatts (kW). A partir da taxa de calor liberado e do calor de combustão, pode-se obter a taxa de combustão em kg/s.

A Tabela 2.1 fornece alguns valores de TCL por unidade de área, a partir de testes experimentais por calorímetro realizados pelo NIST (NFPA, 1993 *apud* Buchanan, 2001), em itens típicos para uso de armazenamentos e alguns mobiliários.

Tabela 2.1: Taxa de liberação de calor de itens de armazenamento e mobiliários. (Adaptado - NFPA, 1993 *apud* Buchanan, 2001).

| Taxa de Liberação de Calor (HRR)                                 |                          |   |
|--|--------------------------|---|
| Materiais  | Tempo de Crescimento (s) | Liberação de calor (kW/m <sup>2</sup> ) |
| Palete de madeira, pilha - 0,45m de altura (6% - 12% de umidade) | 150-310                  | 1200                                    |
| Palete de madeira, pilha - 1,5m de altura (6% - 12% de umidade)  | 90-190                   | 3700                                    |
| Palete de madeira, pilha - 3,0m de altura (6% - 12% de umidade)  | 80-110                   | 6800                                    |
| Palete de madeira, pilha - 4,6m de altura (6% - 12% de umidade)  | 75-105                   | 10200                                   |
| Guarda roupa de madeira compensada de 12mm - com tecido, 68,3 kg | 35                       | 3500                                    |
| Poltrona - 23,0 kg   | 76                       | 600                                     |
| Colchão com molas - 62,4 kg                                      | 1100                     | 400                                     |
| Cadeira - 14,0 kg  | 100                      | 1850                                    |

Nota: A taxa máxima de liberação de calor por área de piso são para combustíveis totalmente envolvidos, assumindo 100% de eficiência de combustão.

## 2.3 Modelos de Incêndios

No que diz respeito aos gráficos referentes a incêndios, são considerados dois modelos: o incêndio-padrão e o incêndio-natural. As curvas fornecidas por eles, representam a temperatura dos gases em função do tempo.

### 2.3.1 Curvas Nominais

Sobre o modelo de incêndio-padrão, ou curvas nominais, o Eurocode 1 Parte 1-2 (2002) admite que a temperatura dos gases produzidos é ascendente com o tempo, independentemente das características do ambiente, como: geometria do ambiente, especificações térmicas dos materiais de vedação, grau de ventilação e carga de incêndio.

A simplificação desse modelo se justifica pela utilização de tempos padronizados, com o objetivo de unificar e fornecer parâmetros de projeto, conforme mostra a Figura 2.1.

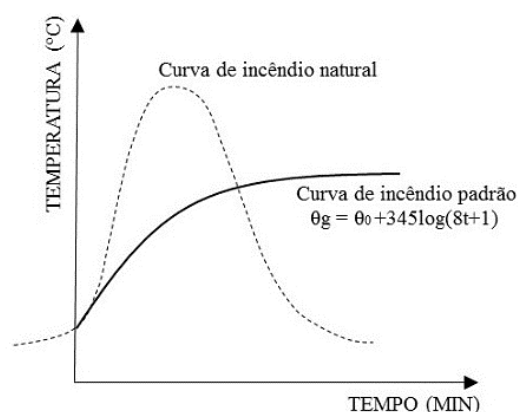


Figura 2.1: Curva de incêndio-padrão (Silva, 2001).

A norma ABNT NBR 14432:2001, segue os parâmetros da norma ISO 834 (1975), que abrange incêndio-padrão como a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, expressa pela Equação 2.1:

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad 2.1$$

Assim:

t - tempo, em minuto;

$\theta_g$  - temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em graus Celsius, geralmente tomada igual a 20°C; e,

$\theta_0$  - temperatura dos gases, em graus Celsius, no instante t.

#### 2.3.1.1 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

As curvas de incêndio-padrão apontam um crescimento constante com relação à temperatura, diferente do que acontece em um incêndio real. Segundo Wang (2002), com a



finalidade de dar mais realidade ao incêndio-padrão, é especificado um tempo limite de exposição, chamado de tempo requerido de resistência ao fogo, TRRF.

Esse tempo é um valor mínimo preestabelecido de resistência ao fogo de um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio-padrão, na condição de que o elemento estrutural resista à ação do fogo por esse determinado período, mantendo sua integridade estrutural, estanqueidade e isolamento (Vargas e Silva, 2003). De acordo com a ABNT NBR 14432:2001, alguns edifícios de fácil desocupação, tais como as edificações de pequeno porte, industriais ou depósitos podem estar isentas da verificação da segurança estrutural, desde que consideradas as medidas passivas e ativas em projeto. A Tabela 2.2 mostra alguns exemplos de TRRF.

Tabela 2.2: Tempo requerido de resistência ao fogo, TRRF, em minutos (ABNT NBR 14432:2001).

| Ocupação/Us  | Altura da Edificação |                           |                            |                            |                    |
|--------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
|              | $h \leq 6 \text{ m}$ | $6 < h \leq 12 \text{ m}$ | $12 < h \leq 23 \text{ m}$ | $23 < h \leq 30 \text{ m}$ | $h > 30 \text{ m}$ |
| Residencial  | 30                   | 30                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Hotel        | 30                   | 60                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Supermercado | 60                   | 60                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Escritório   | 30                   | 60                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Escola       | 30                   | 30                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Shopping     | 60                   | 60                        | 60                         | 90                         | 120                |
| Hospital     | 30                   | 60                        | 60                         | 90                         | 120                |

A determinação do TRRF tem por base parâmetros como altura e tipo da edificação que estão estritamente ligados à carga de incêndio e às consequências da exposição a altas temperaturas. No entanto, esse valor não aborda fatores preponderantes, como a ventilação e as propriedades dos materiais que compõem o compartimento. Utilizando a temperatura como exemplo, o conceito de tempo equivalente, uma das formas de derivar o tempo equivalente a igualdade das temperaturas máximas, é demonstrado na Figura 2.2.

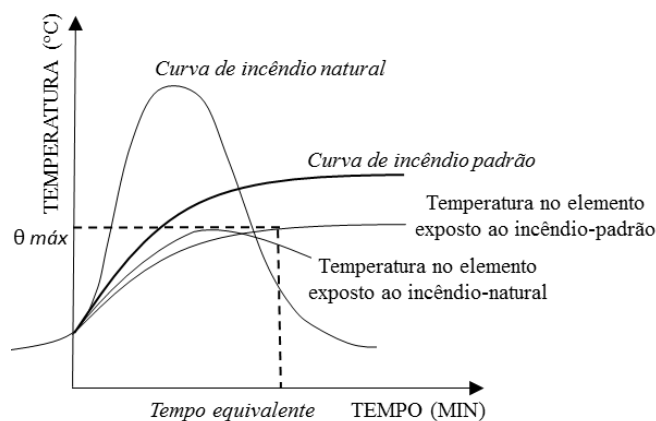


Figura 2.2: Conceito de tempo equivalente (Caldas, 2008).

Caldas (2008) menciona que apesar dos limites impostos, o uso da curva do incêndio-padrão tem algumas vantagens em relação às condições reais de exposição ao incêndio, como: a apresentação de seguros resultados em projetos, decorrente de uma longa história à que o conceito TRRF está relacionado com a segurança em incêndios, o grande conhecimento já obtido por meio de ensaios com utilização da relação temperatura-tempo do incêndio-padrão, bem como a fácil utilização da curva do incêndio-padrão, em virtude de ela apresentar apenas uma relação temperatura-tempo. O Eurocode 1 Parte 1-2:2002 sugere um procedimento para obtenção do tempo equivalente, no qual se embasam as IT-CBMESP 08 (2011) e IT-CBMMG 06 (2006).

### 2.3.2 Curvas Paramétricas

Conforme o Eurocode 1 Parte 1-2 (2002), o modelo de incêndio-natural, ou modelo paramétrico, é idealizado em função da parametrização dos fatores que induzem o aumento de temperatura dos gases. Admite-se que a temperatura dos gases respeite as curvas temperatura-tempo naturais, elaboradas a partir de ensaios que simularam a real situação de um incêndio em um compartimento (Silva, 2001).

Essas curvas apresentam um ramo crescente, relativo à fase de aquecimento e um ramo decrescente, relativo à fase do resfriamento, diferentemente das curvas nominais, como visto na Figura 2.3. Desta forma, explicita que não é sempre crescente a temperatura dos gases que envolvem o fogo ao longo do tempo. O modelo também é conhecido como modelo de incêndio compartimentado.

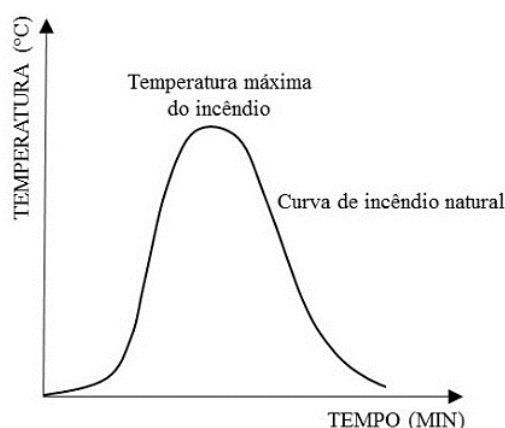


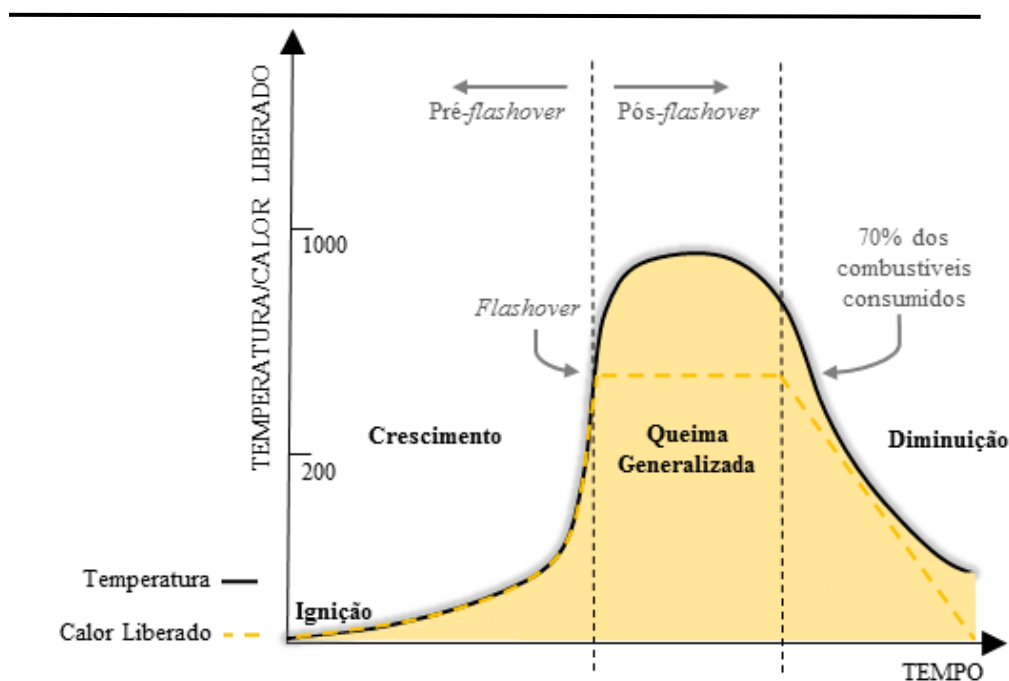
Figura 2.3: Curva de incêndio-natural (Silva, 2001).

A norma ABNT NBR 14432:2001, também conceitua incêndio-natural com a variação de temperatura que simula o incêndio real (considerando parâmetros físicos) incluindo

função da geometria, ventilação, características térmicas dos elementos de vedação e densidade de carga de incêndio específica.

## 2.4 Dinâmica do Incêndio

A curva de incêndio natural caracteriza três fases distintas: o crescimento (*pré-flashover*), a queima generalizada (*pós-flashover*) e a diminuição ou decaimento. Segundo SFPE (2002), essa curva (temperatura-tempo) está associada à taxa de calor, liberado pela combustão, e, intimamente relacionada à taxa de combustão através do potencial calorífico específico do material combustível. A Figura 2.4, mostra esquematicamente a evolução de um incêndio em relação à temperatura e ao calor liberado.



| Fase                  | Crescimento  | Queima Generalizada  | Diminuição                         |
|-----------------------|--|--|------------------------------------|
| Comportamento do Fogo | Controle da queima do material combustível                                   | Controle da ventilação   | Queima dos combustíveis controlada |
| Comportamento Humano  | Escape   | Morte  |                                    |
| Deteção               | Deteção da fumaça<br>Deteção do calor  | Chama e fumaça para fora do compartimento                                      |                                    |
| Controle Ativo        | Extinção por Sprinklers ou Corpo de Bombeiros;<br>Controle de fumaça         | Controle pelo Corpo de Bombeiros   |                                    |
| Controle Passivo      | Seleção de materiais com resistência à propagação da chama; compartimentação | Prover resistência ao fogo, contenção do fogo, prevenção de colapso estrutural |                                    |

Figura 2.4: Relação temperatura e taxa de calor liberado x tempo de um incêndio e, suas respectivas fases (Adaptado – Buchanan, 2001).

Iniciado em pequenas proporções, o crescimento se dá devido ao comportamento do primeiro item ignizado perante o fogo, bem como outros materiais localizados e distribuídos nas proximidades. Outros contribuintes para o desenvolvimento em ambientes confinados são: a geometria do compartimento, a carga de incêndio<sup>2</sup> do ambiente e as condições climáticas, como a temperatura e umidade relativa.

Burgess (2001) afirma que os gases quentes sofrem uma variação de temperatura, impondo um equilíbrio térmico dentro do ambiente. Sendo assim, a liberação de energia proveniente de um incêndio concerne das condições de ventilação do ambiente, do tipo e da quantidade de combustível presente e dos elementos de vedação.

### **2.4.1 Ignição**

A ignição é definida como o início da combustão. Processo em que os vapores formados pela liberação de calor de um material, juntamente com o ar, estabelecem uma mistura combustível (SPFE, 2002).

São numerosas as fontes de calor responsáveis pela ignição de um incêndio. De acordo com Bonitese (2007), são exemplos de agentes ígneos com chama: velas, fósforos, aquecedores a gás, pontos de fogo localizado; de agentes ígneos sem chama: os cigarros; de fontes elétricas e de radiação: os objetos reatores; e também superfícies aquecidas, fricção e raio.

Logo, esse processo se dá por meio de uma ignição espontânea ou por uma chama piloto. A ignição espontânea pode ocorrer por meio da exposição ao calor, mas sem presença de chamas, ou através de materiais celulósicos, sem exposição direta a uma fonte de calor externa, mas por acumulação de calor produzido pelo próprio material. Já a ignição por chama piloto, acontece mediante uma fonte de calor auxiliar, como uma fagulha, por exemplo. Sendo a radiação necessária nessa ocorrência, menor do que a carecida para uma ignição espontânea (Rosso, 1975).

---

<sup>2</sup>Carga de incêndio é a soma das energias caloríficas liberadas pela combustão completa no ambiente sinistrado (ver Item 2.5.1 deste Capítulo).

## 2.4.2 Crescimento ou Pré-Flashover

Na fase de crescimento, anterior à fase de *flashover*, ocorre a propagação do fogo para objetos próximos e para o material da cobertura. A temperatura do ambiente aumenta proveniente ao calor produzido pelos materiais em combustão, como visto na Figura 2.5.

As chances de um incêndio passar da fase inicial para a fase de inflamação generalizada, caracteriza o seu risco de crescimento.



Figura 2.5: Fase de crescimento do fogo, pré-flashover (IFSTA, 2001).

Nessa fase, há a formação de duas camadas de ar. A camada mais baixa se mantém próxima da temperatura ambiente e a camada superior, comumente chamada de pluma<sup>3</sup>, compõe-se de fumaça, gases quentes, e tem sua temperatura rapidamente elevada em razão dos produtos em combustão. Buchanan (1994) afirma que quando a temperatura da camada superior alcança aproximadamente 600°C e a radiação no nível próximo ao piso chega a 20 kW/m<sup>2</sup>, todo o material combustível presente no ambiente entra em ignição, e acontece o *flashover*.

Essa etapa é considerada primordial para segurança contra incêndios, já que a partir dela o calor e a fumaça começam a ser gerados no ambiente. Medidas de proteção contra incêndio, como *sprinklers* e detectores de fumaça, são programadas para serem acionadas nesse momento. Quando há combustão incompleta, sem presença de chamas e com baixo consumo de oxigênio, o fogo continua a se desenvolver, exceto quando não houver mais fontes combustíveis no ambiente sinistrado ou aconteçam medidas de extinção do fogo (Buchanan, 1994).

Rosso (1975) considera que o desenvolvimento do fogo é agravado pela presença de grandes superfícies combustíveis, como divisórias, paredes e forros, além da quantidade,

---

<sup>3</sup>Pluma é a coluna flutuante ascendente de chama e gases quentes provenientes da combustão acima da fonte de combustível.

volume e espaçamento dos materiais combustíveis; pelo tamanho e circunstâncias das fontes de combustão; pela área e localização das janelas (grau de ventilação<sup>4</sup>); pela velocidade e direção do vento e forma da compartimentação. A relevância imposta à posição relativa dos objetos e a natureza dos revestimentos se dá em função da transmissão de calor que acontece durante esta fase, basicamente por convecção e radiação.

### 2.4.3 *Flashover*

De acordo com NFPA 921 (2004) *apud Flashover and Fire Analysis* (2003), o melhor conceito empregado para *flashover* consiste em uma fase transitiva para uma combustão deflagrada no desenvolvimento do fogo, na qual todas as superfícies alcançam a maior temperatura de ignição quase que simultaneamente e o fogo se alastra ao longo do espaço, ocasionando numa inflamação súbita generalizada da área delimitada. A demonstração desta fase pode ser vista na Figura 2.6.



Figura 2.6: Fase de flashover de compartimento situação de incêndio (Adaptado – IFSTA, 2001).

Vale ressaltar que, antes do *flashover*, o crescimento do fogo está intimamente limitado à taxa de pirólise dos combustíveis envolvidos no fogo. Após o *flashover*, a proporção máxima do incêndio se limita, normalmente, à ventilação disponível ou pela presença de material combustível que continuará queimando até que se esgote o oxigênio no ambiente. Em virtude dos fatos mencionados, não é possível sobreviver a um incêndio após o *flashover* em decorrência das altas temperaturas, elevadas concentrações de fumaça e monóxido de carbono, também pela falta de oxigênio (Buchanan, 1994).

<sup>4</sup>A abordagem quanto ao Grau de Ventilação será apresentada no Item 2.5.2 deste Capítulo.

#### 2.4.4 Incêndio Pós-Flashover

Ocorrido o *flashover*, o fogo já se encontra em fase de queima generalizada. Essa fase é definida pela elevação das taxas de liberação de calor e também pela alta temperatura. Logo após o completo desenvolvimento do fogo, há a ameaça evidente de danos estruturais, levando a provável colapso estrutural parcial ou total da edificação (Drysdale, 2002).

É de grande importância que se avalie e considere as propriedades dos materiais de revestimento contra o fogo, a estabilidade estrutural e a possibilidade de propagação do fogo para outras propriedades, durante essa fase, representada esquematicamente na Figura 2.7.



Figura 2.7: Queima generalizada (Adaptado – IFSTA, 2001).

#### 2.4.5 Resfriamento e Extinção do Fogo

Na fase de diminuição, o incêndio perde a sua intensidade, uma vez que os suprimentos de materiais combustíveis se minimizam a ponto de não sustentarem o processo de queima, em que parcialmente 80% dos materiais já foram consumidos. O incêndio passa a ser controlado pela quantidade de combustível, e não mais pela ventilação. Assim, esvaindo-se o combustível, extingue-se o fogo.

### 2.5 Variáveis de Influência em Incêndio

Não há possibilidade da ocorrência de dois incêndios iguais, pois muitos são os fatores influentes. Porém, algumas variáveis são consideradas mais preponderantes (Seito *et al*, 2008). Na Tabela 2.3 são apresentados de forma sucinta alguns fatores e suas influências na severidade do incêndio, segurança à vida e segurança do patrimônio.

Tabela 2.3: Síntese dos fatores e influências sobre a severidade do incêndio, a segurança à vida e a segurança do patrimônio (Vargas e Silva, 2003).

| Fatores   | Influência   |   |   |
|---|--|---|---|
|   | Severidade do incêndio   | Segurança à vida  | Segurança do patrimônio   |
| Tipo, qualidade e distribuição da carga de incêndio | A temperatura máxima de um incêndio depende da quantidade, tipo e distribuição do material combustível no edifício.  | O nível de enfumaçamento, toxidade e calor dependem da quantidade, tipo e distribuição do material combustível no edifício.   | O conteúdo da edificação é consideravelmente afetado por incêndios de grandes proporções.   |
| Características da ventilação do compartimento      | Em geral, o aumento da ventilação faz aumentar a temperatura do ambiente e diminuir sua duração.   | A ventilação mantém as rotas de fuga livres de níveis perigosos de enfumaçamento e toxidade.  | A ventilação facilita a atividade de combate a incêndio por evacuação da fumaça e dissipação dos gases quentes.   |
| Compartimentação                                    | Quanto mais isolantes forem os elementos de compartimentação (pisos, tetos e paredes), menor será a propagação do fogo para outros ambientes, porém, o incêndio será mais severo no compartimento.   | A compartimentação limita a propagação do incêndio, facilitando a desocupação da área em chamas para áreas adjacentes.  | A compartimentação limita a propagação do fogo, restringindo as perdas.   |
| Resistência ao fogo das estruturas                  | A resistência ao fogo das estruturas, não afetam diretamente a severidade do incêndio. No entanto, quando há o desmoronamento de parte da edificação (coberturas, por exemplo) aumenta a oxigenação e reduz a duração do incêndio.   | A resistência das estruturas em situação de incêndio tem pequeno efeito na segurança à vida em edifícios de pequena altura ou área, por serem de fácil desocupação. Em edifícios altos é essencial prever a resistência ao fogo, indicada em legislação, para garantir a segurança ao escape dos ocupantes, às operações de combate e à vizinhança. | O colapso estrutural pode trazer consequências danosas às operações de combate ou à vizinhança. Se o risco for pequeno, a verificação de resistência pode ser dispensada. |
| Rotas de fuga seguras                               |  | Rotas de fuga bem sinalizadas, desobstruídas e seguras estruturalmente são essenciais para garantir a evacuação, e dependem do tipo de edificação.  |   |
| Reserva de água                                     | Água e disponibilidade de pontos de suprimento são necessárias para extinção do incêndio, diminuindo os riscos de propagação e seus efeitos à vida e ao patrimônio.  |   |   |
| Detecção de calor ou fumaça                         | A rápida detecção do incêndio, apoiada na eficiência da brigada contra incêndio e o Corpo de Bombeiros, reduzem o risco da propagação do fogo.   | A rápida detecção do início do incêndio, por meio de alarme, dá aos ocupantes rápido aviso da ameaça, antecipando a desocupação.  | A rápida detecção do início do incêndio minimiza o risco de propagação, reduzindo a região afetada pelo incêndio.   |
| Chuveiros automáticos                               | Projeto adequado e manutenção de sistema de chuveiros automáticos são internacionalmente reconhecidos como um dos principais fatores de redução do risco de incêndio, pois contribuem, ao mesmo tempo, para a compartimentação, a detecção e a extinção.   |   |   |
| Hidrantes e extintores                              | Hidrantes, extintores e treinamento dos usuários da edificação, para rápido combate, reduzem o risco de propagação do incêndio e seu efeito ao patrimônio e à vida humana.   |   |   |
| Corpo de Bombeiros                                  | A presença de pessoas treinadas para prevenção e combate reduz o risco de início e propagação de um incêndio.  | Além de reduzir o risco de incêndio, a brigada coordena e agiliza a desocupação da edificação. Um rápido e eficiente combate por parte do Corpo de Bombeiros reduz o risco à vida.  | A presença de brigada contra incêndio reduz o risco e as consequentes perdas patrimoniais decorrentes de um incêndio.   |
| Projeto de engenharia de incêndio                   | Um projeto de engenharia de segurança contra incêndio deve prever um sistema de segurança adequado ao porte e à ocupação da edificação, de forma a reduzir os riscos de início e propagação de um incêndio, a facilitar a desocupação e as operações de combate. Dessa forma, reduz a severidade do incêndio, as perdas de vidas e patrimoniais. |   |   |



Conforme Silva (2001) e Schleich *et al.* (1993), o risco de início de um incêndio, assim como sua intensidade e duração estão intimamente ligadas:

- À atividade desenvolvida na edificação: tipo e quantidade de material combustível, tecnicamente definido como cargas de incêndio, tal como a sua distribuição no ambiente;
- À forma geométrica da edificação e dimensões dos compartimentos;
- À ventilação do ambiente, bem como as condições climáticas como: a temperatura e a umidade relativa;
- Às propriedades térmicas dos materiais, principalmente das paredes e do teto;
- Aos sistemas de medidas de prevenção e proteção contra incêndio, já que a probabilidade de início e propagação de um incêndio é reduzida em edificações, que possuem detectores de fumaça, sistema de chuveiros automáticos, brigada contra incêndio e uma compartimentação adequada.

Sinteticamente, diz-se que a proporção da combustão de um incêndio (velocidade da queima) pode ser definida pela quantidade do suprimento de ar, ou seja, a velocidade de renovação do ar, pela carga de incêndio presente no ambiente, tal como sua conformação espacial e dimensões das aberturas de ventilação.

### **2.5.1 Carga de Incêndio**

Conforme a Instrução Técnica 09 – “*Carga de Incêndio nas Edificações e Área de Risco*” do CBMMG (2006), carga de incêndio é definida como a soma das energias caloríficas liberadas através da combustão completa de todos os materiais combustíveis contidos em um compartimento, ou seja, é a medida do calor máximo que os materiais liberam ao queimar-se completamente. As cargas de incêndio podem ser classificadas em incorporadas e temporárias. No caso da carga de incêndio incorporada estão inclusos os materiais que integram a edificação como os revestimentos de piso e forro, paredes, divisórias, cobertura, etc., e na carga de incêndio temporária estão os materiais inseridos após a construção, como mobília e decoração.

Carga de incêndio específica, ou densidade da carga de incêndio, é a razão entre a carga de incêndio e a área de piso do compartimento, expresso em MJ/m<sup>2</sup> ou em quilogramas equivalentes de madeira seca por m<sup>2</sup>.

A norma brasileira ABNT NBR 14432:2001 e a IT 09:2006 do CBMMG estabelecem a padronização de um valor de carga de incêndio específica para cada tipo de ocupação, por exemplo, o valor de 300 MJ/m<sup>2</sup> para ocupações residenciais. No entanto, esse valor da carga de incêndio específica também pode ser estipulado através da Expressão 2.2:

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i H_i}{A_f} \quad 2.2$$

Onde:

$q_{fi}$  - Valor da carga de incêndio específica, expressa em MJ/m<sup>2</sup> de área de piso;

$M_i$  - Massa total de cada componente  $i$  do material combustível, em Kg. Esse valor não pode ser excedido durante a vida útil da edificação, salvo, quando houver alteração da ocupação, ocasião em que  $M_i$  também deve ser reavaliada;

$H_i$  - Potencial calorífico específico de cada componente  $i$  do material combustível, em MJ/Kg;

$A_f$  - Área do piso do compartimento (m<sup>2</sup>).

### 2.5.2 Grau de Ventilação

O calor liberado pelos materiais combustíveis provoca uma diferença de temperatura entre a parte interna e externa do compartimento sinistrado. Essa diferença de temperatura gera o movimento ascensional dos vapores que, pouco a pouco, vão sendo substituídos através das aberturas. Pode-se dizer que, caso a entrada de ar seja deficiente devido às poucas e pequenas aberturas, tem-se um incêndio de maior duração, com combustão mais lenta, em razão da queima controlada. E caso haja uma farta ventilação, o incêndio é desenvolvido mais rapidamente atingindo suas mais altas temperaturas. Logo, o grau de ventilação, ou fator de abertura, exprime a quantidade de ventilação proporcional em relação à área do espaço compartimentado, é de grande importância no processo de combustão, principalmente quando associado à carga de incêndio disponível no ambiente.

O incêndio em locais fechados onde há falta de oxigenação, limita a liberação de calor, bem como a temperatura. Esse fato acontece até que alguma abertura libere novamente a entrada de ar no compartimento, o que conseqüentemente faria o fogo crescer até

proporcionar a generalização do incêndio (NIST, 2010). A Figura 2.8 expressa esse acontecimento.

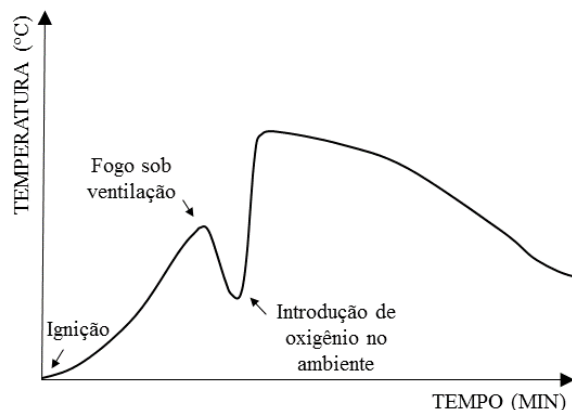


Figura 2.8: Curva de incêndio fogo controlado (Adaptado – NIST, 2010).

## 2.6 Segurança Contra Incêndios

Segurança contra incêndio, segundo Fitzgerald (2003), tem como intuito minimizar o risco à vida e reduzir as perdas patrimoniais, mediante um conjunto de soluções arquitetônicas e estruturais, bem como ações e recursos externos ou internos ligados à edificação, de modo que se permita tentar controlar a situação de incêndio, o pânico e a remoção das pessoas do local sinistrado em segurança, aumentando a probabilidade de sobrevivência dos ocupantes.

Contudo, a segurança contra incêndio é pautada em três objetivos principais:

- Garantir a integridade dos ocupantes;
- Assegurar e salvaguardar a estrutura e os bens materiais;
- Prevenir a conflagração do incêndio para edificações adjacentes.

Entende-se como integridade, a salvaguarda das vidas humanas contra o efeito nocivo e fatal dos riscos decorrentes de um incêndio, como: queimaduras, asfixia, contusões e colapsos, bem como dos efeitos secundários, tais como: radiação, gases nocivos e fumaças. Vale salientar que, o risco à vida ou a incidência de vítimas fatais são predominantemente ligados à fumaça e ao calor, em sinistros em que já houve deflagração do fogo (Rosso, 1975).

De acordo com CIB W014 (2001), toda edificação deve ser projetada de forma que, caso haja ocorrência de um incêndio, os ocupantes possam manter-se no local onde estejam, evacuar para outro local do edifício (com segurança relativa), ou evacuar completamente o edifício sem que fiquem sujeitos a condições perigosas, insalubres ou insustentáveis. Os quesitos de segurança à vida são empregados tanto dentro quanto fora da edificação.

Por segurança da propriedade entende-se a proteção de todo conteúdo do edifício, bem como de sua estrutura, abrangendo também os edifícios vizinhos. O risco de danos estruturais está intimamente ligado ao *flashover* no ambiente do incêndio, uma vez que quando esse fenômeno acontece, o controle do fogo se torna dificultado em decorrência da ignição de todo o material combustível. Contudo, prevenir a ocorrência do *flashover* também é uma maneira de garantir a segurança patrimonial (Schleich *et al.*, 1993).

### **2.6.1 A Evolução no Brasil**

No Brasil, a segurança contra incêndios se fundamenta em regulamentações, como normas, leis e instruções técnicas, que devem ser obrigatoriamente atendidas, para se garantir um nível mínimo em segurança. No entanto, essas regulamentações enfrentaram um longo processo até a efetiva implantação.

Acontecimentos como os ocorridos na cidade de São Paulo na década de 1970, entre estes, os do Edifício Andraus, em 1972 e do Edifício Joelma, em 1974 resultaram em muitas mortes e perdas econômicas que levaram as pessoas a compreenderem o alcance catastrófico dessas conflagrações. Naquela época, a segurança contra incêndios era completamente atribuída ao Corpo de Bombeiros, e esses sinistros não eram previstos, conforme referido nas leis nº 6.235, de 28 de agosto de 1961 e a de nº 8.563, de 31 de dezembro de 1964. A regulamentação implantada nos Códigos de Obras dos municípios referente ao tema era escassa, uma vez que até a década de 1950, a legislação existente exigia apenas instalação e indicação de localização dos extintores. Grande parte das normas e regulamentos foi elaborada e posteriormente modificada em decorrência a uma série de desastrosos acontecimentos, com intuito de se tornar ferramenta para evolução da segurança contra incêndio dos espaços urbanos construídos.

A elaboração das primeiras normas voltava-se, especialmente, às especificações de materiais construtivos e aos sistemas de proteção, assim como prescrições para combate a incêndios. A exemplos, citam-se algumas, como: a ABNT NBR 5627:1980 que foi redigida, entretanto, cancelada em 2001. A ABNT NBR 14323:1999 aprovada em São Paulo. Logo após, em 2001, a ABNT NBR 14432:2001 que também entrou em vigência. No mesmo ano, no Estado de São Paulo, foi aprovado o Decreto 46.076, que instituiu o regulamento de segurança contra incêndio das edificações e das áreas de risco para os fins da Lei 684 de 1975 e foi revogado pelo Decreto 56.819 de 2011, que instituiu o regulamento de segurança contra incêndio das edificações e das áreas de risco no estado de São Paulo e dá providências correlatas. No ano de 2004 entrou em vigor a ABNT NBR 15200:2004. Já em 2006 o Decreto 44.270, semelhante ao Decreto 46.076 do Estado de São Paulo, regulamentou a Lei 14.130, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico.

Atualmente, ainda se nota uma iminente necessidade entre a associação de medidas normativas de prevenção e combate ao fogo, concepção de projetos e escolha de materiais, de modo que isso potencialize o fator de segurança nas edificações, no que tange à proteção estrutural, aliados aos aspectos de habitabilidade tanto em situações cotidianas, como em situações inusitadas, como as de um incêndio.

Esse fato pode ser constatado quando analisados distintos, mas, mais recentes e trágicos incêndios que inclusive levantaram novamente o tema em questão, como o acontecido em janeiro de 2013, na Boate Kiss, localizada na cidade de Santa Maria/RS, onde durante um show pirotécnico, uma fagulha de um artefato atingiu e incendiou a espuma do revestimento acústico no teto da boate. Segundo a perícia técnica, não existiam extintores adequados e suficientes, nem mesmo sinalizações e vias de saída, apropriadas à situação de combustão; além disso, o revestimento acústico não era normatizado (Crea, 2013). Só após o ocorrido foram elaboradas legislações locais que associavam as normas referentes à concessão de alvarás de funcionamento para locais com grande aglomeração de pessoas às normas de segurança contra incêndio.

Já em maio de 2018, um incêndio causado por um curto-circuito atingiu o edifício Wilton Paes de Almeida, localizado no Largo do Paissandu, em São Paulo, e provocou o seu desabamento. O edifício que até o momento pertencia à União encontrava em trâmite para ser transferido oficialmente à Prefeitura de São Paulo; no entanto, por estar abandonado, acabou tomado por pessoas sem moradia. Sem eletricidade, o imprevisto fez da edificação uma tragédia anunciada. Atribuiu-se, às causas do desabamento do prédio feito em concreto

armado após tomado pelo fogo: a falta de manutenção, uma vez que estava abandonado e ocupado irregularmente, e a propagação rápida do incêndio pelo fosso do elevador, que elevou substancialmente a temperatura das estruturas, favorecendo o seu colapso. Por se tratar de uma antiga construção, a mesma não era adequada à ABNT NBR 15200:2004 o que afirma consequentemente, a inexistência da mínima margem de segurança adotada.

Por fim, em setembro de 2018, o edifício que abriga o Museu Nacional, considerado o maior museu de história natural do Brasil, na Zona Norte do Rio de Janeiro, foi tomado pelas chamas. Os três andares do edifício foram danificados e o teto teve toda sua estrutura comprometida, vindo parte a desabar. O prédio bicentenário que é tombado, não tinha o certificado que atesta a conformidade no quesito de segurança contra incêndio e pânico, e, no entanto, não atendia as exigências de segurança, como: caixas de incêndio, presença de extintores, iluminação, portas corta-fogo e saídas emergenciais. Não havia detectores de fumaça e nem *sprinklers*. Um contrato de revitalização fora assinado em junho do mesmo ano, mas não houve tempo para que o projeto pudesse acontecer.

Indubitavelmente, em ambos os casos, constatou-se a importância de rigorosa fiscalização, projetos de prevenção e combate a incêndios, projetos arquitetônicos e estruturais corretamente dimensionados e, no caso de obras públicas, carência de recursos públicos destinados à regularização desses fins. Uma vez que, sem a adoção destas medidas e ações, não há possibilidade de se manter o ambiente seguro até a desocupação completa antes do colapso estrutural. É pertinente ressaltar que, estar em conformidade com as medidas normativas de segurança contra incêndio e pânico é, logo, uma obrigação.

## **2.6.2 Medidas de Segurança Contra Incêndios**

Um adequado sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de medidas de prevenção destinadas, exclusivamente, a prevenir o início do incêndio, associado a medidas de proteção que garantam a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança, propiciem a minimização dos danos à edificação, bem como das edificações adjacentes, e mantenham em segurança os operantes em caso de conflagração. Conforme Ono (2007), as medidas de proteção contra incêndio podem ser divididas em duas classes: as medidas de proteção passiva e as medidas de proteção ativa. Quando associadas, essas medidas têm o propósito de manter o risco de incêndio em níveis aceitáveis.

Oito fundamentos compõem as medidas de prevenção e proteção contra incêndio estabelecidos por Berto (1991), que as associam com as etapas de crescimento do fogo. Estas medidas são apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Principais medidas de prevenção e de proteção contra incêndio associados aos elementos do sistema global de segurança contra incêndio (Berto, 1991).

| Elementos do sistema   | Objetivos dos elementos   | Requisitos funcionais que visam garantir                            | Principais medidas de prevenção e proteção contra incêndios  |   |
|--|---|---|--|---|
|  |   |   | Passivas   | Ativa   |
| Precauções contra o início do incêndio                             | Evitar danos à vida humana e reduzir danos à propriedade atingida                     | Não ocorrer o princípio de incêndio                                 | - Determinações de projeto   | - Correto dimensionamento e execução das instalações elétricas  |
| Limitações do crescimento do incêndio                              |   | Não atingir a fase de inflamação generalizada                       | - Controle da quantidade de materiais combustíveis incorporados aos elementos construtivos.<br>- Controle das características de reação ao fogo dos materiais e produtos incorporados aos elementos construtivos | - Provisão de sistema de alarme manual<br>- Provisão de sistema de detecção e alarme automáticos  |
| Extinção inicial do incêndio                                       |   | Extinção do incêndio antes da inflamação generalizada               |  | - Provisão de equipamentos portáteis (extintores de incêndio)   |
| Limitação da propagação do incêndio                                |   | Não ocorrer a propagação do incêndio para outros ambientes          | - Compartimentação vertical<br>- Compartimentação horizontal   | - Provisão de sistema de extinção manual (hidrantes e mangotinhos) e de sistema de extinção automática de incêndio  |
| Evacuação segura do edifício                                       | Evitar danos à vida humana  | Facilidade e rapidez de fuga dos ocupantes                          | - Provisão de rotas de fuga seguras e sinalização adequada   | - Provisão de sinalização e iluminação de emergência<br>- Provisão do sistema do controle de fumaça<br>- Provisão do sistema de comunicação de emergência |
| Precauções contra o colapso estrutural                             | Evitar danos à vida humana e reduzir danos à propriedade e às propriedades adjacentes | Não ocorrer a ruína parcial ou total do edifício                    | - Resistência ao fogo da envoltória do edifício, bem como de seus elementos estruturais  |   |
| Precaução contra a propagação do incêndio entre edifícios          | Evitar danos às propriedades adjacentes   | Não ocorrer a propagação do incêndio entre edifícios                | - Resistência ao fogo da envoltória do edifício, bem como de seus elementos estruturais<br>- Distanciamento seguro entre edifícios   |   |
| Rapidez, eficiência e segurança das operações de combate e resgate | Evitar danos à vida humana e reduzir danos à propriedade e às propriedades adjacentes | Rapidez, eficiência e segurança no combate e no resgate das vítimas | - Provisão de meios de acesso dos equipamentos de combate a incêndio e sinalização adequada  | - Provisão de sinalização e iluminação de emergência<br>- Provisão do sistema do controle do movimento de fumaça  |

Todavia, segundo Ono (2007), a proteção ativa contra incêndio é composta por dispositivos e sistemas que são acionados, manual ou automaticamente, em situação de incêndio. Tem como intuito a detecção, alerta dos ocupantes da edificação para a rápida desocupação e as medidas de combate com segurança. São exemplos: extintores, hidrantes, chuveiros automáticos (*sprinklers*), sistema de alarme manual de incêndio, meios de detecção e alarme automáticos de incêndio (detectores de fumaça, temperatura, raios infravermelhos, etc., ligados a alarmes automáticos), sistema de iluminação de emergência, sistemas de controle e exaustão da fumaça, etc.

Já os métodos de proteção passiva são compostos por sistemas de proteção incorporados à construção da edificação, os quais não requerem nenhum tipo de acionamento para o seu funcionamento em situação de incêndio (Ono, 2007). As medidas passivas englobam projetos corretamente elaborados, com emprego de saídas emergenciais e materiais dos quais as características de ignição sejam perfeitamente conhecidas.

Todas essas medidas se caracterizam em quatro fases: prevenção, confinamento, combate e rescaldo. Na fase de prevenção, são tomadas as medidas que visam controlar a existência do fogo. No confinamento, ocorrem medidas que permitem extinguir o fogo na própria fonte, ou confiná-lo em condição que assegure a incolumidade e o salvamento das pessoas, num tempo determinado. Na fase de combate, é dado o processo de extinção, facilmente confundido com o fim da segunda fase. Por fim, a quarta fase destina-se a eliminar os possíveis focos de reavivamento do fogo, que se encontram nas cinzas, entulho e escombros (Rosso, 1975).

## **2.7 Revisão Bibliográfica**

O conteúdo a seguir serviu de parâmetro para desenvolvimento deste trabalho. Contudo, é importante salientar que são poucas as normas e regulamentos sobre os treinamentos realizados pelo Corpo de Bombeiros em containers, além de as pesquisas científicas sobre o assunto ainda serem pouco difundidas.

### **2.7.1 Considerações sobre o CBMMG**

Desde que foi desvinculado da Polícia Militar do Estado de Minas Gerais, através da Emenda Constitucional do Estado nº 39, de 2 de junho de 1999, o Corpo de Bombeiros



Militar de Minas Gerais passou a ter autonomia administrativa e financeira. A disposição e as atribuições básicas do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais são regidas pela Constituição Federal – Art. 144, pela Constituição Estadual de Minas Gerais – Art. 142, de 1989 e pela Lei Complementar de Minas Gerais nº 54, de 1999, admitidas em ações de urgência e emergência, como: defesa civil, prevenção e combate a incêndio, perícias de incêndio, buscas e salvamentos. Envolvem também o estabelecimento de normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio ou qualquer tipo de catástrofe. Na prática, esses grupos são redistribuídos em modalidades de ocorrências e de acordo com seus respectivos acionamentos, tais como: socorro (incêndios), salvamento (buscas e salvamentos terrestres, aquáticos e em altura) e resgate (atendimentos pré-hospitalares). A cargo do último grupo, a prevenção de sinistros, que não tem seu acionamento sob a forma de ocorrência, e é realizado pelas Companhias de Prevenção e Vistoria, fora do regime operacional de plantão.

### 2.7.2 Treinamento em Containers

Um simulador composto por um container marítimo é utilizado para instrução e observação dos efeitos do fogo pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), mostrado na Figura 2.9.



Figura 2.9: Container utilizado para treinamento do CBMMG.

Segundo informações disponibilizadas pelo site do CBMMG (2015), o estado de Minas Gerais é o terceiro a adotar este tipo de equipamento para treinamentos no Brasil, seguindo o estado do Espírito Santo e o Distrito Federal. Durante o treinamento de aproximadamente 25 minutos, os participantes são confrontados com visibilidade restrita, devido à saturação de fumaça, calor extremo, vapor d'água e chamas reais, o que propicia um treinamento mais realista para uma melhor atuação nas ocorrências de incêndios, como exposto na Figura 2.10.



Figura 2.10: Atuação de bombeiros durante treinamento em container.

Uma simulação real tem por intuito capacitar os bombeiros no combate ofensivo e atender às novas premissas de melhoria das táticas de combate que, atualmente, pregam por economia de esforços militares, otimização técnica e economia de água.

Durante o treinamento, é realizada uma queima controlada dentro do container. A carga de incêndio utilizada na montagem do foco não deve comprometer a segurança da instrução. O padrão estabelecido pelo CBMMG determina a adesão de 7 folhas de madeirites de 10mm, ou 11 paletes, incluindo o material para o início da queima. Durante o processo, é proibido utilização de acelerador, como gasolina, óleo, ou álcool para ignição do incêndio dentro do simulador.

Uma câmera térmica já foi utilizada externamente durante uma simulação pelo CBMMG, em que estimaram ser possível chegar a temperaturas de até 1000°C no teto, sendo diminuída a 300°C a temperatura (a cada um metro), de fato, podem-se testar as funções dos

equipamentos de proteção individual, além do aparelho de respiração autônomo. Durante as instruções, podem ser apresentadas técnicas de atuação em casos de *flashover* e *backdraft* (caracterizado pela explosão provocada pela diminuição de oxigênio e altas concentrações de gases inflamáveis).

### **2.7.3 CBMGO (2015)**

A norma operacional n. 15 “*Treinamento no Simulador de Combate a Incêndio em Tempo Real – Tipo Container*” do Corpo de Bombeiros do Estado do Goiás (2015), estabelece a padronização e regulamentação do uso do simulador de combate a incêndio em tempo real tipo container, propiciando maior segurança nos treinamentos.

Determina-se que antes de submetidos ao treinamento, os participantes devam ter preparação e conhecimento prévio sobre teoria do fogo, técnicas de armação de linhas de mangueiras no plano horizontal, adaptação ao equipamento de proteção individual – EPI e estar aptos a solucionar problemas no equipamento de proteção respiratória autônomo – EPRA, técnicas de progressão e recuo em ambiente confinado, técnicas de ataque e técnica de rescaldo.

Cada equipe de treinamento é composta por 3 instrutores e um militar de segurança responsáveis pela queima e, no máximo, 6 instruídos. O militar de segurança é responsável por isolar a área imediatamente à frente do container, mantendo um espaço seguro para observadores externos e coordenar todo o trabalho de montagem do cenário. Ao longo de todo o processo, são seguidos protocolos e medidas de segurança rígidos, como o posicionamento de viaturas de água e atendimento pré-hospitalar, para que se evitem quaisquer intercorrências.

O processo começa através da leitura das normas para todos participantes e instrutores. Posteriormente, o militar de segurança divide os grupos de trabalho e faz orientações sobre o passo a passo do processo que deve ser desempenhado pelo participante durante o combate ao foco de incêndio dentro do compartimento. Após as primeiras preparações, os alunos e instrutores são munidos de EPI completo, realizam os devidos testes no EPRA e se dirigem à área de treinamento, juntamente com o material de hidratação e alimentação.

Na Tabela 2.5 são delimitadas as atividades realizadas no combate a incêndio no simulador em tempo real – tipo container, com seus respectivos tempos de execução.

Tabela 2.5: Fases do combate a incêndio no simulador, tipo container (CBMGO, 2015).

| Nº | Atividades realizadas   | Tempo padrão* |
|----|---|---------------|
| 1  | Leitura das normas no estágio e de segurança                    | 20 min        |
| 2  | Divisão de tarefas e orientações sobre montagem do cenário      | 5 min         |
| 3  | Transporte dos equipamentos para o local de treinamento         | 25 min        |
| 4  | Montagem do cenário pelos alunos com orientação dos instrutores | 40 min        |
| 5  | Ensaio de queima (sem fogo)                                     | 40 min        |
| 6  | Descanso e hidratação   | 20 min        |
| 7  | Verificação da segurança da cena pelos militares de segurança   |               |
| 8  | Observação da queima no simulador                               | 10 min        |
| 9  | Combate a incêndio no simulador (com técnicas de jatos)         | 20 min        |
| 10 | Rescaldo  | 10 min        |
| 11 | Desmontagem do cenário e manutenção dos equipamentos            | 40 min        |
| 12 | Avaliação das atividades desenvolvidas                          | 30 min        |

Nota: O tempo das atividades poderá ser flexibilizado de acordo com a necessidade e aprovação dos instrutores.

Após a abertura das portas, sob o comando de “rendição” proferido pelo instrutor, os instruendos deslocam-se e assumem a linha de segurança. Na Figura 2.11 são demonstradas as posições iniciais, com respectivo sentido de rodízio e rendição dos instruendos durante as atividades.

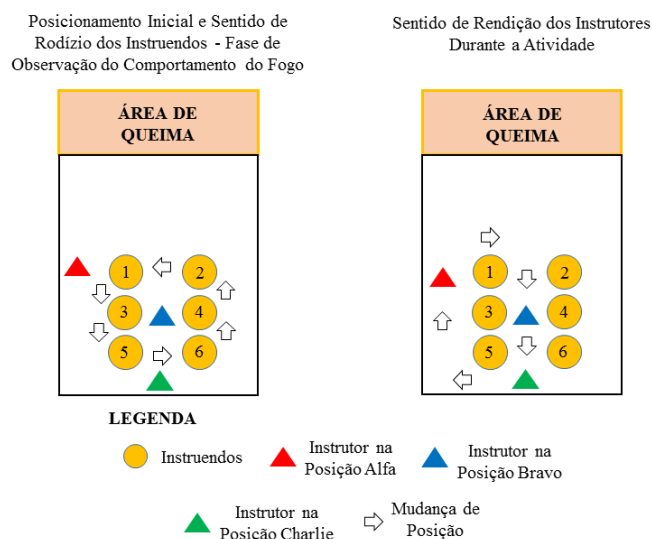


Figura 2.11: Posicionamento e sentido de rodízio durante fase de observação.

Durante treinamento são realizados exercícios de técnicas de combate a incêndio, como: ataque tridimensional, ataque combinado (ataque tridimensional e pacote de água) e jato mole no rescaldo. A cargo do instrutor, está a ordem para a realização de cada evento de

ataque. Na transição da fase de observação para o ataque tridimensional, há uma alteração de fila dupla para única, ilustrado na Figura 2.12, que também mostra o sentido e forma de rodízio dos instruídos durante esta operação.

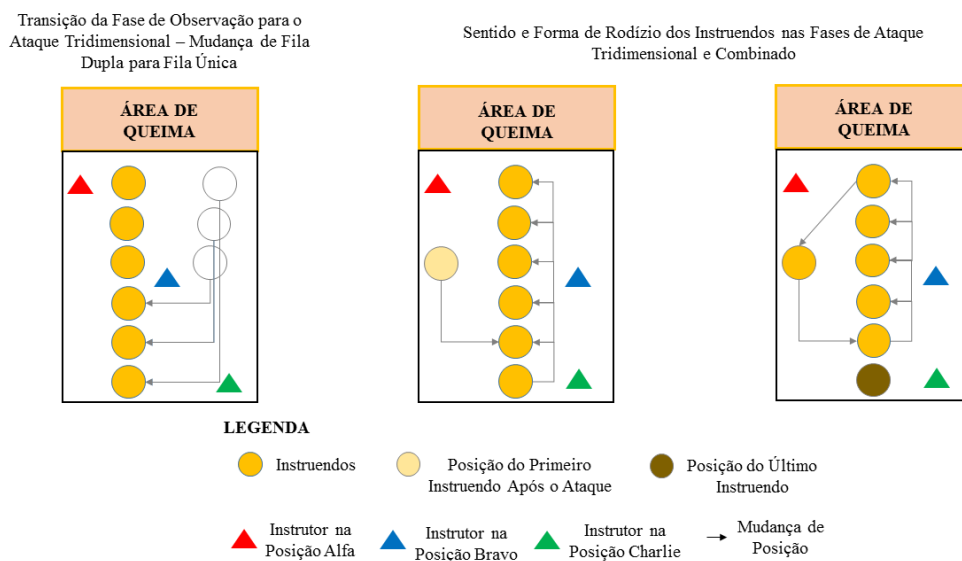


Figura 2.12: Posicionamento e sentido de rodízio durante fase de ataque tridimensional.

O processo da queima deve obedecer fielmente ao que foi explicado durante o ensaio. O militar de segurança deve observar, de local seguro, os procedimentos que estão sendo realizados dentro do simulador e determinar a saída se verificar perigo iminente. A saída de emergência pode acontecer, quando um dos instrutores se deparar com alguma irregularidade. Nesta situação qualquer instrutor, mesmo o instrutor encarregado da segurança geral, que fica na parte externa do contêiner, baterá nas paredes do simulador e gritará “sair”. A saída dos participantes deve acontecer de joelhos e sempre de frente para o foco.

Durante o treinamento, são realizadas as anotações constantes da “Ficha de Controle de Queima”. Após a queima é providenciada a verificação das condições físicas de saúde dos instrutores e alunos para liberação ou não da viatura de atendimento pré-hospitalar. Em caso de acidente com instrutor ou aluno, o militar de segurança deve confeccionar o memorando do ocorrido. A finalização das atividades vem após a desmontagem do cenário e manutenção do local e dos equipamentos, a qual deverá ser conduzida pelos instrutores e militar de segurança, consistindo na desmontagem do sistema hidráulico, limpeza e manutenção dos esguichos, acondicionamento das mangueiras (secando), colocação do material móvel para dentro do simulador, limpeza das máscaras do EPRA e guardar material nos depósitos. O



EPRA é desmontado e acondicionado nos locais determinados, juntamente com as máscaras. O simulador deve ficar totalmente limpo, sem restos da queima.

#### 2.7.4 CBMDF (2009)

O Grupo de Pesquisa na Área de Combate a Incêndios Urbanos do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) avaliou a evolução e influência da temperatura no corpo e eficiência dos equipamentos de proteção individual dos bombeiros, durante uma simulação de incêndio em um container de treinamento.

Por meio de experimentos com termômetros específicos, coletaram-se dados importantes do comportamento do incêndio. Através da simulação de uma operação de combate a incêndio durante a fase de *flashover*, foram conectados termopares sensíveis à variação de temperatura sob o EPI (roupa, capacetes, botas, luvas, etc.) de um grupo de profissionais.

Esse estudo limitou-se a investigar a sensação térmica e o nível de segurança para os bombeiros, bem como o comportamento do material de proteção (EPI). A madeira foi adotada como material combustível dentro do container, os testes foram realizados no mês de março de 2009 e tiveram duração de aproximadamente 49 minutos e 55 segundos. A Figura 2.13 explana as temperaturas aferidas dentro do compartimento através da fixação de quatro pontos de medição no centro do container com as respectivas alturas: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m.

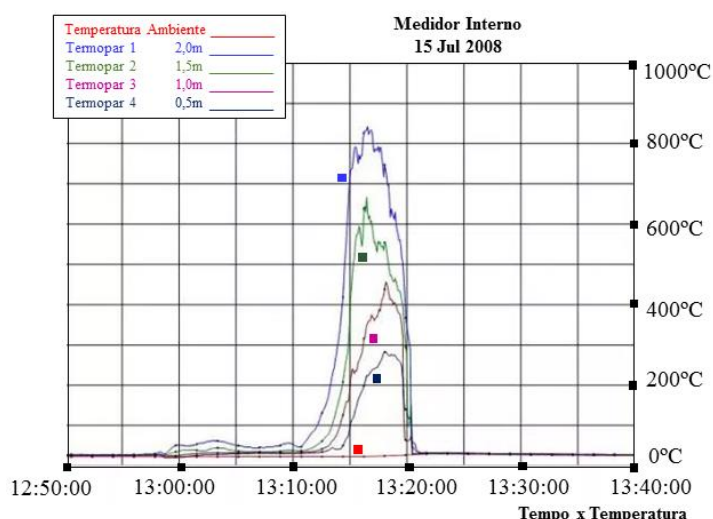


Figura 2.13: Medições aferidas dentro do compartimento (Adaptado – CBMDF, 2009).

Percebe-se que o resultado do ensaio apresenta oscilações com uma variação na temperatura no decorrer da atividade - causado pela extinção através do combate com jatos de água, e esse fato justifica a diferença existente no declínio ao final do gráfico. Entretanto, ainda sim nota-se a semelhança nas curvas iniciais do gráfico; a fase de *flashover*. Durante realização dos ensaios, constatou-se que o termopar mais alto (2,0 m) aferiu temperaturas próximas de 850°C e, o termopar mais baixo (0,5 m) registrou temperaturas próximas a 285°C. A Tabela 2.6 apresenta a relação de altura em que foram colocados os termopares com as temperaturas máximas e mínimas coletadas.

Tabela 2.6: Temperaturas aferidas dentro do compartimento (CBMDF, 2009).

|            | Temp. Amb. | 0,5 m    | 1,0 m    | 1,5 m    | 2,0 m    |
|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| Temp. Mín. | 22,00°C    | 19,72°C  | 24,14°C  | 25,88°C  | 26,7°C   |
| Temp. Máx. | 29,40°C    | 284,29°C | 456,46°C | 666,54°C | 842,67°C |

Na Figura 2.14, analisaram-se quatro sensores posicionados no bolso interno da capa de aproximação, pescoço, perna e braço direito (punho).

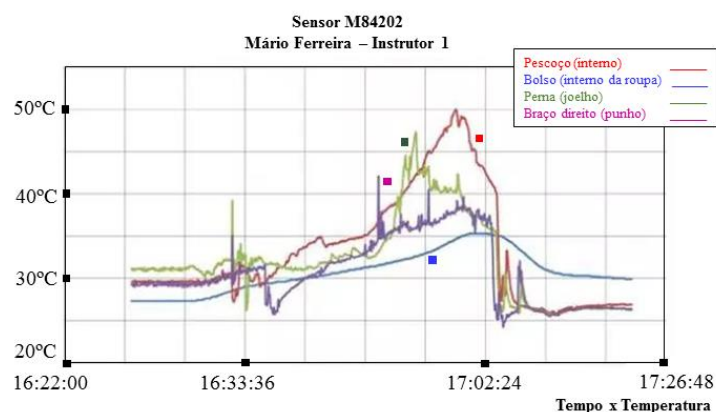


Figura 2.14: Medições aferidas no Teste 2 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009).

Nessa primeira aferição, o portador dos termopares permaneceu a aproximadamente, 3 metros do foco do incêndio. Ao final do exercício foi deslocado para a porta de entrada, mais afastado do foco. Neste caso, são apresentados os valores máximos em que o bombeiro foi submetido na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Temperaturas aferidas no Teste 2 (CBMDF, 2009).

|                         | Bolso | Pescoço | Joelho | Punho |
|-------------------------|-------|---------|--------|-------|
| Temp. Máx. (aproximada) | 35°C  | 50°C    | 47°C   | 43°C  |

Ambas as aferições foram feitas internamente à capa de proteção.

A terceira aferição é apresentada pela Figura 2.15 e Tabela 2.8.

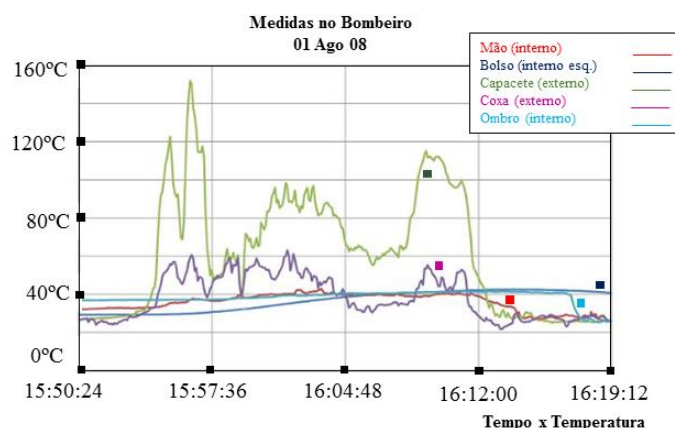


Figura 2.15: Medições aferidas no Teste 3 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009).

Tabela 2.8: Temperaturas aferidas no Teste 3(CBMDF, 2009).

|                         | <b>Bolso</b> | <b>Mão</b> | <b>Ombro</b> | <b>Coxa</b> | <b>Capacete</b> |
|-------------------------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------------|
| Temp. Máx. (aproximada) | 40°C         | 42°C       | 42°C         | 61°C        | 150°C           |

Ambas as aferições foram feitas internamente à capa de proteção, exceto o capacete.

Nota-se que, na região externa próxima ao capacete registraram-se temperaturas de aproximadamente 150°C, nas mãos e ombro temperaturas próximas a 40°C e, na coxa a máxima de 61°C.

Já a quarta e última aferição apresentou os resultados mostrados na Figura 2.16, e transcritos na Tabela 2.9.



Figura 2.16: Medições aferidas no Teste 4 – EPIs (Adaptado – CBMDF, 2009).

Tabela 2.9: Temperaturas aferidas no Teste 4 (CBMDF, 2009).

|                         | <b>Bolso</b> | <b>Perna</b> | <b>Costa</b> | <b>Capacete</b> |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| Temp. Máx. (aproximada) | 40°C         | 50°C         | 40°C         | 140°C           |

Ambas as aferições foram feitas internamente à capa de proteção, exceto o capacete.

Na região externa próxima ao capacete registraram-se temperaturas aproximadas a 140°C, no bolso e costa temperaturas máximas de 40°C e, na perna a máxima de 50°C. Em



virtude dos resultados, certificou-se que a 2,0 m de altura o compartimento de incêndio pode alcançar valores próximos de 900°C, e a 1,5m alcançar cerca de 700°C. Além disso, o modelo teórico do *flashover* aproxima-se muito à realidade. O crescimento e o pico de temperatura se dão em um intervalo menor que 10 minutos. E por fim, conclui-se que é impraticável a permanência do bombeiro no compartimento se faltar qualquer parte do EPI.

### 2.7.5 Braga *et al.* (2016)

Os autores analisaram a dinâmica do incêndio durante o treinamento do corpo de bombeiros em containers, com intuito de controlar o ambiente e verificar a influência da temperatura, tanto no compartimento, quanto no corpo e no equipamento de proteção individual. Para isso, foram acoplados na parte externa das roupas dos bombeiros e no capacete, sensores termopares tipo K com isolamento de fibra de vidro, e dentro da roupa ou no interior do capacete, os termopares com isolamento de PVC. Além destes materiais, foram utilizados medidores de fluxo de calor, do tipo Schmidt Boelter de fundo de escala de 20 kW/m<sup>2</sup> e tamanho de 1 polegada, para investigar a situação a que os bombeiros estavam submetidos em estágio de *pré-flashover* durante o combate. Os demais dados foram coletados por um registrador de temperatura da marca Yokogawa, modelo MV220 de 30 canais ou pelo sistema CompactDAQ da National Instruments, e imagens térmicas por uma câmera térmica da marca MSA, modelo 5200HD.

Na Figura 2.17 é exibido o perfil vertical de temperatura dentro do container. A posição dos sensores termopares (TC), assim como da localização dos bombeiros (BM) no início do teste são exibidas no desenho esquemático do container à direita da figura.

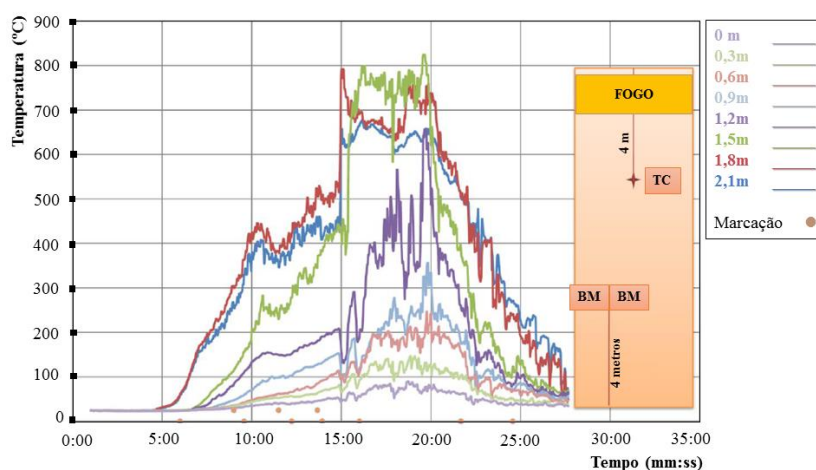


Figura 2.17: Gráfico - perfil vertical de temperatura (Adaptado – Braga *et al.*, 2016).

Na Figura 2.18 é apresentado o perfil horizontal próximo ao teto, a 2,3 metros de altura, que exibe temperaturas máximas de aproximadamente 800°C. Através dos gráficos, é possível concluir que a diferença de temperatura na altura do ombro de um bombeiro agachado (0,9 m) e em pé (1,5 m) pode chegar até 550°C.

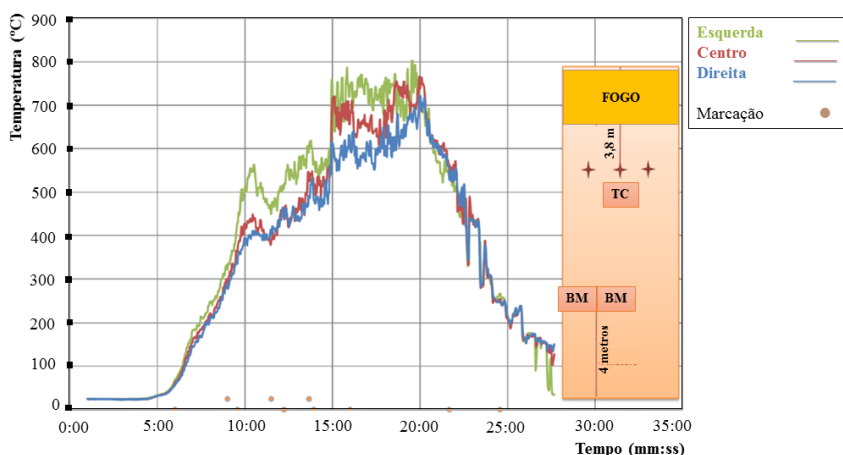


Figura 2.18: Gráfico - perfil horizontal de temperatura (Adaptado – Braga *et al.*, 2016).

Foram aferidas as temperaturas em seus pontos diferentes na roupa de proteção: ombro, peito, coxa, ambos do lado interno e externo, como mostra a Figura 2.19. Através da imagem é possível verificar que a temperatura máxima chegou a 200°C na parte externa da perna e do peito, já o ombro apresentou uma temperatura um pouco mais baixa, próxima de 160°C, supostamente, porque a medida foi coletada na lateral da roupa e não de frente para o foco do incêndio. As temperaturas internas ficaram entre 80°C e 95°C.

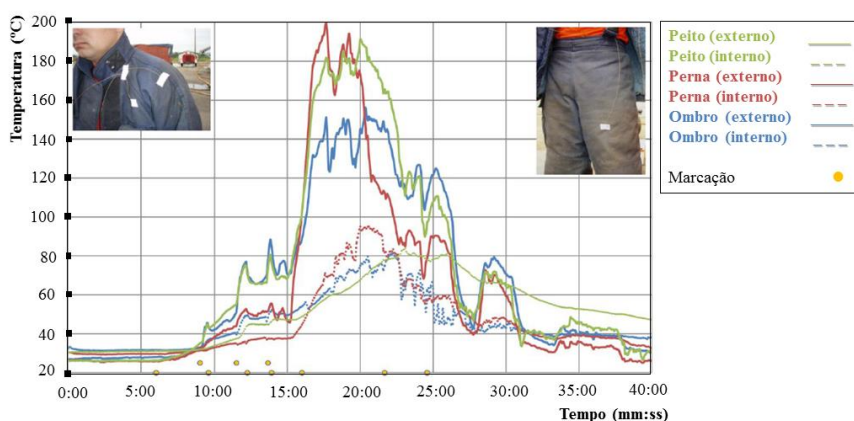


Figura 2.19: Temperaturas nos pontos internos e externos do corpo (Adaptado – Braga *et al.*, 2016).

Contudo, vale ressaltar que essa não é a temperatura na pele do bombeiro, uma vez que os sensores foram acoplados no forro interno da vestimenta, e além disso, o profissional ainda trajava calça e camisa por baixo da roupa de proteção. No entanto, não pode se

desconsiderar o quão alta é a temperatura a que ficam submetido, sujeitos inclusive a queimaduras de 2º grau, quando em temperaturas acima de 55°C.

Na Figura 2.20 é apresentada a temperatura interna e externa à máscara de proteção respiratória autônoma (EPRA).

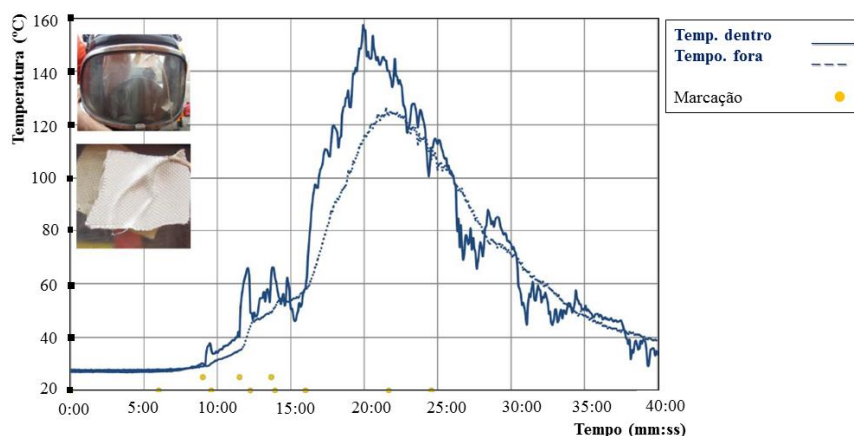


Figura 2.20: Gráfico da temperatura na máscara de proteção respiratória (Adaptado – Braga *et al.*, 2016).

A temperatura interna é próxima de 120°C, e, diferentemente da roupa de proteção, bem próxima à temperatura externa na lente da máscara, de 160°C. Esse fato demonstrou uma menor proteção térmica da lente, confeccionada em policarbonato, o que pode ocasionar o amolecimento do material com temperaturas próximas de 267°C, que até vir a derreter em temperaturas maiores.

Na Figura 2.21 pode ser verificado o fluxo de calor que chegou a 6 kW/m<sup>2</sup>. Esse valor está abaixo do nível limite de segurança, de 7 kW/m<sup>2</sup>, de acordo com valores adotados por Lawson (2009). No entanto, em outros testes realizados, foram medidos fluxos de calor mais altos, próximos a 8 a 9 kW/m<sup>2</sup>, salientando que é necessário um cuidado extremo durante estes testes e treinamentos. Os primeiros três picos exibidos no gráfico representam os instantes em que os profissionais se levantaram como parte do teste (visualização da camada de fumaça). A partir deles, verificou-se a diferença entre o bombeiro estar agachado e estar em pé. Rapidamente o fluxo de calor passou de menos de 1 kW/m<sup>2</sup>, considerada uma situação de rotina, para uma condição próxima da extrema, com fluxo de calor chegando perto de 6 kW/m<sup>2</sup>. Essa variável por si só já ressalta a importância de se manter agachado durante o combate. Sucintamente, o estudo de Braga *et al.* concluiu que em algumas condições durante a pesquisa, os bombeiros foram submetidos a temperaturas de até 200°C no lado externo da

roupa de proteção e de 80° C dentro dela, o que representa a picos de fluxo de calor próximos a 8 kW/m<sup>2</sup>.

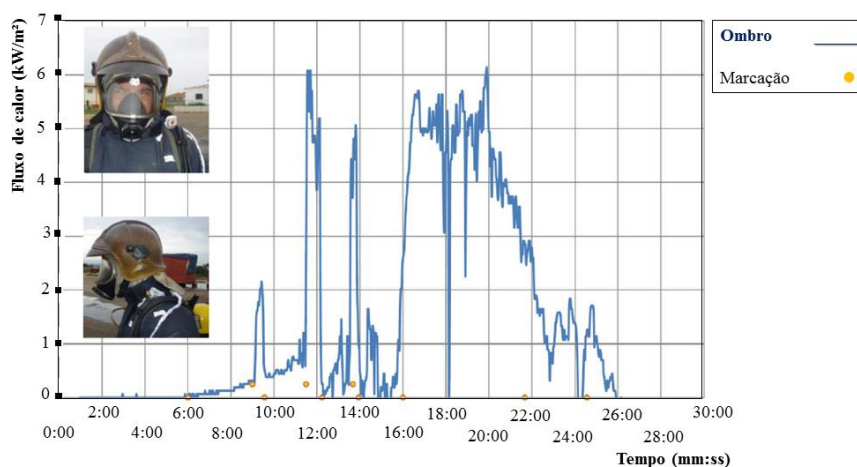


Figura 2.21: Gráfico do fluxo de calor (Adaptado – Braga *et al.*, 2016).

Contudo, deve-se ter cuidado absoluto para que o ambiente esteja sempre abaixo das condições críticas, ou seja, em temperatura abaixo de 235°C e radiação térmica abaixo de 10 kW/m<sup>2</sup>, para que não haja lesões de saúde graves a esses profissionais. No entanto, ressalta-se a importância de se manter um protocolo de utilização e controle da quantidade de material combustível, para que a temperatura e fluxo de calor esteja dentro dos limites consideráveis de exposição térmica, evitando riscos desnecessários e desgaste acentuado dos equipamentos de proteção individual.

Através de testes em laboratório com a utilização de um painel radiante, os autores também constataram que as situações durante combate podem levar a degradação da lente das máscaras de proteção respiratória e, comparando esses resultados com os valores aferidos na situação de pré-generalização encontrada nos testes em containers, observou-se que as máscaras podem ser submetidas a condições críticas como: aparecimento de riscos e bolhas. Estes dados são importantes na avaliação e criação de normas sobre as roupas de proteção e das máscaras de proteção respiratória, bem como em definições de condições seguras aos bombeiros quando submetidos aos treinamentos.

### 2.7.6 Mackay *et al.* (2010)

Uma vez desconhecido o tipo e a quantidade de combustível, no que tange a ocorrência de incêndios em compartimentos, os autores afirmam que a dispersão de calor, a fumaça e os gases tóxicos proveniente desses acontecimentos em ambientes confinados representam

um risco significativo aos ocupantes, bem como aos profissionais durante um combate. Portanto, considera-se que o estudo de incêndios em compartimentos é de suma importância não só no âmbito teórico, mas também prático, a fim de se aumentar a segurança profissional durante atuação.

Considerando o substancial risco a que estão submetidos e, após a perda de quatro bombeiros suecos em um curto período em virtude ao fenômeno *flashover*, os bombeiros de *New South Wales Fire Brigade (NSWFB)*, na Austrália, implementaram um compartimento de treinamento – tipo container, de modo a instruir os bombeiros com o conhecimento e experiência necessária para lidar de forma eficaz, eficiente e segura em sinistros nos locais compartimentados, exibido na Figura 2.22. A principal ideia por trás do combate se concentra em resfriar a camada de gases quentes, reduzir o risco de *flashover* e a possível ocorrência de *backdraft* antes de atacar diretamente o foco do fogo. Desse modo, o bombeiro ganha um controle maior do ambiente, o que ajuda no processo de busca e resgate de ocupantes dentro do compartimento.



Figura 2.22: Brigada de Incêndio da NSW participando de treinamento (Mackay *et al.*, 2010).

Um berço de madeira montado com ripas empilhadas duas a duas, acendidas em sua base, é utilizado como fonte de ignição. Ao total, a carga de incêndio é constituída de 36 ripas com dimensões de 0,295 m x 0,038 m x 0,015 m. Além disso, durante alguns testes foram utilizados painéis de fibras de baixa densidade para revestir as extremidades do berço.

Com dimensões de 12,0 m x 2,4 m x 2,6 m, o container de treinamento foi adaptado com piso de tijolos, respiradouro lateral, porta de entrada e um defletor, conforme visto na Figura 2.23. O defletor de 0,6 m de largura está alocado a 6,5 m da porta frontal, uma abertura de 1,76 m x 0,59 m oposta à posição do berço. Assim, a ventilação é controlada pelo instrutor

durante qualquer momento do treinamento. O defletor é usado para conter a fumaça na parte da frente do compartimento até o acúmulo suficiente para simulação real.

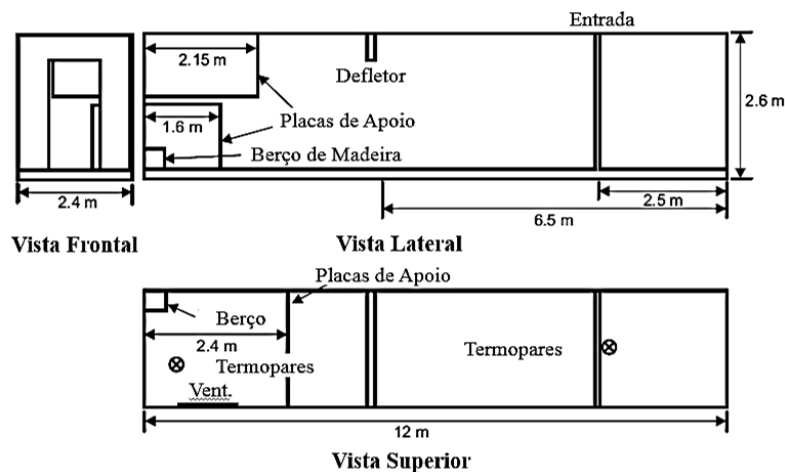


Figura 2.23: Container de treinamento da NSW (Mackay *et al.*, 2010).

De acordo com Mackay *et al.* 2010, as aferições de temperatura foram feitas através de duas seções de termopares, uma próxima à porta observando a temperatura em que a fumaça saia do compartimento e uma próxima ao berço de madeira medindo as altas temperaturas próximas da fonte do fogo. A seção mais próxima do fogo com termopares em alturas de: 2,2 m, 2,0 m, 1,8 m, 1,4 m, 1,0 m, 0,4 m e, a seção próxima ao foco com termopares em alturas de: 2,2 m, 1,8 m, 1,6 m, 1,2 m, 0,8 m, 0,4 m.

Diversos testes foram realizados durante o estudo de Mackay *et al.*, 2010. A Tabela 2.10 lista as diferentes configurações adotadas no estudo experimental.

Tabela 2.10: Dados dos testes experimentais no container da NSW (Adaptado – Mackay *et al.*, 2010).

| Configuração | Painéis de Fibra                               | Respiradouro |
|--------------|--|--------------|
| 1            | Nenhum   | Fechado      |
| 2            | Um inferior                                    | Fechado      |
| 3            | Dois inferiores                                | Fechado      |
| 4            | Dois inferiores e dois superiores              | Fechado      |
| 5            | Dois inferiores, dois superiores, dois no teto | Fechado      |
| 6            | Dois inferiores, dois superiores, dois no teto | Aberto       |

Os gráficos da Figura 2.24 apontam concordância, especialmente na comparação entre as máximas temperaturas; uma diferença máxima de 5% encontrada devido à variabilidade das condições do ambiente entre múltiplos testes para a Configuração 3. As curvas parecem ligeiramente deslocadas em relação ao tempo, mas, a diferença encontrada é mínima quando comparada com a concordância obtida no formato do gráfico.

Segundo os autores, esses resultados foram típicos nas comparações entre múltiplos testes realizados entre todas as configurações e mostrou repetitividade, bem como diferentes condições de umidade que poderiam afetar a propagação das chamas.

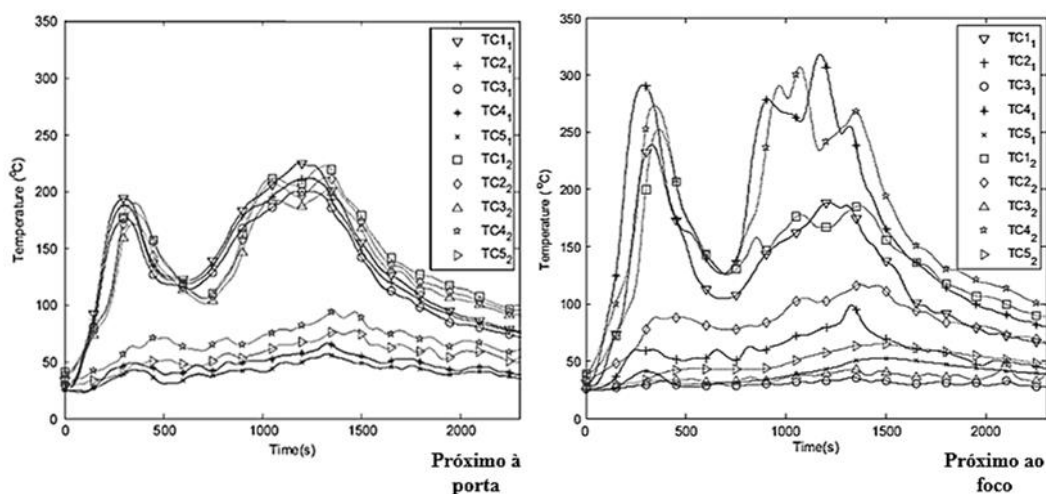


Figura 2.24: Comparação de múltiplos testes para configuração 3, em diferentes temperaturas ambientes (Mackay *et al.*, 2010).

Nos gráficos da Figura 2.24, também é possível perceber que em proximidade a porta de entrada as temperaturas máximas ficaram próximas de 230°C e, próximo do foco tiveram picos máximos próximos a 330°C.

A Configuração 1, apresentada na Figura 2.25, mostrou um único pico, enquanto todos os outros testes mostraram picos duplos. Nessa mesma configuração, o pico ocorreu quando o berço estava totalmente inflamado, alcançando valores próximos de 160°C. Esse fato pode estar relacionado à não inserção do painel de fibra de baixa densidade, bem como a não abertura do respiradouro.

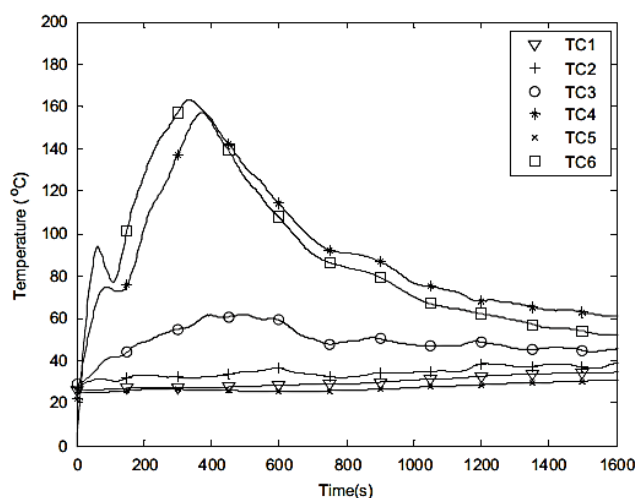


Figura 2.25: Medições do termopar para configuração 1 (Mackay *et al.*, 2010).

Na Figura 2.26 são expressos os perfis de temperaturas da Configuração 5, com maior quantidade de carga de incêndio e representando o início das condições de *flashover*, onde a temperatura máxima esteve próxima de 500°C, medida próxima ao teto.

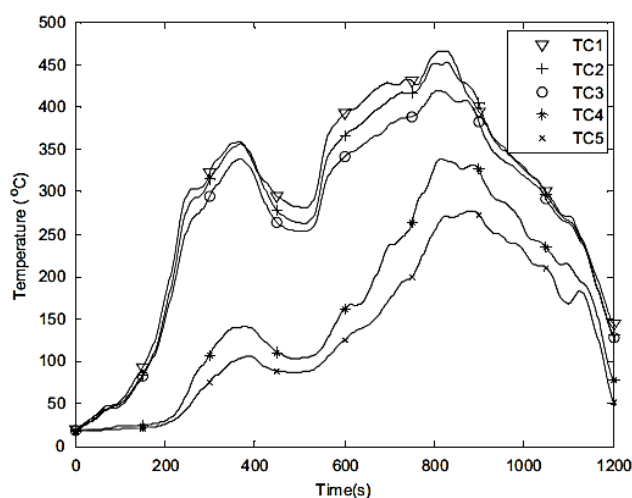


Figura 2.26: Medições do termopar para configuração 5 (Mackay *et al.*, 2010).

Na Tabela 2.11 estão inscritos o tempo entre os dois picos e a diferença de temperatura nos termopares rotulados como “próximo à porta - *doorway*” e “próximo ao fogo - *closest to fire*” para as Configurações 2 a 6.

Tabela 2.11: Comparação das máximas temperaturas e pico de temperatura (Adaptado – Mackay *et al.*, 2010).

| Configuração | Termopar       | Tempo dos picos (seg) | Diferença de temperatura entre os picos (°C) |
|--------------|----------------|-----------------------|--|
| 2            | Porta          | 829                   | -30  |
| 2            | Área de queima | 821                   | -50  |
| 3            | Porta          | 892                   | 20   |
| 3            | Área de queima | 895                   | 27   |
| 4            | Porta          | 869                   | 93   |
| 4            | Área de queima | 935                   | 147  |
| 5            | Porta          | 453                   | 105  |
| 6            | Porta          | 402                   | 85   |

A mudança de temperatura entre os picos foi reduzida na Configuração 6, conforme a Figura 2.27, devido à ventilação que permitiu com que o ar fosse direcionado para o local de queima. A entrada de oxigênio resultou na propagação das chamas e, conseqüentemente, em maior calor gerado. No entanto, posteriormente, as temperaturas dentro do container foram reduzidas à disponibilidade de mais ar, resfriando o espaço confinado mais rapidamente. Além disso, uma redução no tempo entre picos e mudança de temperatura foram observados.



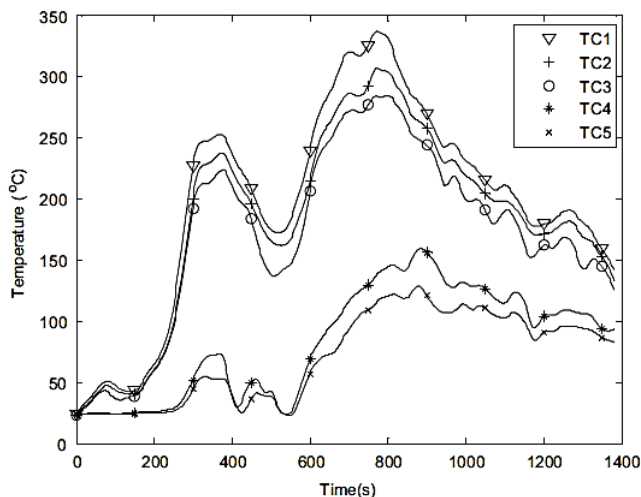


Figura 2.27: Medições do termopar para configuração 6 (Mackay *et al.*, 2010).

Examinando as medições de temperatura na seção dos termopares próximo à porta, revelou-se uma diferença distinta entre duas camadas de temperatura, chamado de plano neutro, que separa a camada quente cheia de fumaça e camada mais fria ocupada pelo ar, nesse caso, localizada em média, entre 1,4 m e 1,8 m.

Segundo os autores, com base nos vários testes realizados dentro do container, as seguintes recomendações foram extraídas para manipulação de possíveis cenários de incêndio no compartimento:

- Dependendo do tempo de abertura do respiradouro, a condução do ar para a área de queima pode ter um drástico rebaixamento das temperaturas dentro do container. Uma redução entre picos e mudança de temperatura também foi observada.
- A possível criação de uma pequena abertura pode aliviar a situação de *backdraft*. Dessa forma, permite que o compartimento conflagrado seja suficientemente esfriado e que o acúmulo de pressão e a probabilidade de ocorrer um *backdraft* seja evitada, possibilitando a supressão do fogo com segurança.
- O início de técnicas apropriadas de resfriamento logo após o primeiro pico de temperatura demonstrou boa eficácia no controle do fogo. Pode ser analisado na Figura 2.26 que as temperaturas do teto foram mantidas abaixo de 500°C e, abaixo de 100°C na altura dos joelhos dos profissionais. Os autores sugerem mais experimentos para obtenção da taxa de liberação de calor e temperaturas do combustível do berço, níveis de toxicidade (CO e partículas de fumaça) e fluxos de calor de radiação nas paredes do compartimento.

### 2.7.7 Bernatíková *et al.* (2012)

De acordo com dados publicados pelo *General Directorate of Fire and Rescue Service of the Czech Republic* (Ministry of the Interior, 2012 *apud* Bernatíková *et al.* 2012), no período de 2001 a 2011 aconteceram mais de 20 mil incêndios por ano na República Checa. Segundo Bernatíková *et al.* (2012), durante as intervenções a essas conflagrações os combatentes são expostos a altas temperaturas, alta densidade do fluxo de calor, possível exposição a substâncias químicas no ar e diminuição da capacidade de orientação, geometria do espaço e layout de mobiliário desconhecidos. E, esses fatores fazem do resgate de pessoas e do sucesso no tempo da supressão de incêndios muito mais difíceis.

No município de Zbiroh, na República Tcheca, optaram por instalar um centro constituído por diversos locais de treinamento, de forma que as condições de incêndio pudessem ser simuladas tanto em espaço compartimentado, quanto ao ar livre. Durante esses treinamentos, os bombeiros podem ser expostos com segurança às condições reais dos incêndios em compartimentos e seus respectivos fenômenos. Esses simuladores tornam possível observar o curso do fogo e permitem demonstrar as diversas formas de aplicação de água até a sua extinção. Durante os treinamentos são utilizados propano líquido como combustível, uma vez que o uso desse material permite realizar, em um curto período de tempo, repetidas simulações e além disso, sem geração de resíduos sólidos.

O compartimento utilizado no município de Zbiroh está localizado nas instalações da 3ª Companhia de Resgate e Serviços de Incêndio, exibido na Figura 2.28.

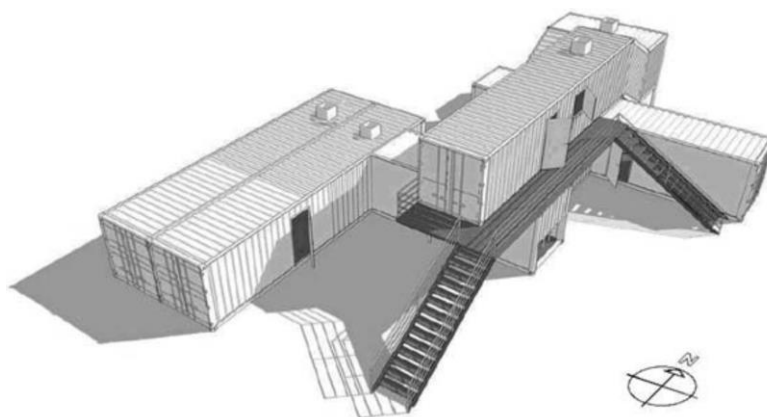


Figura 2.28: Centro de treinamento, República Tcheca.

No térreo estão inseridos quatro containers com estruturas autossuficientes. Nas proximidades das áreas de queimas, os containers são protegidos por isolamento térmico de 50 mm de espessura, recoberto com chapas de aço de 1 mm de espessura. Entre os suportes da estrutura são dispostas tiras de aço horizontais de 40 x 3 mm, impedindo o isolamento térmico da sedimentação, soldado ao recipiente a cada 500 mm. Todos os containers, foram implementados uma pavimentação de concreto, 300 x 300 x 33 mm, além de um leito de areia de 20 mm de espessura. Nas paredes e nos telhados dos containers, foram criados vãos para instalação de janelas e portas para ventilação. As portas e janelas são fabricadas em aço. Nos orifícios de ventilação, as folhas com posição ajustável controlam o fornecimento de ar durante as queimas dos treinamentos. O compartimento nº 1 foi projetado, principalmente, para realização de treinamentos do ataque convencional – tipo pulso, aplicado em forma de neblina de água na camada de fumaça.

Nesse estudo, os testes experimentais foram realizados no compartimento intitulado como nº1, conforme dados expressos na Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Especificações técnicas compartimento nº1 (Adaptado – Bernatíková *et al.*, 2012).

| <b>Compartimento nº1</b>     |               |           |
|------------------------------|---------------|-----------|
| <b>Largura</b>               | Interior      | 4700 mm   |
| <b>Comprimento</b>           | Interior      | 11985 mm  |
| <b>Altura</b>                | Interior      | 2280 mm   |
| <b>Máximo - TCL</b>          | -             | 2211 kW   |
| <b>Número de queimadores</b> | Ignição       | 1 x 4 kW  |
|                              | Estabilização | 1 x 63 kW |

A taxa máxima de calor liberado pelo queimador com combustível propano durante as simulações é de 2.211 MW, e a liberação da oferta do combustível é feita mediante a utilização de uma válvula.

Para a medição da temperatura no espaço foram utilizados 34 termopares revestidos com NiCr / Ni (Tipo K) de diâmetros 1,0, 1,5 e 2,0 mm e mais 22 termopares do termopar tipo K fio (HH-K-24-500). Os termopares foram colocados nas posições S0 a S6, conforme disposição na Figura 2.29. Os termopares nas posições S0-1 a S0-4 foram conectados a um sistema coletor de dados Almemo 2890-4S, os termopares colocados nas posições S1 - S6 a um a um sistema coletor de dados Almemo 5690-2M. Antes de iniciar os testes, as posições corretas e funções específicas dos termopares foram verificados. Os coletores de dados foram colocados na área externa do container para garantir a manipulação segura e a proteção contra possíveis efeitos climáticos.

Para medir a densidade do fluxo de calor, foram adotados radiômetros Schmidt-Boelter SBG01 montados em um suporte, com dados gravados por um coletor de dados Almemo 5690-2M.

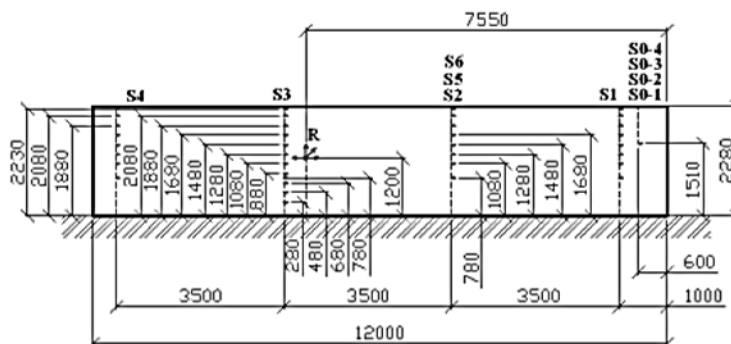


Figura 2.29: Posicionamento dos termopares (Bernatíková *et al.*, 2012).

O experimento foi dividido em três testes. Cada teste consistiu em quatro ciclos; durante cada um deles, o queimador principal foi ativado cinco vezes. O tempo de ativação do queimador principal foi de 3 segundos e, 12 segundos depois, uma intervenção era executada por um bombeiro, como treinamento. O tempo entre os ciclos foi de 10 segundos (no treinamento, os participantes alteravam suas posições durante esse tempo).

No decorrer do experimento, condições meteorológicas foram continuamente avaliadas e registradas a uma distância de 20 m do local de treinamento. Uma estação *Davis Vantage Pro2* + foi utilizada, coletando informações como: temperatura atmosférica, umidade e pressão, direção e intensidade do vento, precipitação e radiação solar, apresentados na Tabela 2.13.

Tabela 2.13: Condições metereológicas (Adaptado – Bernatíková *et al.*, 2012).

| Condições Metereológicas  |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Temperatura Atmosférica   | $6.0 \pm 0.1$ °C       |
| Umidade                   | 87 - 61 %              |
| Velocidade Média do Vento | $0.2 \text{ m.s}^{-1}$ |
| Direção do Vento          | NNW                    |
| Pressão Atmosférica       | 1022.9 hPa             |
| Precipitação              | 0 mm                   |
| Radiação Solar            | $0 \text{ W.m}^{-2}$   |

A Figura 2.30 ilustra os valores das temperaturas próximo ao queimador. Nota-se que as temperaturas máximas próximas ao teto chegaram a aproximadamente 1100°C.

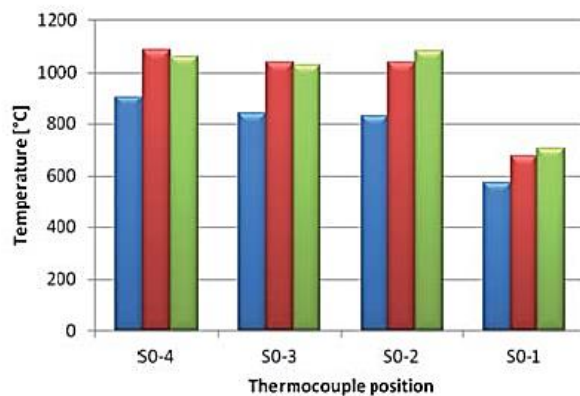


Figura 2.30: Temperaturas próximas ao queimador (Bernatíková *et al.*, 2012).

A posição dos termopares foi escolhida em relação à direção do queimador e sua posição. A ordem dos termopares no gráfico corresponde à colocação no compartimento quando visto da porta de entrada do container. As análises dos valores de temperaturas medianas são realizadas nas Figuras 2.31 e 2.32.

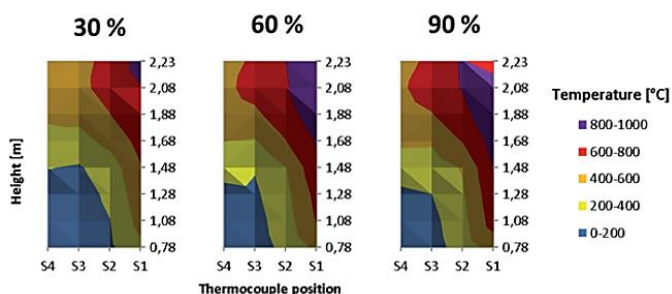


Figura 2.31: Temperatura média na seção longitudinal (Bernatíková *et al.*, 2012).

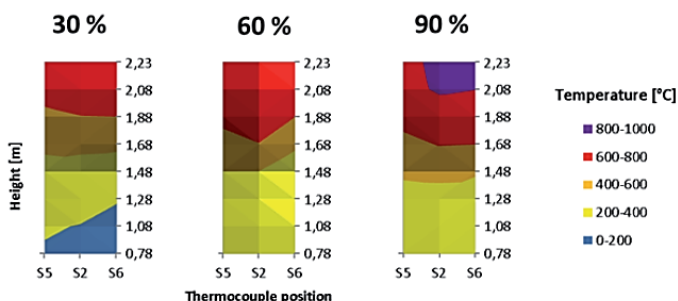


Figura 2.32: Temperatura média na seção transversal (Bernatíková *et al.*, 2012).

Na direção do eixo longitudinal, os gráficos da Figura 2.31 não expressam o tamanho relativo do compartimento em relação à colocação da altura de termopares. Nesse caso,

constata-se que temperaturas próximas de 1000°C foram coletadas pelos termopares próximo ao teto do compartimento e, próximas de 200°C foram aferidas próximo ao piso.

Quanto às aferições referentes ao fluxo de calor, os resultados são apresentados nos gráficos da Figura 2.33.

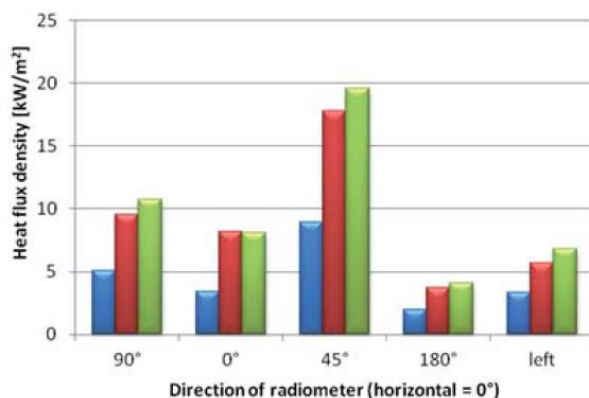


Figura 2.33: Medidas do fluxo de calor (Bernatíková *et al.*, 2012).

De acordo com a direção a que os radiômetros foram acoplados, percebe-se que durante alguns dos ensaios experimentais foram obtidos fluxos de calor de aproximadamente 20 kW/m<sup>2</sup> no compartimento sinistrado. Os autores concluíram que apesar de constatadas consideráveis flutuações na temperatura e no fluxo de calor, os resultados foram plausíveis e conclusivos para a pesquisa cujo objetivo era adquirir dados para caracterizar o compartimento de treinamento. Contudo, os valores coletados foram usados, especialmente, como dados para a concepção de métodos de formação dos profissionais, melhoria na segurança e operação de instalações a custos aceitáveis.


# 3

## ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 3.1 Especificações do Ambiente Simulado

O Corpo de Bombeiros de Minas Gerais (CBMMG) utiliza para treinamento de seus oficiais um container marítimo – tipo *high cube* com dimensões nominais de 12,03 m de comprimento, 2,35 m de largura, totalizando 28,3 m<sup>2</sup> de área interna, com 2,7 metros de altura, conforme exibido na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados do container marítimo utilizado para treinamento do CBMMG.

|  |                         |                          |                            |
|--|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
|  |                         |                          | <b>Abertura Padrão</b>     |
|  |                         |                          | 2,34 m x 2,59 m            |
|  |                         |                          | <b>Aberturas Laterais</b>  |
|  |                         |                          | 0,80 m x 2,10 m            |
|  |                         |                          | <b>Capacidade</b>          |
|  |                         |                          | Total: 76,4 m <sup>3</sup> |
| <b>Medidas Externas</b>  | <b>Medidas Internas</b> | <b>Média - Simulação</b> | <b>Pesos</b>               |
| Comprimento: 12,19 m   | Comprimento: 12,03 m    | Comprimento: 12,11 m     | Máximo: 32500 kg           |
| Largura: 2,44 m  | Largura: 2,25 m         | Largura: 2,34 m          | Tara: 3900 kg              |
| Altura: 2,90 m   | Altura: 2,70 m          | Altura: 2,70 m           | Carga: 28600 kg            |

\*Espessura do aço: 2,6 mm

Este simulador é modular e permite reproduzir mais de um compartimento, como uma sala ou um quarto, a partir da inserção de uma chapa de aço (que inclui o vão de uma porta) cuja finalidade é dividir o compartimento internamente, delimitando o volume final. Dado quando há esta exceção, os containers passam por poucas alterações antes de abrigar os treinamentos. No container utilizado pelo CBMMG existem duas portas laterais de acesso com dimensões de 0,80 m de largura x 2,10 m de altura, além da abertura frontal que foi remodelada e dividida em quatro portas iguais de 1,17 m de largura x 1,29 m de altura,

sobrepostas duas a duas, conforme exibido na Figura 3.1. A divisão da porta frontal em quatro partes permite controlar a entrada de ar fresco e saída de gases quentes estabelecendo a interface da camada de gases quentes (plano neutro) em uma altura adequada para os treinamentos. Usualmente, durante as simulações a porta inferior esquerda (Porta 01), permanece constantemente aberta (Figura 3.1a). Após obter uma condição estável da camada de fumaça (formação da camada de fumaça), em aproximadamente 5,4 minutos (média dos ensaios apresentados neste trabalho) a partir da ignição, é feita a abertura das duas portas do lado direito (Portas 03 e 04) do compartimento (Figura 3.1b) em um tempo médio de aproximadamente 9,5 minutos (média dos ensaios apresentados neste trabalho) a partir da ignição. A abertura das portas é feita com base na experiência dos instrutores que observam o desenvolvimento da camada de fumaça.

Antes da abertura das portas à direita, todos os materiais disponíveis encontram-se em combustão (inflamação generalizada - *flashover*); nessa fase o incêndio é controlado pela ventilação. Com a abertura das portas a oferta de oxigênio é aumentada e o incêndio tem seu desenvolvimento pleno sendo controlado pela oferta dos materiais combustíveis. Normalmente, a porta superior esquerda é mantida fechada durante todo o restante do processo (Figura 3.1b), condicionando a altura do plano neutro a um nível adequado para os treinamentos. As portas laterais são mantidas constantemente fechadas.

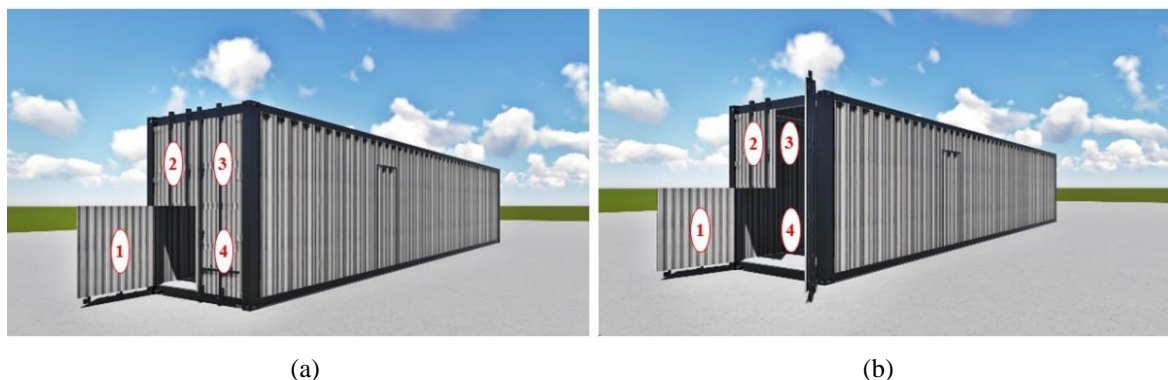


Figura 3.1: Esquemático do container.

Outras adaptações são: uma placa defletora de aço na área de queima, de 0,20 m x 2,25 m x 0,0026 m, a aproximadamente 8,85 m de distância da abertura frontal, com função de conduzir mais rapidamente a camada de fumaça em direção ao piso; o piso do local de queima do material combustível (Figura 3.6) revestido por 180 tijolos refratários no comprimento de 2,15 m a partir do fundo do compartimento.



O restante do compartimento é mantido inalterado, inclusive o piso de madeira, que é o mesmo utilizado para o transporte de cargas nos navios. No mais, o compartimento é dotado de características físicas que influenciam o incêndio, como: ventilação, quantidade e disposição de cargas de incêndio, como exibido na Figura 3.2 do equipamento – tipo container em funcionamento.



Figura 3.2: Equipamento – tipo container em funcionamento.

### 3.2 Descrição da Carga de Incêndio

Para execução dos treinamentos são realizadas queimas controladas dentro do container. Como mencionado anteriormente no Capítulo 2, Item 2.10.2, o padrão estabelecido para carga de incêndio pelo CBMMG determina a adesão de 7 folhas de madeirites de 10mm de espessura. Mas, este material tem custo oneroso e é substituído pela utilização de 11 paletes, preferencialmente constituídos de madeira mais leve como as da espécie *Pinus* e/ou *Eucaliptus*, devido ao menor custo e fácil disponibilidade no local. As dimensões dos paletes utilizados nos ensaios foram próximas de 1,10 m x 0,825 m x 0,15 m, ou seja, 0,91 m<sup>2</sup> de área por cada palete, conforme padronizado pela norma ABNT NBR 8252:2011. No local dos testes, os materiais são estocados dentro do container e/ou próximos à área de treinamento.

O foco inicial é comumente constituído por 1 ou 1 ½ paletes desmontados, como mostrado na Figura 3.3.



Figura 3.3: Carga de incêndio no local de queima.

Durante o treinamento, os profissionais do CBMMG efetuam os ataques com jatos d'água, seja direto, indireto ou tridimensional com intuito de conter o fogo no compartimento. Entretanto, boa parte consiste na aplicação do ataque tridimensional, caracterizado pela aplicação rápida e controlada de uma neblina de água, de maneira que, o tamanho das gotículas de água é crucial para que ocorra a vaporização da água, absorvendo calor e diminuindo a temperatura do compartimento. Essa técnica permite que a frente de combate avance até alcançar o foco ou região de concentração da queima. Nesse momento, os jatos são substituídos por pacotes de água, que são jatos mais condensados, diretamente nos materiais em combustão. Com a maior redução das temperaturas, a equipe pode se aproximar do foco e realizar a operação de rescaldo.

Por conseguinte, considerando 11 paletes, tem-se 10,01m<sup>2</sup> de madeira, em predominância a da espécie *Pinus*, distribuídos no fundo do compartimento, de acordo com o posicionamento a que são inseridos (Figura 3.3), tem-se uma superfície de queima de aproximadamente 7,28 m<sup>2</sup>. A partir destes dados, estimando-se um peso médio de 19,15 kg, para cada palete, conforme Tabela 3.2 e, tomando o poder calorífico da madeira *Pinus* como 19,4 MJ/kg (SFPE (2016)), obtêm-se um total de 4086,61 MJ de carga de incêndio, e 561,27 MJ/m<sup>2</sup> de carga de incêndio específica, apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.2: Média do peso dos paletes nos ensaios experimentais.

| Descrição    |            |        |           |        |        |
|--------------|------------|--------|-----------|--------|--------|
| Ensaio       | 01         | 02     | 03        | 04     | 05     |
| Madeira (kg) | 219,95     | 204,05 | 189,04    | 205,12 | 221,12 |
| Ensaio       | 06         | 07     | 08        | 09     | 10     |
| Madeira (kg) | 217,70     | 225,75 | 213,76    | 225,38 | 184,32 |
| Média (kg)   | 11 paletes |        | 210,62 kg |        |        |
|              | 01 palete  |        | 19,15 kg  |        |        |

Tabela 3.3: Cálculos sobre a carga de incêndio.

| Item                              | Qnt. | Material                 | Dimensões (m)  | Massa Unit. (kg) | Massa Total (kg)       | Poder Calorífico (MJ)            | Carga de Incêndio (MJ)                                 |
|-----------------------------------|------|--------------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------------------------|--|
| Paleta                            | 11   | Madeira ( <i>Pinus</i> ) | 1,1x0,825x0,15 | 19,15            | 210,62                 | 19,4                             | 4086,61  |
| <b>Dimensões do Compartimento</b> |      |                          |                |                  |                        |                                  | <b>Carga de Incêndio Específica (MJ/m<sup>2</sup>)</b> |
|                                   |      | Comprimento (m)          | Largura (m)    | Altura (m)       | Área (m <sup>2</sup> ) | Área de Queima (m <sup>2</sup> ) |  |
|                                   |      | 12,11                    | 2,34           | 2,70             | 28,34                  | 7,28                             |  |
|                                   |      |                          |                |                  |                        |                                  | 561,27   |

No que tange aos aspectos relacionados aos paletes como carga de incêndio, as literaturas mencionam o valor da taxa de calor liberado (TCL) para pilhas destes materiais como sendo um fator constante, que varia de acordo com a densidade do material combustível.

De acordo com Kerber *et al.* (2007), a taxa máxima de liberação de calor em uma pilha com 12 paletes de madeira, quando completamente envolvida, varia entre 5 a 7 MJ, de acordo com o tempo e oferta de oxigênio.

Já o manual SFPE (2016), aponta que uma pilha de paletes pode ser calculada de acordo com a Equação 3.1 (válido para pilhas com  $h > 0,15$  m):

$$Q = 1368(1+2,14hp)(1-0,03U) \quad 3.1$$

Assim:

Q - taxa de liberação de calor, em kW;

$hp$  - altura da pilha de paletes, em m;

U - umidade da madeira, em %.

Assim, uma pilha regular de 11 paletes, com dimensões de 1,22 m x 1,22 m x 0,14 m, quando completamente envolvida, libera aproximadamente 447,05 kW, um total de 4.917,55 kW (quando adotado calor de combustão da madeira igual a 12 MJ/kg).

Diante disso, os valores resultantes por meio da fórmula ainda podem ser estimados e/ou confirmados através do gráfico exibido na Figura 3.4.

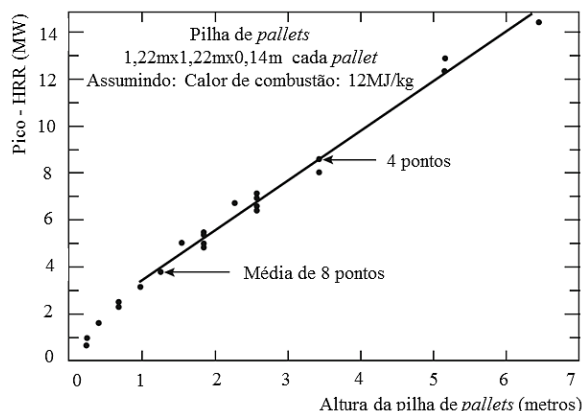


Figura 3.4: Gráfico HRR versus altura da pilha de paleta (Adaptado – SFPE, 2016).

O site do *software Pyrosim* disponibiliza uma curva validada para pilha de paletes de madeira (com valor de altura não especificado), de acordo com o laboratório *Building and Fire Research Laboratory – BFRL* (1996), do NIST (*Nacional Institute of Standards and Technology*), exibida na Figura 3.5. Através do site também são fornecidos recursos (*Pyrosim Support Site – Resources, 2018*), como planilhas para cálculo de berços de madeira (elementos homogêneos) e uma biblioteca de curvas validadas de diversos materiais.

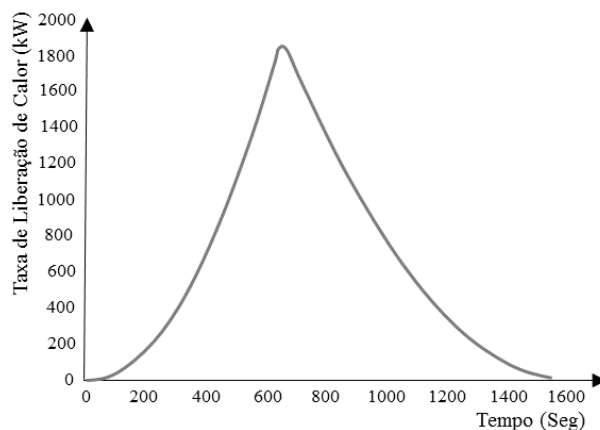


Figura 3.5: Curva de TCL para paletes de madeira (Adaptado – Pyrosim *apud* BFRL Data, 1996).

No entanto, tendo por base os valores acima mencionados e considerando a homogeneidade dos materiais por eles avaliados (elementos igualmente dimensionados), pode-se dizer que a proporcionalidade da massa dos materiais, bem como da TCL resultante das referências, não pode ser diretamente relacionada a este trabalho, uma vez que os paletes

utilizados como carga de incêndio apresentaram alta heterogeneidade com diversidade de dimensões, como: quantidade e espessura dos elementos de composição. Esse fator, juntamente com a diversidade no posicionamento dos paletes no local de queima e as variáveis de ventilação justificam a diferença no calor dispendido pela carga de incêndio das literaturas citadas.

Ciente das divergências, optou-se por considerar a equação de transformação da carga de incêndio específica (massa/área) em potência liberada através da fórmula para conversão das unidades de MJ/m<sup>2</sup> para MW, conforme Bailey (2008), através da seguinte Equação 3.2:

$$Q = (Af \times q_{fi})/t \quad 3.2$$

Sendo:

Q - carga de incêndio, em MW;

Af - área de piso atingido, em m<sup>2</sup>;

q<sub>fi</sub> - carga de incêndio específica, em MJ/m<sup>2</sup>;

t - tempo, em segundos.

Dessa forma, adotando-se como carga de incêndio específica o valor de 561,27 MJ/m<sup>2</sup>, a taxa de calor liberado média considerando 1620 s (tempo médio de realização dos ensaios com intervenção) é igual a 2,5 MW, ou seja, um total de 2500 kW de potência liberada. A taxa de calor liberado média considerando 1950 s (tempo médio de realização de todos os ensaios) é igual a 2,1 MW, ou seja, um total de 2100 kW de potência liberada e, para um tempo de 2400 s (tempo médio de realização dos ensaios sem intervenção), a taxa de calor liberado média é igual a 1,7 KW, ou seja, 1700KW de potência liberada.

### 3.2.1 Umidade e Densidade

O Anexo B, da norma ABNT NBR 7190:1997, caracteriza a umidade como a relação entre a massa de água contida na madeira e a massa da madeira seca, dada pela Equação 3.3:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad 3.3$$

Onde:

$U$  – umidade;

$m_i$  – é a massa inicial da madeira, em grama;

$m_s$  – é a massa da madeira seca, em grama.

Sabendo-se que durante os dias de realização dos ensaios experimentais a umidade relativa do ar se manteve até 65%, admitiu-se o valor de umidade de equilíbrio da madeira de 12%, seguindo os parâmetros estipulados pela própria norma, conforme a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Classes de umidade das madeiras (ABNT NBR 7190:1997).

| Classes de Umidade | Umidade Relativa do Ambiente ( $U_{amb}$ ) | Umidade de Equilíbrio da Madeira ( $U_{eq}$ ) |
|--------------------|--|---|
| 1                  | $\leq 65\%$                                | 12  |
| 2                  | $65\% < U_{amb} \leq 75\%$                 | 15  |
| 3                  | $75\% < U_{amb} \leq 85\%$                 | 18  |
| 4                  | $U_{amb} > 85\%$                           | $\geq 25\%$                                   |

Já para densidade, a norma ABNT NBR 7190:1997 apresenta duas definições a serem aplicadas em madeiras. A densidade básica ( $\rho_{bas}$ ) e a aparente ( $\rho_{ap}$ ), sendo a básica conceituada como uma massa específica convencional, definida pela relação entre a massa seca e o volume saturado, dada pela Equação 3.4:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad 3.4$$

Onde:

$m_s$  – massa seca da madeira, em kg;

$V_{sat}$  – volume da madeira saturada, em metro cúbico.

A densidade aparente  $\rho_{ap}$  é a massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume dos corpos de prova com teor de umidade de 12%, calculada pela Expressão 3.5:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad 3.5$$

Onde:

$m_{12}$  – massa da madeira a 12% de umidade, em kg;

$V_{12}$  – volume da madeira a 12% de umidade, em metro cúbico.

Na determinação da densidade aparente, a massa e o volume devem sempre ser medidos em corpos de prova com teor de umidade de 12%. Pode-se dizer que a densidade é um parâmetro muito importante quando se quer estimar a qualidade estrutural de determinada espécie de madeira, pois, quanto maior a densidade, melhor serão suas propriedades mecânicas.

Durante a realização do primeiro ensaio experimental foram extraídas amostras de madeira de dez paletes, em que a partir delas, foram confeccionados seis corpos de prova com seção retangular com dimensões nominais de 2,0 x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm, seguindo os procedimentos da norma, sendo possível a partir disso, determinar as densidades das madeiras, expressas na Tabela 3.5.

A tabela completa com os valores individuais de cada amostragem é apresentada no Apêndice A desta pesquisa.

Tabela 3.5: Valores referentes à densidade das madeiras dos paletes.

| Pallet | Média                     |          | Densidade Aparente   |                      |
|--------|---------------------------|----------|----------------------|----------------------|
|        | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Peso (g) | (g/cm <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 1      | 21,68                     | 11,05    | 0,51                 | 510                  |
| 2      | 33,17                     | 12,35    | 0,37                 | 370                  |
| 3      | 31,49                     | 11,80    | 0,37                 | 370                  |
| 4      | 28,37                     | 18,02    | 0,64                 | 640                  |
| 5      | 25,88                     | 12,16    | 0,47                 | 470                  |
| 6      | 25,22                     | 18,48    | 0,73                 | 730                  |
| 7      | 26,65                     | 17,38    | 0,65                 | 650                  |
| 8      | 29,27                     | 18,38    | 0,63                 | 630                  |
| 9      | 27,80                     | 13,88    | 0,50                 | 500                  |
| 10     | 27,95                     | 17,13    | 0,61                 | 610                  |

Nota: Umidade da madeira, 12%.

Observa-se que as madeiras utilizadas têm densidades variando entre os valores de 370 a 730 kg/m<sup>3</sup>, contudo, uma grande variação apresentada.

### 3.3 Resultados

Para monitoramento do compartimento durante os dez ensaios experimentais foram realizadas aferições de temperatura com termopares (TMP) – tipo K (Cromel/Alumel), bainha rígida com diâmetro 3 mm x 1000 mm e cabo flexível, capaz de medir temperaturas entre -200°C a 1200°C. Os dados foram coletados por um sistema de aquisição da marca Lynx e apoio dos *softwares Lynx AqDados e Lynx AqDAnalysis* versões 7.2 (*Lynx Testing and Measurement Systems*, 2008). Para maior coerência nos resultados, o compartimento foi

dividido em um total de cinco seções transversais, espaçadas a cada 2,0 metros, conforme a Figura 3.6, num total de 15 termopares. Os termopares eram introduzidos no compartimento por meio de furos de 4 mm de diâmetro em uma das laterais. As pontas dos termopares no interior do compartimento alcançavam as alturas: 0,80 m; 1,47 m; 2,15 m. As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam as posições dos TMPs e a localização dos bombeiros - BM.

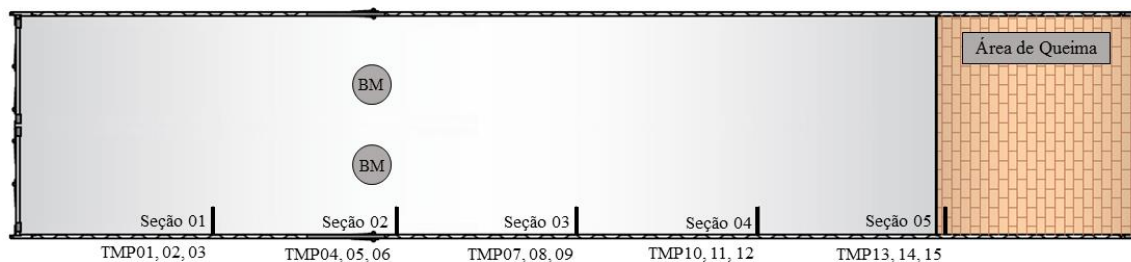


Figura 3.6: Especificações do container, em planta. Sem escala.

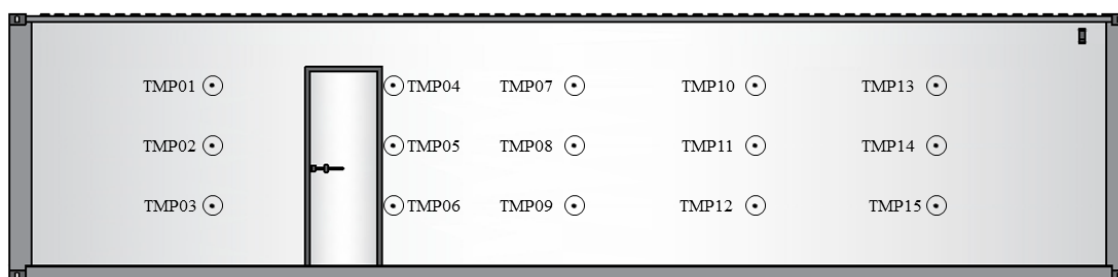


Figura 3.7: Nomeação e posição dos termopares, vista lateral direita. Sem escala.

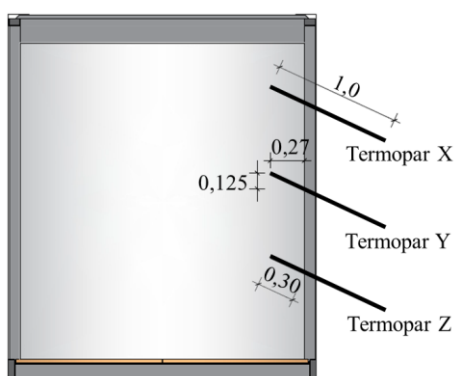


Figura 3.8: Especificações das posições dos termopares, em seção. Sem escala.

Informações complementares como planta técnica, seções e detalhamentos podem ser consultadas no Apêndice B.



### 3.3.1 Ensaio Experimentais 01, 02, 03 e 04

No primeiro dia foram realizados quatro ensaios, nomeados como 01, 02, 03 e 04, todos executados com a proposta de intervenções de jatos d'água, assim como acontece em um treinamento para simulação de combate a incêndio normal.

No ensaio experimental 01, foram distribuídos um total de 219,95 kg de paletes de madeira na área de queima. Nos ensaios 02, 03 e 04 foram distribuídos 204,05 kg, 189,04 kg e 205,12 kg, respectivamente, como exhibe a Tabela 3.6. A média de 204,54 kg para os quatro ensaios (ensaio 01 a 04) apresenta valor bem próximo da média total de todos os ensaios (ensaio 01 a 10), igual a 210,62 kg (Tabela 3.2). A maior diferença de um dos ensaios em relação a média é inferior a 10%.

Tabela 3.6: Dados dos paletes nos ensaios 01, 02, 03 e 04.

| Descrição    |               |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Ensaio 01     | Ensaio 02     | Ensaio 03     | Ensaio 04     |
| Qnt.         | Peso (kg)     |               |               |               |
| 01           | 11,40         | 22,88         | 20,06         | 19,86         |
| 02           | 20,04         | 20,40         | 22,14         | 16,80         |
| 03           | 20,86         | 20,24         | 20,74         | 16,94         |
| 04           | 19,48         | 17,98         | 21,64         | 17,70         |
| 05           | 19,70         | 14,54         | 20,76         | 22,04         |
| 06           | 18,78         | 14,40         | 15,82         | 17,74         |
| 07           | 21,74         | 18,38         | 16,50         | 18,14         |
| 08           | 27,48         | 20,14         | 13,20         | 20,82         |
| 09           | 18,94         | 18,72         | 9,72          | 20,00         |
| 10           | 21,54         | 17,82         | 10,56         | 17,86         |
| 11           | 19,99         | 18,55         | 17,90         | 17,22         |
| <b>Total</b> | <b>219,95</b> | <b>204,05</b> | <b>189,04</b> | <b>205,12</b> |
| <b>Média</b> | <b>19,995</b> | <b>18,55</b>  | <b>17,18</b>  | <b>18,65</b>  |

Observação: O palete nº 11 foi desmontado e utilizado como foco inicial do incêndio.

Quando analisado o tempo de duração dos ensaios, de acordo com a ignição do foco do incêndio, similar ao tempo inicial (igual a zero) de coleta de dados pela aquisição de dados, explanados na Tabela 3.7, o ensaio 01, com duração de 33 minutos, teve, em aproximadamente 7 minutos de seu início, a formação da camada de fumaça<sup>5</sup>, e aos 12 minutos as portas foram abertas. Com duração de 36 minutos, no ensaio 02, a camada de

<sup>5</sup>Camada de fumaça: gases combustíveis provenientes da combustão e da termólise, que ficam contidos e se acumulam abaixo do teto.

fumaça foi formada aos 15 minutos e as portas abertas aos 18 minutos. O ensaio 03 com duração de 17 minutos, e o ensaio 04 com duração de 16 minutos, tiveram formação de camada de fumaça aos 4 minutos e abertura de portas em 6 e 8 minutos, respectivamente. Esses dados podem ser visualmente analisados nos gráficos inclusos no Apêndice C, no qual as informações foram sincronizadas de acordo com o tempo de ignição do foco do incêndio.

Tabela 3.7: Dados dos ensaios 01, 02, 03 e 04.

| <b>Dados Técnicos</b>  |                 |   |  |  |  |
|--|-----------------|---|--|--|--|
| <b>Data: 26/11/2018</b>  |                 |   |  |  |  |
|  |                 | <b>Ensaio 01</b>  | <b>Ensaio 02</b>                           | <b>Ensaio 03</b>                           | <b>Ensaio 04</b>                           |
| <b>Temperatura</b>   | <b>Máxima</b>   | 26°C  | 26°C                                       | 26°C                                       | 26°C                                       |
|  | <b>Mínima</b>   | 17°C  | 17°C                                       | 17°C                                       | 17°C                                       |
|  | <b>Ambiente</b> | 23°C  | 24°C                                       | 26°C                                       | 26°C                                       |
| <b>Umidade</b>   |                 | 59%   | 52%  | 46%  | 46%  |
| <b>Ensaios – Com Intervenção</b>   |                 |   |  |  |  |
| Ensaios 01, 02, 03 e 04: Aplicação como em combate de incêndio normal, com pulsos e pacotes d'água.<br>15 termopares acoplados em diferentes alturas no container. |                 |   |  |  |  |
| <b>Início</b>  |                 | 10:33:00  | 11:43:00                                   | 14:40:00                                   | 15:50:00                                   |
| <b>Término</b>   |                 | 11:08:00  | 12:19:28                                   | 14:57:20                                   | 16:08:44                                   |
| <b>Duração do Ensaio</b>   |                 | 00:35:00  | 00:36:28                                   | 00:17:20                                   | 00:18:44                                   |
| <b>Formação – Camada de Fumaça</b>   |                 | 00:07:34  | 00:15:05                                   | 00:04:18                                   | 00:04:11                                   |
| <b>Abertura de Portas</b>  |                 | 00:12:18<br>Inferior<br>Direita<br>00:12:36<br>Superior<br>Esquerda | 18:38<br>Inferior e<br>Superior<br>Direita | 06:37<br>Inferior e<br>Superior<br>Direita | 07:58<br>Inferior e<br>Superior<br>Direita |
| <b>Tempo de Decaimento - TMP 13</b><br>(Abertura de portas até decair a 200°C)   |                 | 00:11:05  | 00:08:00                                   | 00:08:35                                   | 00:08:41                                   |
| Legenda – hh:mm:ss – hora:minuto:segundo   |                 |   |  |  |  |

Através dessa primeira análise em que é fornecida a diferença no tempo de formação da camada de fumaça, da abertura de portas e da duração dos ensaios, é possível constatar que há uma redução significativa de aproximadamente 15 minutos nos tempos de realização dos ensaios 01 e 02 para os ensaios 03 e 04. O tempo de decaimento é associado à disponibilidade de material combustível ofertado para queima (*fogo controlado*), bem como à quantidade de intervenções efetuadas durante o combate. Essas variações também ocorrem em virtude do aquecimento do compartimento, conseqüentemente, redução de sua umidade no decorrer da realização dos ensaios. Assim sendo, a formação da camada de fumaça está ligada ao desenvolvimento do incêndio, a abertura de portas intimamente ligada à quantidade de oxigênio disponível (*ventilação controlada*) e às particularidades físicas que determinam o tempo de permanência (até abertura das portas) dos profissionais, já que cada indivíduo

possui uma condição física, como estatura e percentual de gordura corporal que influenciam na sensação de calor.

Durante o combate, foram realizados ataques com pulsos<sup>6</sup> e pacotes d'água<sup>7</sup>, feitos individualmente ou de forma combinada, até que fosse possível a aplicação do jato mole para posterior rescaldo. Em média, nos ensaios 01 a 04, foram aplicados 35 pulsos (totalizando 9,9 litros) e 56 pacotes (totalizando 6,7 litros), resultando em um gasto médio de 16,5 litros de água para combate por treinamento, salvo a quantidade utilizada durante o jato mole. O instante, a quantidade e o tipo de ataque de combate a incêndio de todos os ensaios podem ser analisados no Apêndice D.

Os gráficos abaixo apresentados foram sincronizados de acordo com o intervalo de tempo do acontecimento do fenômeno *flashover* (momento de abertura de portas – igual a zero) tendo em vista que essa medida facilitou visualmente as análises e comparações.

Nos gráficos apresentados na Figura 3.9, referentes à seção 01 (Figura 3.6) dos ensaios 01, 02, 03 e 04, observa-se que a maior temperatura atingida foi de aproximadamente 520°C, no termopar mais alto (TMP 01) dos ensaios 03 e 04, seguidos dos ensaios 01 e 02 que apresentaram valores próximos de 480°C.

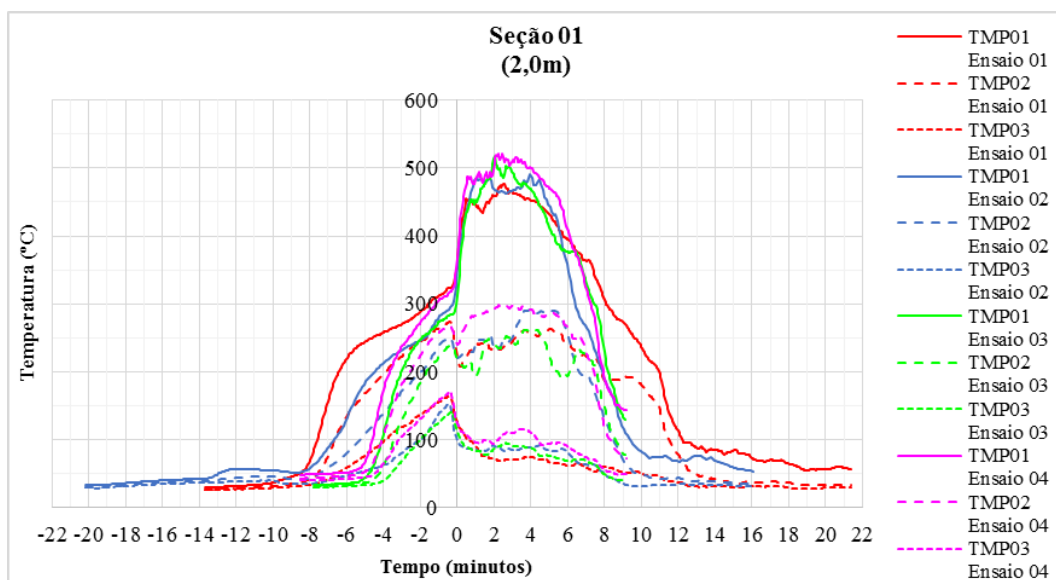


Figura 3.9: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

<sup>6</sup>Pulsos: Consiste na abertura total do fluxo d'água com seu imediato fechamento (0,2 a 0,5 segundos), resultando na aplicação de uma neblina de água.

<sup>7</sup>Pacotes d'água: Consiste na abertura total do fluxo d'água, um jato estreito (1 segundo) de maior alcance.

Ainda sobre a seção 01, constata-se que temperaturas médias de 250°C a 300°C foram coletadas pelo termopar mediano (TMP 02). As menores temperaturas foram coletadas pelo termopar mais baixo (TMP 03) que registrou em todos os ensaios valores máximos próximos a 160°C.

As seções 02 e 03 (Figura 3.6) apresentaram valores relativamente parecidos, conforme seguem as Figuras 3.10 e 3.11.

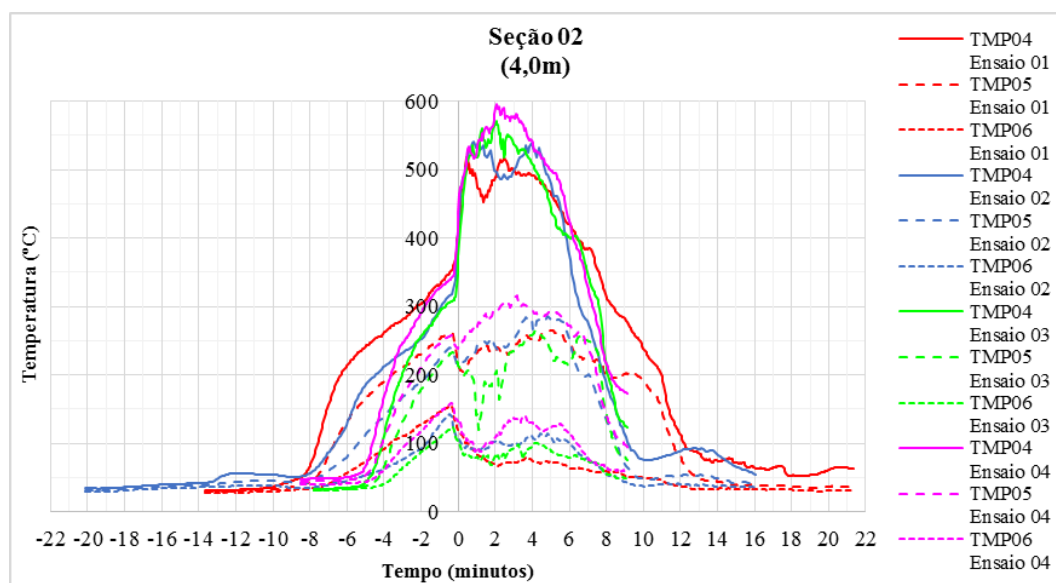


Figura 3.10: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

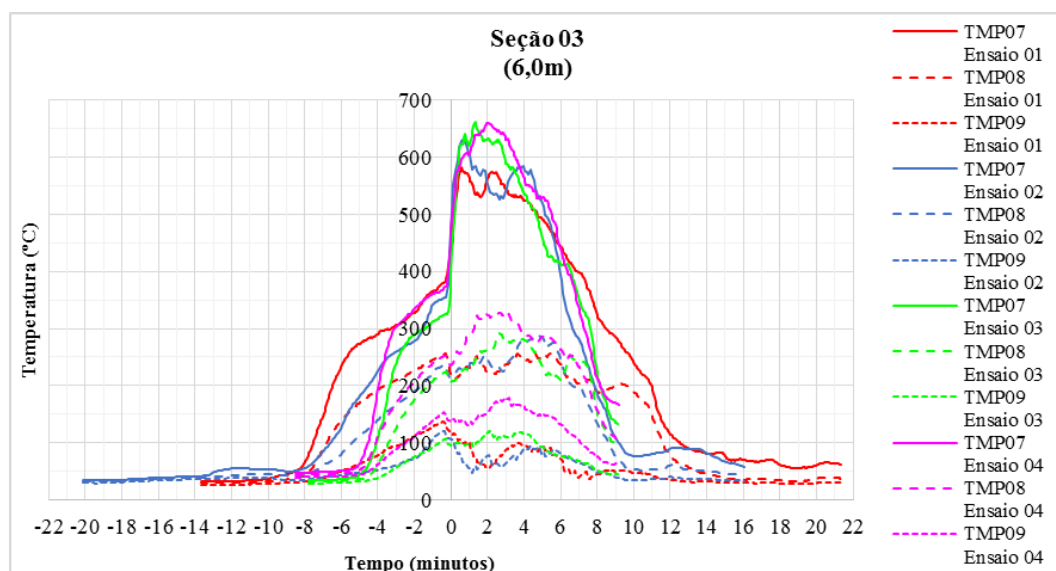


Figura 3.11: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

É possível verificar que os maiores picos de temperatura são valores de 595°C e 660°C, coletados pelos termopares (TMP 04 e TMP 07) no ensaio 03 e 04 respectivamente. Os picos de temperaturas médias variaram entre 250°C a 330°C, aferidos pelos termopares

posicionados em alturas medianas (TMP 05 e TMP 08). Os termopares mais baixos (TMP 06 e TMP 09) atingiram valores próximos de 150°C.

Na Figura 3.12 são expressos os gráficos da seção 04 (Figura 3.6), ficando constatado que, no termopar mais baixo (TMP 12), o pico de temperatura variou de 159°C a 227°C.

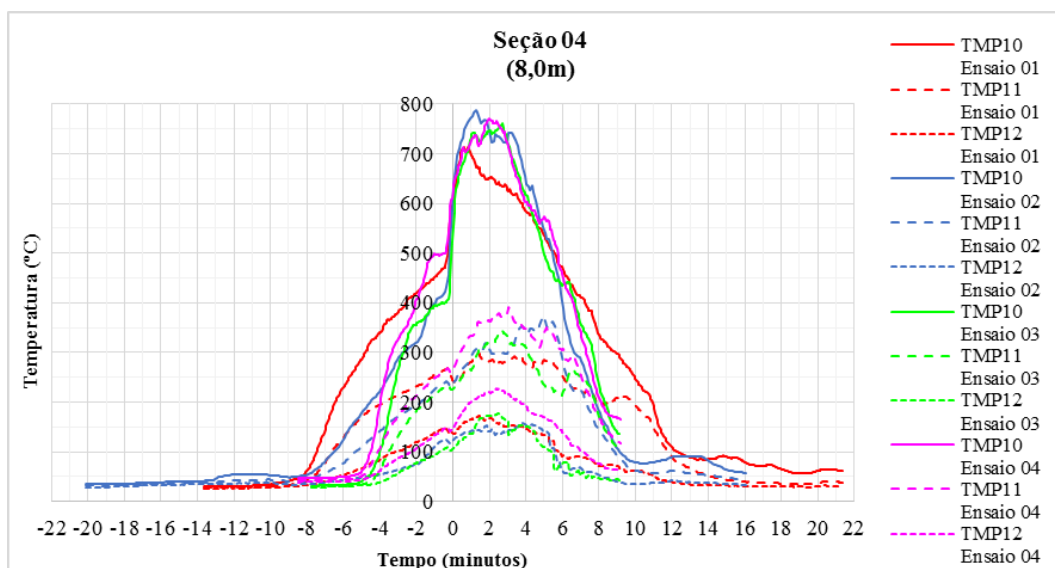


Figura 3.12: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

Ainda referente a seção 04, nota-se que as temperaturas medianas (TMP 11) ficaram entre 300°C e 390°C. Quando efetuada a abertura das portas, a maior temperatura atingida foi de 790°C, coletada pelo termopar (TMP 10) no ensaio 02, seguidos dos termopares de mesma altura que marcaram temperaturas entre 710°C e 770°C.

Na seção 05 (Figura 3.6) estão pontuados os valores mais altos de temperatura, uma vez que é a seção mais próxima da área de queima.

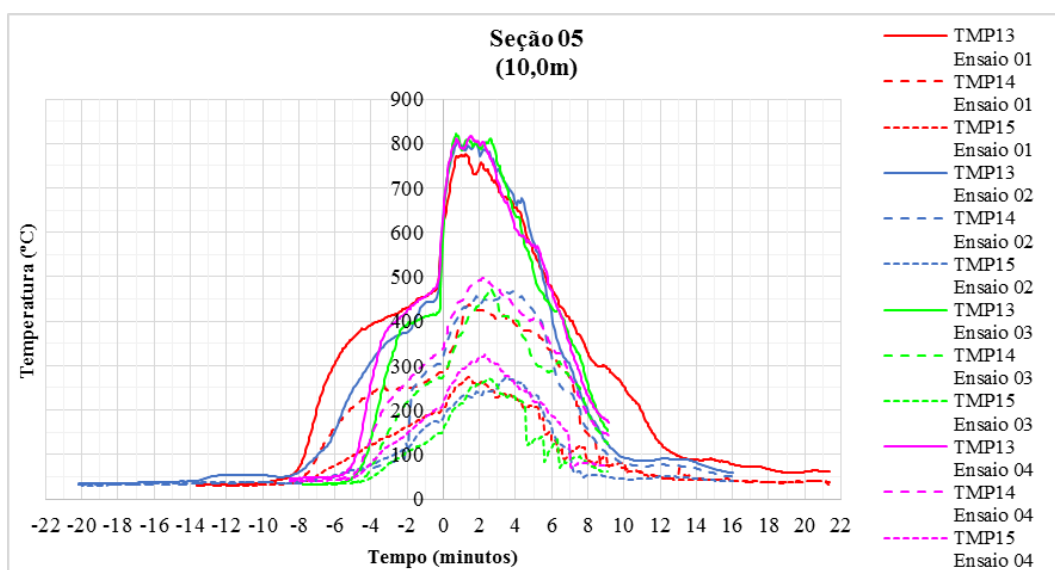


Figura 3.13: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

Dessa forma, a maior temperatura atingida foi de aproximadamente 820°C no termopar mais alto (TMP 13) dos ensaios 03 e 04, seguidos dos ensaios 01 e 02, que marcaram temperaturas próximas ao teto de 800°C. As temperaturas médias ficaram entre 440°C e 500°C, coletadas pelo termopar de altura mediana (TMP 14). Os menores valores foram apontados pelo termopar mais baixo (TMP 15) que atingiu picos de temperaturas entre 275°C a 325°C, como pode ser observado na Figura 3.13.

É importante destacar que, os saltos na leitura dos termopares foram provenientes da abertura das portas (Portas 03 e 04 - Figura 3.1). Tal fato faz com que a entrada do comburente oxigênio reabasteça a fonte do fogo elevando bruscamente as temperaturas dentro do compartimento. Nesse momento o incêndio deixa de ser controlado pela oferta de oxigênio, *ventilação controlada* e passe a ser conduzido pela quantidade de material combustível, *fogo controlado*.

Quando analisado cada ensaio individualmente, de acordo com o tempo de ignição (Tabela 3.7), o ensaio experimental 01 apresenta o salto próximo dos 12 minutos, no ensaio 02 acontece em 15 minutos, e nos ensaios 03 e 04, o acontecimento se dá próximo dos 6 e 8 minutos respectivamente. Os tempos a que cada um dos ensaios fora acometido ao fenômeno *flashover* (salto na temperatura) também podem ser facilmente analisados quando consultados os gráficos sincronizados segundo o tempo de ignição do foco do incêndio, contidos no Apêndice C.

Na Tabela 3.8 tem-se as máximas temperaturas atingidas pelos termopares dos ensaios 01, 02, 03 e 04.

Tabela 3.8: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

| Ensaio 01    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 477 | 274 | 164 | 521 | 265 | 154 | 582 | 257 | 137 | 713 | 297 | 172 | 777 | 439 | 275 |
| Ensaio 02    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 490 | 291 | 153 | 545 | 286 | 142 | 631 | 288 | 120 | 788 | 375 | 159 | 805 | 467 | 273 |
| Ensaio 03    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 517 | 262 | 141 | 571 | 266 | 123 | 661 | 292 | 120 | 760 | 345 | 176 | 822 | 475 | 271 |
| Ensaio 04    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 521 | 299 | 169 | 595 | 316 | 158 | 661 | 327 | 178 | 770 | 390 | 227 | 816 | 500 | 325 |

Nota-se que a diferença das temperaturas máximas entre o termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizado próximo da área de queima (seção 05 – Figura 3.6), chegou a 551°C e próximo do local de combate (seção 02 – Figura 3.6), ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 448°C, também no ensaio 03.

Além disso, ressalta-se que, quanto mais ensaios realizados, menor é a umidade dentro do compartimento, conseqüente a esse fator, menor é tempo para formação da camada de fumaça, menor o tempo para abertura das portas, maiores são as temperaturas. Após a abertura das portas, o crescimento brusco de temperatura (*flashover*) foi relativamente proporcional quando comparados os termopares de mesma numeração, em todos os ensaios.

De forma a ampliar as possibilidades de análises, nas Figuras 3.14 e 3.15 são fornecidos os gráficos com valores médios de temperaturas por termopar e os valores médios de temperatura ao longo das três diferentes alturas: 0,80 m; 1,47 m e 2,15 m, nos referidos ensaios 01, 02, 03 e 04.

Nos gráficos expostos na Figura 3.14, nota-se a análise por termopar, as maiores temperaturas atingidas de acordo com a média, foram dos termopres localizados em proximidade a área de queima. Como resultados, tem-se a maior temperatura de aproximadamente 700°C, no termopar TMP 13. Temperaturas médias de até 400°C no termopar TMP 14, e o pico das temperaturas mais baixas em torno de 150°C no termopar TMP 15.

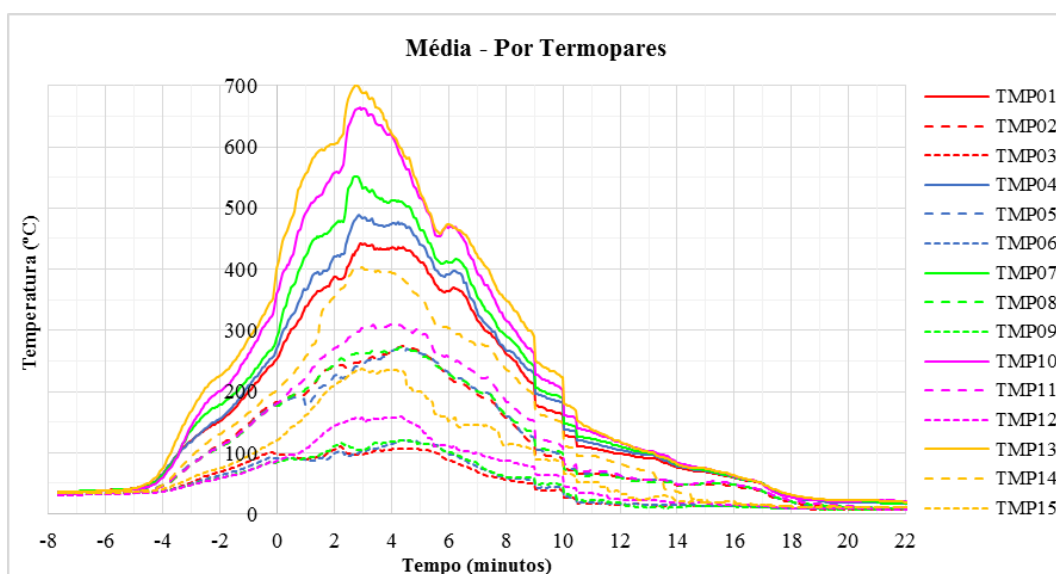


Figura 3.14: Valores médios de temperatura, por termopar – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

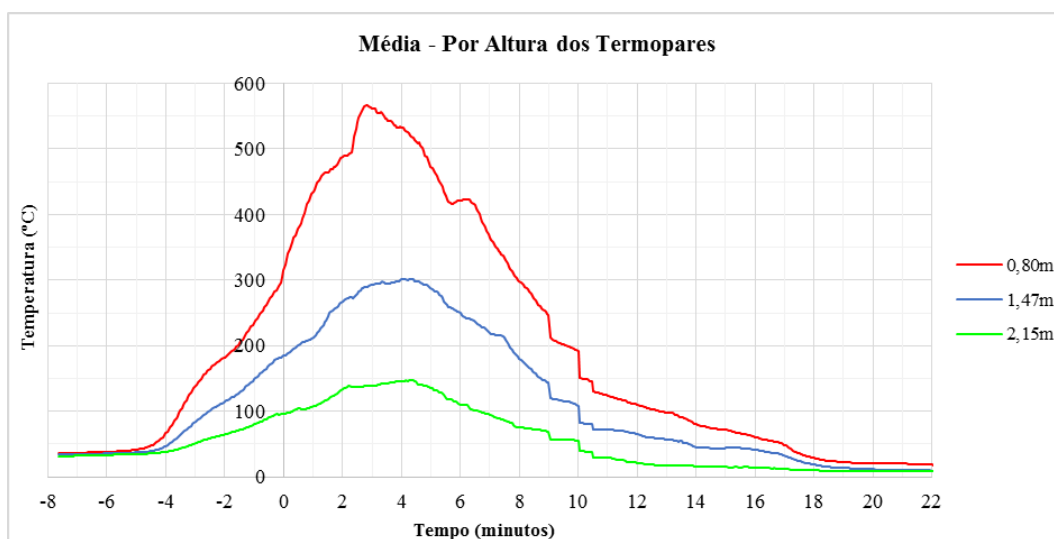


Figura 3.15: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

Quanto aos gráficos relativos à análise por altura, conferido na Figura 3.15, tem-se a maior temperatura de aproximadamente 550°C, na altura de 2,15 m. Temperaturas médias de até 300°C coletadas na altura de 1,47 m, e o pico das temperaturas mais baixas em torno de 150°C na altura de 0,80 m.

### 3.3.2 Ensaios Experimentais 05, 06 e 07

No segundo dia de testes, foram executados três ensaios experimentais, intitulados como 05, 06 e 07. Nesses ensaios foram alteradas as formas de combate. No ensaio 05 foram aplicados dois pulsos d'água (tempo de abertura de 0,2 a 0,5 segundos a cada pulso) associados a pacotes d'água. No ensaio 06 foram aplicados pulsos mais longos (tempo de abertura de aproximadamente 1,5 segundos) juntamente a pacotes d'água, e o ensaio 07 foi realizado exatamente como em um combate de incêndio real, com aplicação de pulsos e pacotes d'água, mas, sem uma sequência e tempo pré-estabelecidos, ou seja, os ataques foram realizados de acordo com a experiência e necessidade dos combatentes, buscando o avanço mais rápido até o foco.

Na Tabela 3.9 tem-se a distribuição de carga de incêndio por ensaios. No ensaio experimental 05 foram dispostos 221,12 kg de madeira na área de queima do container. Já nos ensaios 06 e 07 foram distribuídos 217,70 kg e 225,75 kg.



Tabela 3.9: Dados dos paletes nos ensaios 05, 06 e 07.

| Descrição    |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Ensaio 05     | Ensaio 06     | Ensaio 07     |
| Qnt.         | Peso (kg)     |               |               |
| 01           | 22,32         | 18,88         | 19,52         |
| 02           | 18,76         | 13,56         | 20,32         |
| 03           | 19,16         | 19,40         | 17,13         |
| 04           | 18,52         | 20,20         | 24,00         |
| 05           | 21,34         | 21,78         | 23,30         |
| 06           | 20,68         | 21,20         | 21,28         |
| 07           | 18,18         | 20,02         | 25,48         |
| 08           | 20,86         | 20,12         | 20,50         |
| 09           | 19,30         | 20,80         | 19,40         |
| 10           | 19,64         | 20,60         | 17,48         |
| 11           | 22,36         | 21,14         | 17,34         |
| <b>Total</b> | <b>221,12</b> | <b>217,70</b> | <b>225,75</b> |
| <b>Média</b> | <b>20,10</b>  | <b>19,79</b>  | <b>20,52</b>  |

Observação: O palete nº 11 foi desmontado e utilizado como foco inicial do incêndio.

Quando analisado o tempo de duração dos ensaios, de acordo com a ignição do foco do incêndio, similar ao tempo inicial (igual a zero) de coleta de dados pela aquisição de dados, o ensaio 05, com duração de 32 minutos, apresentou em 4 minutos de seu início, a formação da camada de fumaça e, aos 10 minutos as portas do container foram abertas. Os ensaios 06 e 07, com duração de aproximadamente 30 minutos e 23 minutos, respectivamente, apresentaram formação da camada de fumaça aos 3 minutos e as portas foram abertas em 7 minutos e 9 minutos, como apresentado na Tabela 3.10. Esses dados podem ser visualmente analisados nos gráficos inclusos no Apêndice C, em que os dados foram sincronizados de acordo com o tempo de ignição do foco do incêndio.

A partir dessas primeiras informações viabilizadas, é possível constatar que há uma redução significativa de 10 minutos no tempo de realização do primeiro ensaio (ensaio 05), para o último ensaio (ensaio 07). Assim como mencionado nos ensaios Experimentais 01 a 04 (Item 3.3.1 – Capítulo 3), as diferenças de duração dos testes ocorrem em razão do aquecimento do compartimento, conseqüentemente, pela redução de sua umidade com o decorrer dos ensaios. Dessa maneira, a formação da camada de fumaça está ligada ao desenvolvimento do incêndio, a abertura de portas ligada à oferta de oxigênio (*ventilação controlada*) e às particularidades físicas (até abertura das portas) dos profissionais. Já o tempo de decaimento está associado à disponibilidade de material combustível ofertado para queima (*fogo controlado*) e à quantidade de intervenções efetuadas durante o combate.

Tabela 3.10: Dados dos ensaios 05, 06 e 07.

| Dados Técnicos   |          |                                   |                                   |                                   |
|--|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Data: 28/11/2018   |          |                                   |                                   |                                   |
|  |          | Ensaio 05                         | Ensaio 06                         | Ensaio 07                         |
| Temperatura  | Máxima   | 28°C                              | 28°C                              | 28°C                              |
|  | Mínima   | 16°C                              | 16°C                              | 16°C                              |
|  | Ambiente | 21°C                              | 24°C                              | 26°C                              |
| Umidade  |          | 67%                               | 51%                               | 41%                               |
| Ensaios – Com Intervenção  |          |                                   |                                   |                                   |
| Ensaio 05: Aplicação de água em combate adaptado, com 1 ou 2 pulsos e pacotes d'água.  |          |                                   |                                   |                                   |
| Ensaio 06: Aplicação de água em combate adaptado, com pulsos mais longos (+/- 1,5 s) e pacotes d'água.                         |          |                                   |                                   |                                   |
| Ensaio 07: Aplicação de água simulando combate real. Aplicação de pulsos e pacotes d'água.                                     |          |                                   |                                   |                                   |
| 15 termopares acoplados ao container + 3 termopares acoplados no corpo dos profissionais (ombro, rosto e máscara de proteção). |          |                                   |                                   |                                   |
| Início   |          | 11:08:00                          | 12:19:00                          | 15:05:00                          |
| Término  |          | 11:40:14                          | 12:48:55                          | 15:27:47                          |
| Duração do Ensaio  |          | 00:32:14                          | 00:29:55                          | 00:22:47                          |
| Formação – Camada de Fumaça  |          | 00:04:39                          | 00:03:30                          | 00:03:20                          |
| Abertura de Portas   |          | 10:28 Inferior e Superior Direita | 07:08 Inferior e Superior Direita | 09:35 Inferior e Superior Direita |
| Tempo de Decaimento - TMP 13<br>(Abertura de portas até decair a 200°C)  |          | 00:09:36                          | 00:11:57                          | 00:06:35                          |
| Legenda – hh:mm:ss – hora:minuto:segundo   |          |                                   |                                   |                                   |

Os gráficos abaixo apresentados foram sincronizados de acordo com o intervalo de tempo do fenômeno *flashover* (momento de abertura de portas – igual a zero) tendo em vista que essa medida facilitou visualmente as análises e comparações.

São apresentados na Figura 3.16, os gráficos referentes à seção 01 (Figura 3.6) dos ensaios 05 a 07.

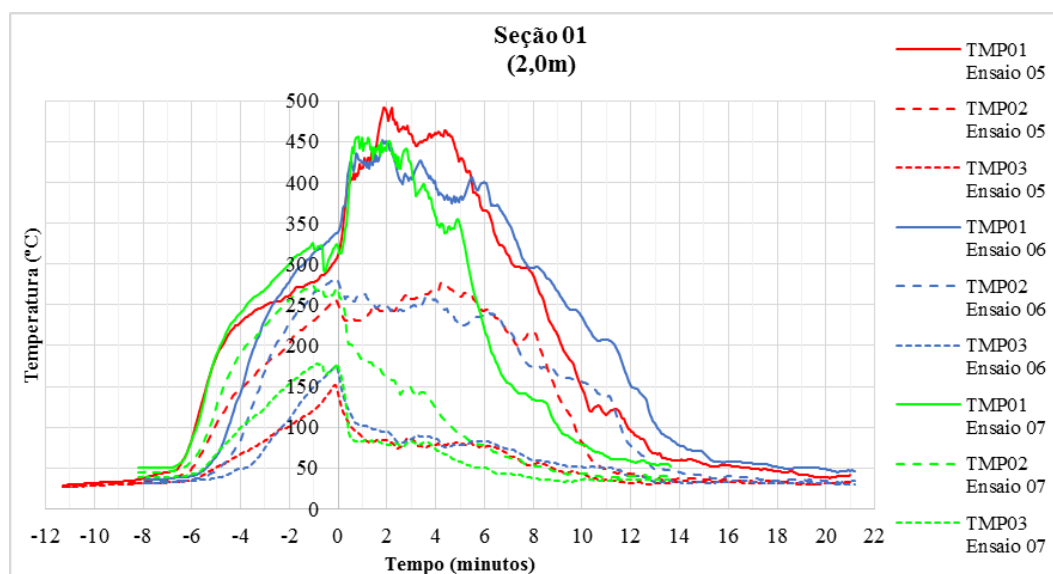


Figura 3.16: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 05, 06 e 07.

Verifica-se que o maior pico de temperatura foi de aproximadamente 500°C, no termopar mais alto (TMP 01) do ensaio 05, seguidos dos ensaios 06 e 07 que marcaram temperaturas próximas de 450°C. Observa-se temperaturas médias de aproximadamente 280°C coletadas pelo termopar posicionado em altura mediana (TMP 02), e as menores temperaturas foram aferidas pelo termopar mais baixo (TMP 03) com picos variando entre 150°C a 180°C. Imprescindível salientar que, na seção 01, estão pontuados os menores valores de temperatura, levando em consideração a proximidade com a abertura frontal e distância da área de queima no container.

Assim como relatado nos primeiros ensaios, as seções 02 e 03 (Figura 3.6) dos ensaios 05 a 07 apresentaram valores relativamente parecidos, de acordo com as Figuras 3.17 e 3.18.

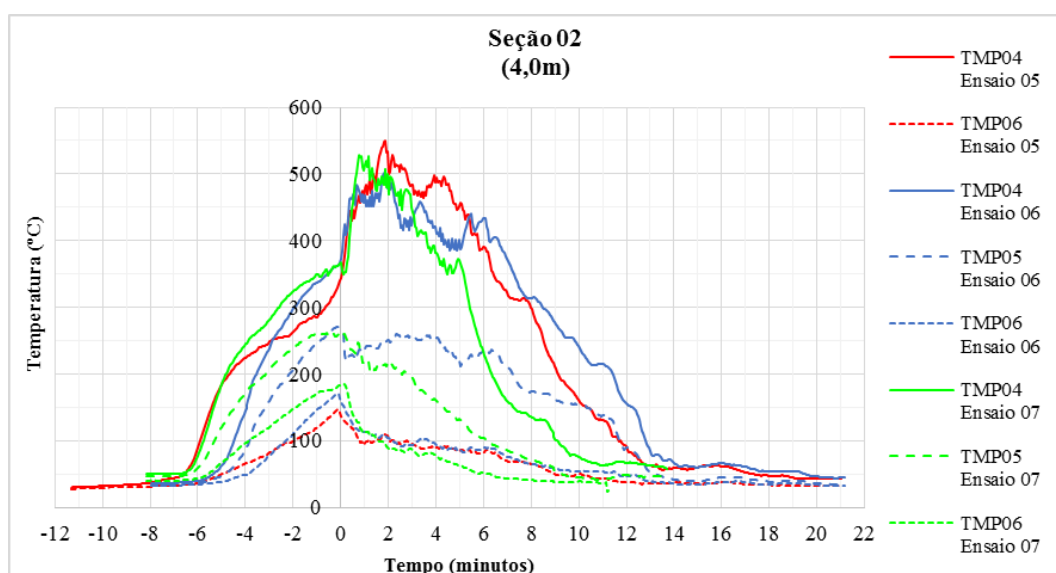


Figura 3.17: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 05, 06 e 07.

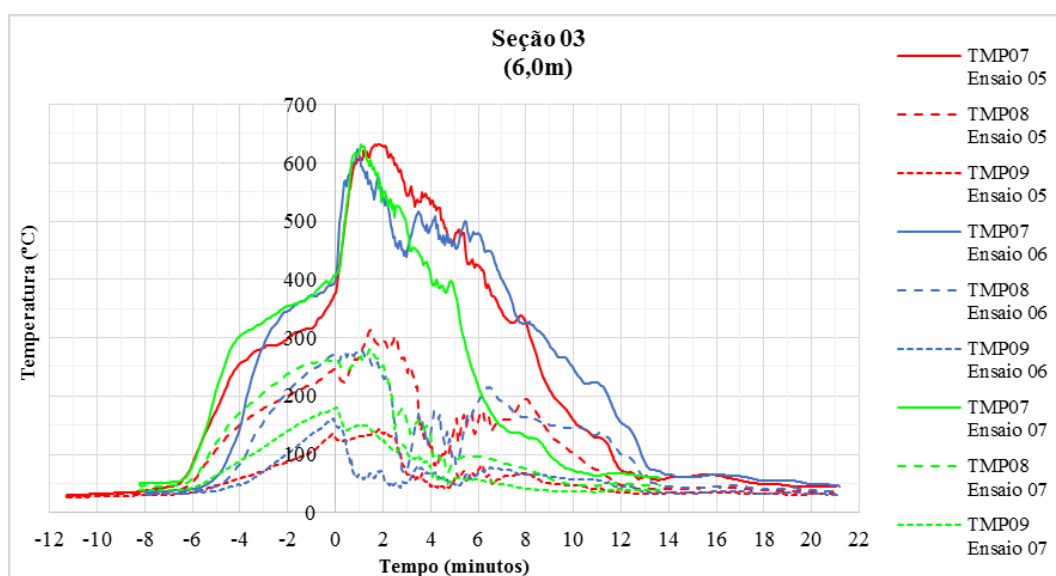


Figura 3.18: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 05, 06 e 07.

Observa-se que as temperaturas mais baixas (TMP 06 e TMP 09) atingiram valores entre 140°C a 180°C. Temperaturas médias (TMP 05 e TMP 08) foram coletadas pelos termopares posicionados em alturas medianas, sendo 300°C a maior temperatura aferida por estes pontos, coletada durante o ensaio 05. Quando abertas as portas, o maior pico de temperatura de 630°C foi medido pelo termopar (TMP 07) da seção 03 nos ensaios 05, 06 e 07, seguidos do termopar de mesma altura (TMP 04) da seção 02 que aferiram de 500°C a 550°C.

O termopar 05 (TMP 05 – seção 02) do ensaio 05 apresentou diversas oscilações incoerentes, portanto, não aferiu coerentemente as temperaturas e, por isso, não foi apresentado.

Conforme mostra a Figura 3.19, na seção 04 (Figura 3.6), a maior temperatura foi de 790°C no termopar mais alto (TMP 10) do ensaio 07, seguidos dos ensaios 05 e 06, que marcaram temperaturas próximas ao teto de 770°C. As temperaturas médias variaram entre 360°C e 400°C, foram registradas pelo termopar posicionado em altura mediana (TMP 11). Os menores valores foram apontados pelo termopar mais baixo (TMP 12) que atingiu picos de temperatura próximos de 200°C.

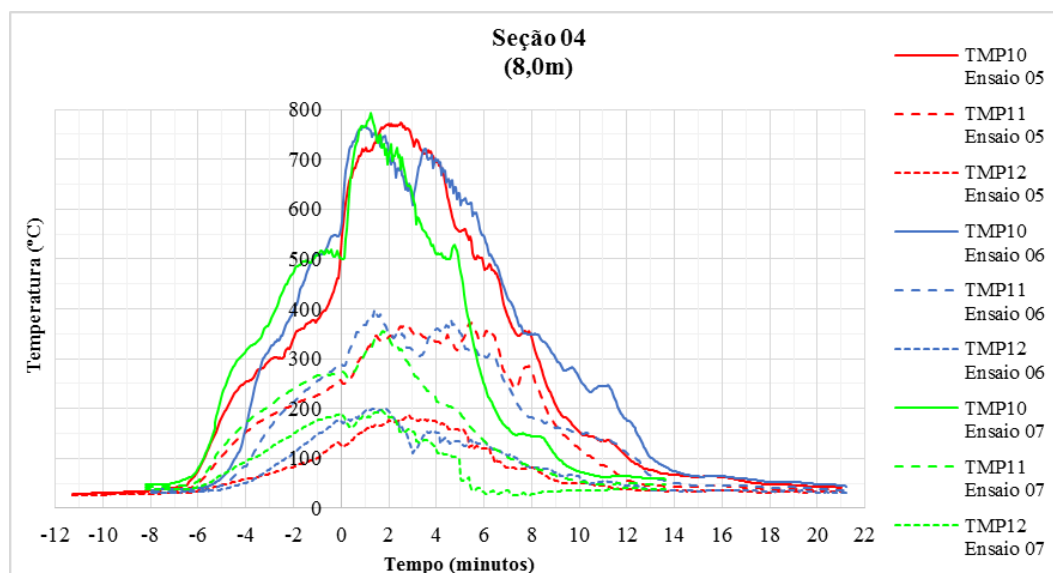


Figura 3.19: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 05, 06 e 07.

As temperaturas mais baixas (TMP 15) na seção 05 (Figura 3.6) atingiram picos entre 260°C a 340°C. As temperaturas medianas (TMP 14) ficaram entre aproximadamente 490°C e 560°C. Quando abertas as portas do container, o maior pico de temperatura de 885°C foi atingido e coletado pelo termopar (TMP 13) no ensaio 07, seguidos dos termopares de

mesma altura dos ensaios 05 e 06, que marcaram temperaturas de 855°C e 850°C, respectivamente, como exhibe a Figura 3.20.

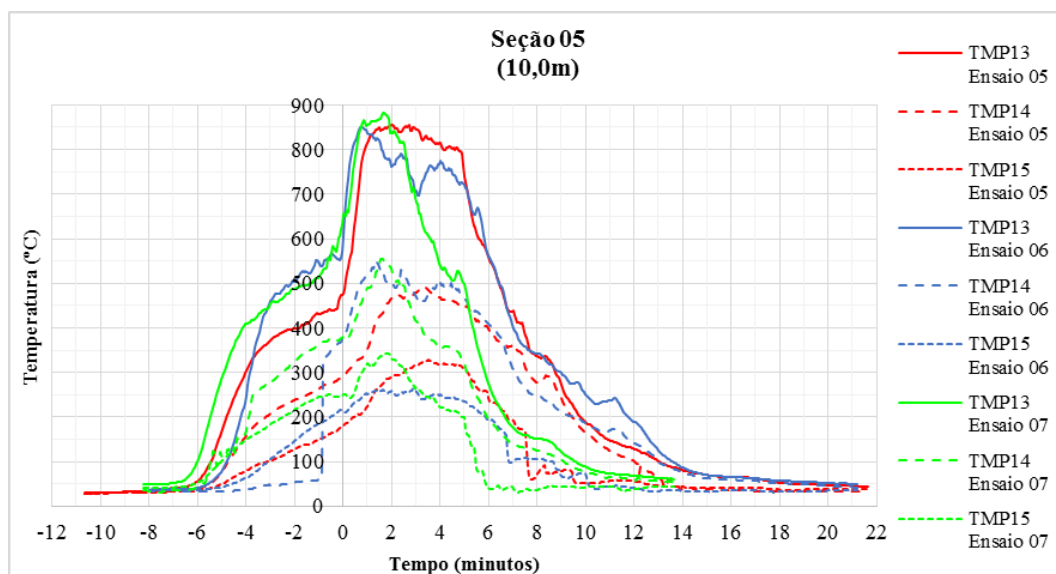


Figura 3.20: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 05, 06 e 07.

Quando analisado cada ensaio individualmente, de acordo com o tempo de ignição (Tabela 3.10), os saltos na leitura dos termopares proveniente da abertura de portas aconteceram em 11 minutos no ensaio 05, no ensaio experimental 06, ocorreu em 8 minutos e, no ensaio 07 se deu próximo dos 10 minutos. A abertura das portas fez com que o incêndio deixasse de ser conduzido pela oferta de oxigênio, *ventilação controlada*, e passasse a ser controlado pelo material combustível, *fogo controlado*. Os tempos a que cada um dos ensaios fora acometido ao fenômeno *flashover* (salto na temperatura) podem ser visualmente examinados quando consultados os gráficos sincronizados em função do tempo de ignição do foco do incêndio contidos no Apêndice C.

Na Tabela 3.11, são exibidas as máximas temperaturas atingidas pelos termopares dos ensaios 05, 06 e 07.

Tabela 3.11: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 05, 06 e 07.

| Ensaio 05    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 494 | 277 | 152 | 549 | 134 | 147 | 631 | 312 | 142 | 773 | 371 | 186 | 855 | 489 | 327 |
| Ensaio 06    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 452 | 282 | 174 | 504 | 270 | 171 | 623 | 282 | 161 | 767 | 400 | 200 | 850 | 547 | 262 |
| Ensaio 07    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 458 | 275 | 177 | 532 | 265 | 184 | 631 | 280 | 180 | 791 | 357 | 195 | 883 | 556 | 342 |

Os valores relativos à dispersão de água em cada um dos ensaios variaram de acordo com o profissional, e também, de acordo com o tipo de intervenção. No ensaio 05, com aplicação de dois pulsos associados a pacotes d'água foram aplicados 47 pulsos (totalizando 22,6 litros) e 67 pacotes (totalizando 45,8 litros), o equivalente a 68,4 litros de água para combate, salvo a quantidade utilizada durante o jato mole. No ensaio 06, com aplicação de pulsos mais longos (1,5 segundos), juntamente com pacotes d'água, foram aplicados 54 pulsos (totalizando 24,7 litros) e 93 pacotes d'água (totalizando 86,58 litros), o equivalente a 111,28 litros de água para combate, exceto a quantidade utilizada para o jato mole. O ensaio 07 foi realizado exatamente como em um combate real, sem especificações exatas do instante a se aplicar os pulsos e pacotes d'água, que ocorreram em um menor espaço de tempo, de acordo com sensação térmica do combatente, buscando o avanço mais rápido até o foco, no entanto, a quantidade de água ainda foi próxima ao aplicado nos ensaios anteriores, com 37 pulsos (totalizando 37,5 litros) e 80 pacotes (totalizando 33,4 litros), o equivalente a 70,9 litros de água, salvo a quantidade utilizada para o jato mole.

Nesses ensaios, os valores referentes à quantidade de água aplicada foram maiores do que nos ensaios anteriores 01 a 04, isso é justificado pelas diferentes propostas de aplicabilidade dos jatos d'água e à particularidade de habilidade de cada um dos combatentes. Tendo em vista que cada um deles tem uma velocidade em abrir e fechar o esguincho, por exemplo. Fatores como esses, bem como o instante, a quantidade e o tipo de ataque de combate a incêndio de todos os ensaios podem ser observados no Apêndice D.

Haja vista todos os aspectos observados mediante a todas essas análises, constata-se que a diferença do pico de temperatura entre o ponto do termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizado próximo da área de queima (seção 05 – Figura 3.6) chegou a 525°C no ensaio 05, 600°C no ensaio 06, 543°C no ensaio 07 e, próximo do local de combate (seção 02 – Figura 3.6), ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 399°C no ensaio 05, 344°C no ensaio 06 e 522°C no ensaio 07.

Além disso, ressalta-se que assim como nos ensaios experimentais 01 a 04 (Item 3.3.1, Capítulo 3), quanto mais ensaios realizados, menor é a umidade dentro do compartimento e do tempo para formação da camada de fumaça, por conseguinte, menor o tempo para abertura das portas e maiores são as temperaturas. Após a abertura das portas, o crescimento brusco de temperatura (*flashover*) também foi relativamente proporcional quando comparados os termopares de mesma numeração, em todos os ensaios.

Quando analisados comparativamente, na Figura 3.21, os gráficos dos ensaios 05 a 07, referente aos termopares mais altos (TMP 04) próximo da área em que os profissionais ficam posicionados para realização do combate e próximo da área de queima (TMP 13), o ensaio 05 realizado com intervenção de dois pulsos, apresentou crescimento mais lento, justificado pelo não aquecimento prévio do compartimento (primeiro ensaio do dia). Os ensaios 05 e 06 apresentaram decaimento mais lento após a abertura das portas (Porta 03 e 04 – Figura 3.1) quando comparado ao ensaio 07. Esse fato é justificado pela taxa de dispersão durante as intervenções que visavam debelar o incêndio mais rapidamente, simulando de forma coerentemente o combate real.

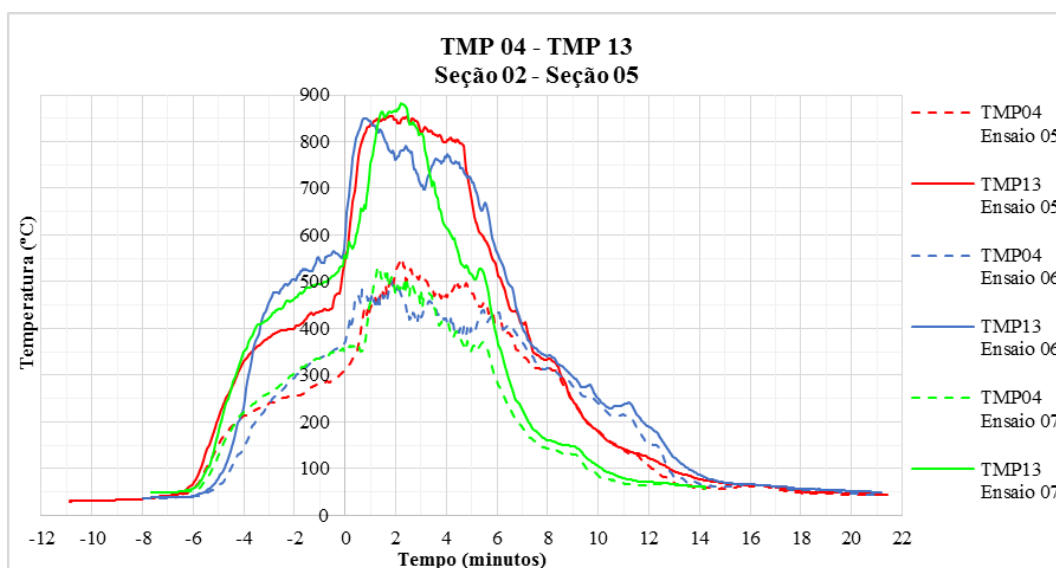


Figura 3.21: Gráficos comparativos dos perfis de temperatura, TMP 13, seção 05 – Ensaios 05, 06 e 07.

O ensaio 06 (pré-aquecido pelo ensaio 05) apresentou crescimento de temperatura mais acentuado no início do incêndio. E, quando comparado o tempo efetivo de execução das intervenções (tempo de decaimento – momento de abertura das portas até a temperatura decair a 200°C), o ensaio 05 exibiu aproximadamente 9,5 minutos de combate, enquanto os ensaios 06 e 07 apresentaram um tempo de aproximadamente 12 minutos e 6,5 minutos, respectivamente. A partir dessas informações é possível constatar que o ensaio 07 teve uma redução significativa, de 6 minutos, em relação ao ensaio 06 e, de 3 minutos quando comparado ao ensaio 05.

As diferenças entre os ensaios 05 e 06 são pequenas, apesar do consumo maior de água no ensaio 06, de 111,28 litros, em relação ao ensaio 05, de 68,4 litros. No ensaio 07 (com o compartimento aquecido pelos ensaios anteriores) a quantidade de água consumida foi de 70,9 litros, bem próximo do que foi consumido no ensaio 05, porém, essa quantidade foi aplicada em um tempo menor, resultando em uma taxa de dispersão maior.

Comparativamente também é válido ressaltar que, o ensaio com jatos d'água mais longos (ensaio 06) consomem, aproximadamente, 40 litros de água a mais, quando relacionados aos ensaios 05 e 07, não sendo eficaz, uma vez que os ensaios 05 e 07 apresentaram queda de temperatura igual ou até superior ao ensaio em questão. A partir disso, conclui-se que a condição na variação do tempo de decaimento, bem como no tempo de duração desses ensaios está relacionada ao modo de execução do combate, ou seja, a taxa de aplicação.

Expandindo as formas de análises, nas Figuras 2.22 e 2.23, são viabilizados os gráficos com os valores médios de temperaturas por unidade de termopar e o gráfico dos valores médios de temperaturas ao longo das três diferentes alturas a que os termopares foram posicionados: 0,80 m; 1,47 m e 2,15 m, nos ensaios 05 a 07.

Nos gráficos da Figura 2.22, pertinentes à análise média da temperatura por termopar, a maior temperatura de aproximadamente 730°C, no termopar TMP 13. Temperaturas médias de até 440°C no termopar TMP 14 e o pico das temperaturas mais baixas em torno de 230°C no termopar TMP 15.

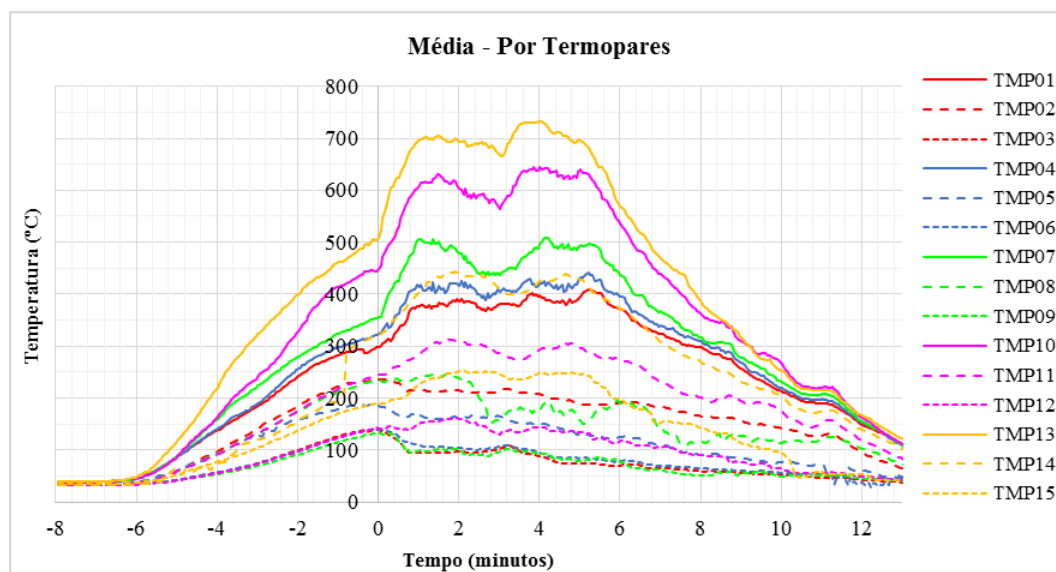


Figura 3.22: Valores médios de temperatura, por termopar – Ensaios 05, 06 e 07.

Conferido na Figura 3.23, os gráficos referentes à análise por altura, apresentam a maior temperatura de aproximadamente 540°C, na altura de 2,15 m. Temperaturas médias de até 280°C coletadas na altura de 1,47 m e o pico das temperaturas mais baixas em torno de 140°C na altura de 0,80 m.



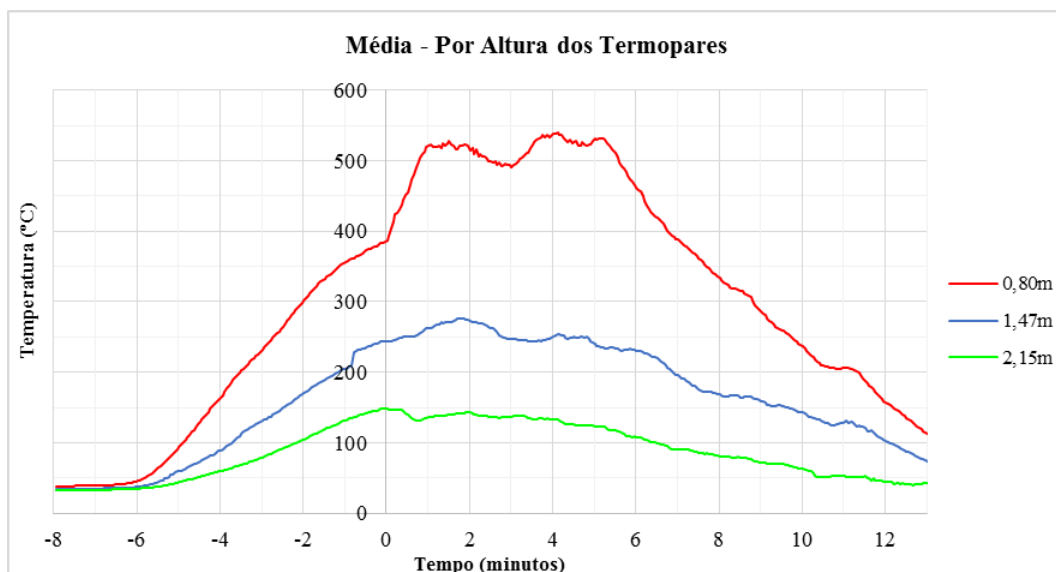


Figura 3.23: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 05, 06 e 07.

Durante a execução dos ensaios 05, 06 e 07, cabos dos sensores termopares foram conectados a partes corporais e equipamentos de alguns profissionais atuantes. Na Figura 3.24 são exibidas as posições em que os cabos foram conectados aos profissionais.



Figura 3.24: Profissionais atuantes – Ensaios 05, 06 e 07.

Após equipados, os profissionais foram monitorados enquanto desenvolviam as atividades de treinamento. Durante atuação, foram confrontados com a fase inicial composta pela formação de camada de fumaça e abertura de portas, posteriormente, a fase de combate, constituídos de pulsos e pacotes d'água, seguidos de jato mole para rescaldo. O primeiro instrutor (Figuras 3.24a, 3.24b e 3.24c), no ensaio 05, entrou no container da fase inicial até a fase de combate com pulsos, aguardou na parte externa a realização da fase de combate com pacotes d'água, até que pudesse retornar para realizar o rescaldo. O segundo instrutor (Figuras 3.24d, 3.24e e 3.24f), no ensaio 06, entrou na segunda fase para aplicação de combate com pacotes d'água até o jato mole para rescaldo. Por fim, o terceiro e último instrutor avaliado (Figuras 3.24g, 3.24h e 3.24i), esteve no compartimento do início ao fim do ensaio 07, mas não efetuou o rescaldo.

Os gráficos das Figuras 3.25 a 3.27 expressam a temperatura nos três pontos de coleta diferentes: ponto externo da máscara do equipamento de proteção respiratória autônoma (EPRa), e pontos internos: ombro e rosto. A temperatura atingida na parte externa da máscara de proteção chega próximo dos 130°C, no ensaio 07. O ombro apresentou variações de temperaturas mais baixas, com valores próximos aos 40°C durante os três ensaios. Já a temperatura do rosto se manteve em 38°C nos ensaios 05 e 06, e no ensaio 07, quando o profissional retorna para a fase de rescaldo dentro do compartimento, a temperatura nesta mesma área corporal chega a atingir 58°C.

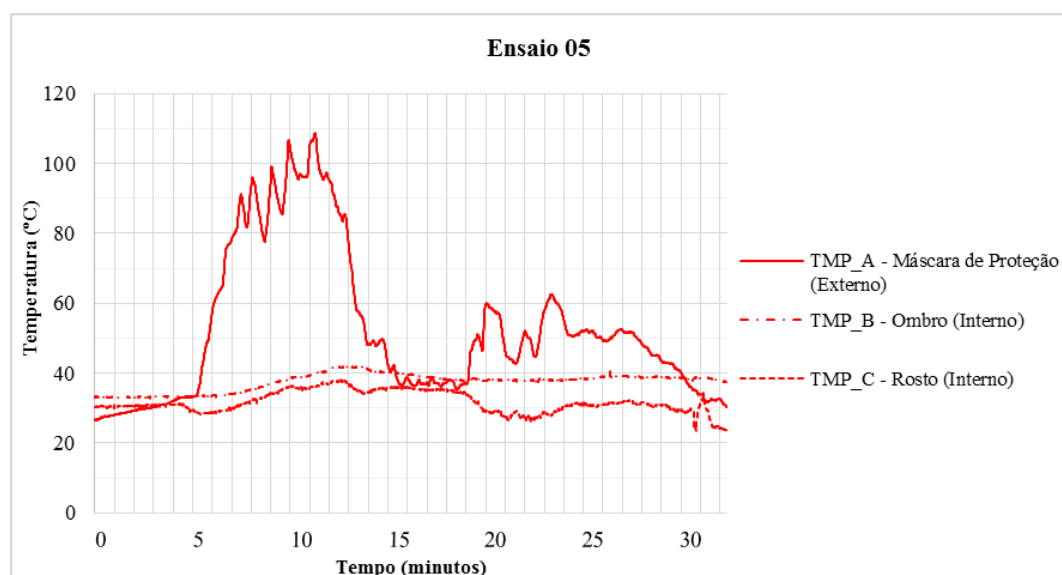


Figura 3.25: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 05.

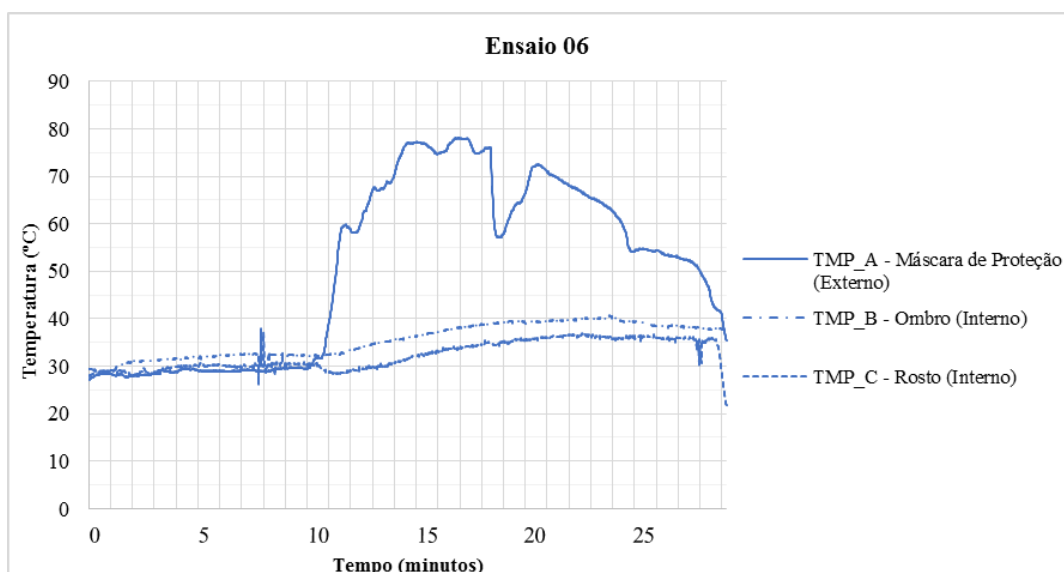


Figura 3.26: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 06.

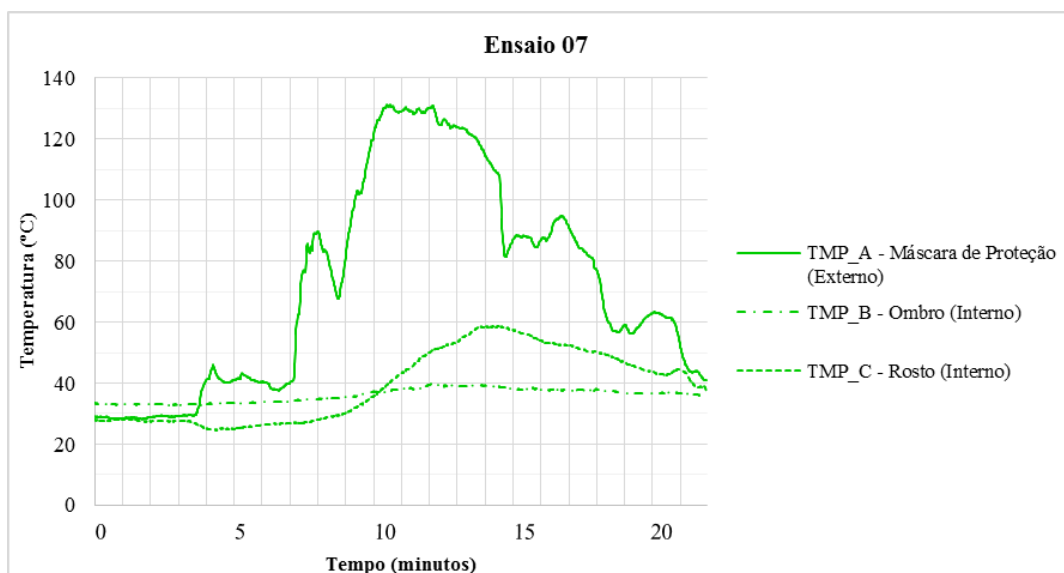


Figura 3.27: Gráficos da temperatura corporal e da máscara de proteção respiratória autônoma – Ensaio 07.

As exposições severas dos usuários às elevadas temperaturas oriundas de um incêndio podem provocar queimaduras de pele e/ou no trato respiratório, e hipertermia. A seguir, na Tabela 2.10, são apresentadas algumas consequências das altas temperaturas.

A hipertermia é o aumento da temperatura corporal a patamares que podem comprometer o metabolismo. Quando a temperatura alcança valores acima de 40°C, leva o corpo humano à perda de consciência e acima de 42,5°C, acarreta a morte. Esse fato pode ser acompanhado de queimaduras cutâneas, na laringe e edemas pulmonares, que se apresentam como principais causas de incapacitação ou mortes, após o incêndio.

Tabela 3.12: Consequências ao ser humano de acordo com o aumento de temperatura (Lawson, 2009).

| Temperatura (°C) | Consequências  |
|------------------|--|
| 37               | Temperatura normal do corpo humano   |
| 38               | Temperatura interna corporal típica de um bombeiro em trabalho                                   |
| 43               | Temperatura interna corporal humana que pode levar a óbito, hipertermia                          |
| 44               | Temperatura da pele humana quando começa a sentir dor  |
| 48               | Temperatura que causa queimadura de 1º grau na pele humana                                       |
| 54               | Temperatura da água quente que pode causar uma queimadura em 30 segundos                         |
| 55               | Temperatura que causa bolhas e queimadura de 2º grau na pele humana                              |
| 62               | Temperatura quando o tecido humano se torna entorpecido  |
| 72               | Temperatura quando o tecido humano é imediatamente destruído                                     |
| 100              | Temperatura quando a água ferve e se torna vapor   |
| 250              | Temperatura quando o algodão natural começa a carbonizar   |
| >300             | Temperatura quando os tecidos sintéticos das roupas de proteção começam a carbonizar             |
| ≥400             | Temperatura dos gases em um ambiente quando o incêndio começa a generalizar ( <i>flashover</i> ) |
| ≈1000            | Temperatura dentro de um ambiente com generalização do incêndio                                  |

### 3.3.3 Ensaios Experimentais 08, 09 e 10

No terceiro dia, foram realizados os ensaios experimentais nomeados como 08, 09 e 10. Todos executados sem intervenções com jatos d'água pelos bombeiros. Conforme mostra a Tabela 3.12, foram dispostos 213,76 kg de paletes de madeira na área de queima do container para realização do ensaio experimental 08, e nos ensaios 09 e 10 foram distribuídos 225,38 kg e 184,82 kg, respectivamente.

Tabela 3.13: Dados dos paletes nos ensaios 08, 09 e 10.

| Qt.          | Descrição     |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Ensaio 08     | Ensaio 09     | Ensaio 10     |
|              | Peso (kg)     |               |               |
| 01           | 16,88         | 27,82         | 17,88         |
| 02           | 18,64         | 20,30         | 18,52         |
| 03           | 18,38         | 23,10         | 20,64         |
| 04           | 14,30         | 19,84         | 11,50         |
| 05           | 22,02         | 18,24         | 16,90         |
| 06           | 19,28         | 18,66         | 13,92         |
| 07           | 21,80         | 19,46         | 20,64         |
| 08           | 21,82         | 17,12         | 13,70         |
| 09           | 18,84         | 20,44         | 10,68         |
| 10           | 22,08         | 19,52         | 13,02         |
| 11           | 19,72         | 20,88         | 27,42         |
| <b>Total</b> | <b>213,76</b> | <b>225,38</b> | <b>184,82</b> |
| <b>Média</b> | <b>19,43</b>  | <b>20,48</b>  | <b>16,80</b>  |

Observação: O palete nº 11 foi desmontado e utilizado como foco inicial do incêndio.

A Tabela 3.2 apresenta as massas totais de paletes utilizados em cada ensaio, com média de 207,96 kg para os três ensaios sem intervenção. A maior diferença de um dos ensaios em relação a média é de menos 11,1%.

Quando analisado o tempo de duração dos ensaios, de acordo com a ignição do foco do incêndio, similar ao tempo inicial (igual a zero) de coleta de dados pela aquisição de dados, com duração de 50 minutos, o ensaio 08 apresentou em 4 minutos do início do teste, a formação da camada de fumaça e acionamento de abertura de portas aos 9 minutos. O ensaio 09 com duração de 38 minutos teve a camada de fumaça formada em aproximadamente 2 minutos e as portas abertas em 6 minutos. Já o ensaio 10 com duração de 44 minutos, teve a camada de fumaça formada aos 7 minutos e abertura de portas aos 9 minutos, conforme visto na Tabela 3.13. Esses dados podem ser visualmente observados nos gráficos inclusos no Apêndice C, nos quais os dados foram sincronizados de acordo com o tempo de ignição do foco do incêndio.

Tabela 3.14: Dados dos ensaios 08, 09 e 10.

| <b>Dados Técnicos</b>   |                 |                                   |                                     |                                   |
|---|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Data: 30/11/2018</b>   |                 |                                   |                                     |                                   |
|   |                 | <b>Ensaio 08</b>                  | <b>Ensaio 09</b>                    | <b>Ensaio 10</b>                  |
| <b>Temperatura</b>  | <b>Máxima</b>   | 28°C                              | 28°C                                | 28°C                              |
|   | <b>Mínima</b>   | 18°C                              | 18°C                                | 18°C                              |
|   | <b>Ambiente</b> | 21°C                              | 24°C                                | 26°C                              |
| <b>Umidade</b>  |                 | 64%                               | 60%                                 | 52%                               |
| <b>Ensaio – Sem Intervenção</b>   |                 |                                   |                                     |                                   |
| Ensaio 08, 09 e 10: Sem aplicação de jatos d'água.<br>15 termopares acoplados ao container. |                 |                                   |                                     |                                   |
| <b>Início</b>   |                 | 09:28:00                          | 10:44:00                            | 11:45:40                          |
| <b>Término</b>  |                 | 10:18:23                          | 11:22:40                            | 12:29:00                          |
| <b>Duração do Ensaio</b>  |                 | 00:50:23                          | 00:38:40                            | 00:44:20                          |
| <b>Formação – Camada de Fumaça</b>  |                 | 00:04:07                          | 00:01:50                            | 00:06:56                          |
| <b>Abertura de Portas</b>   |                 | 09:02 Inferior e Superior Direita | 06:20 Inferior e Superior Direita   | 09:18 Inferior e Superior Direita |
| <b>Rescaldo</b>   |                 | 42:18                             | 33:14                               | 40:00                             |
| <b>Tempo de Decaimento - TMP 13</b><br>(Abertura de portas até decair a 200°C)              |                 | 00:22:00                          | TMP 13 - Ensaio 09 apresentou erro. | 00:17:27                          |
| Legenda – hh:mm:ss – hora:minuto:segundo  |                 |                                   |                                     |                                   |

Os gráficos abaixo apresentados foram sincronizados de acordo com o intervalo de tempo do fenômeno *flashover* (momento de abertura de portas – igual a zero) tendo em vista que essa medida facilitou visualmente as análises e comparações.

Na Figura 3.28 são exibidos os dados referentes a seção 01 (Figura 3.6) dos ensaios 08, 09 e 10. O pico de temperatura de 640°C foi aferido pelo termopar mais alto (TMP 01) do ensaio 09, seguidos dos ensaios 08 e 10 que marcaram temperaturas próximas de 570°C. Temperaturas médias entre 290°C e 420°C foram coletadas pelo termopar posicionado em altura mediana (TMP 02). As menores temperaturas foram aferidas pelo termopar mais baixo (TMP 03) medindo valores entre 140°C e 165°C.

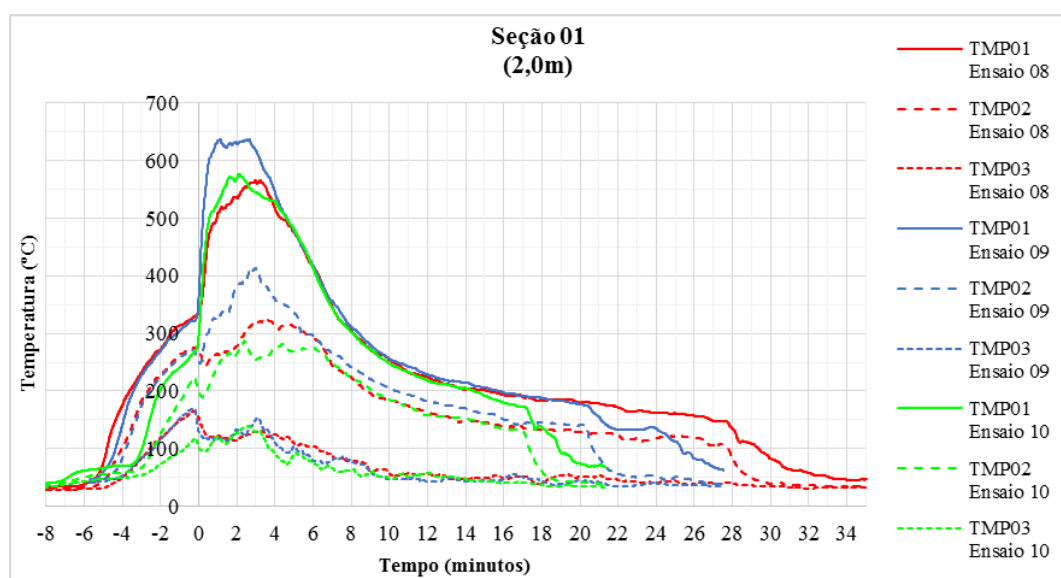


Figura 3.28: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 01 – Ensaios 08, 09 e 10.

As seções 02 e 03 (Figura 3.6) dos ensaios 08, 09 e 10 também apresentaram valores aproximados, segundo os gráficos das Figuras 3.29 e 3.30.

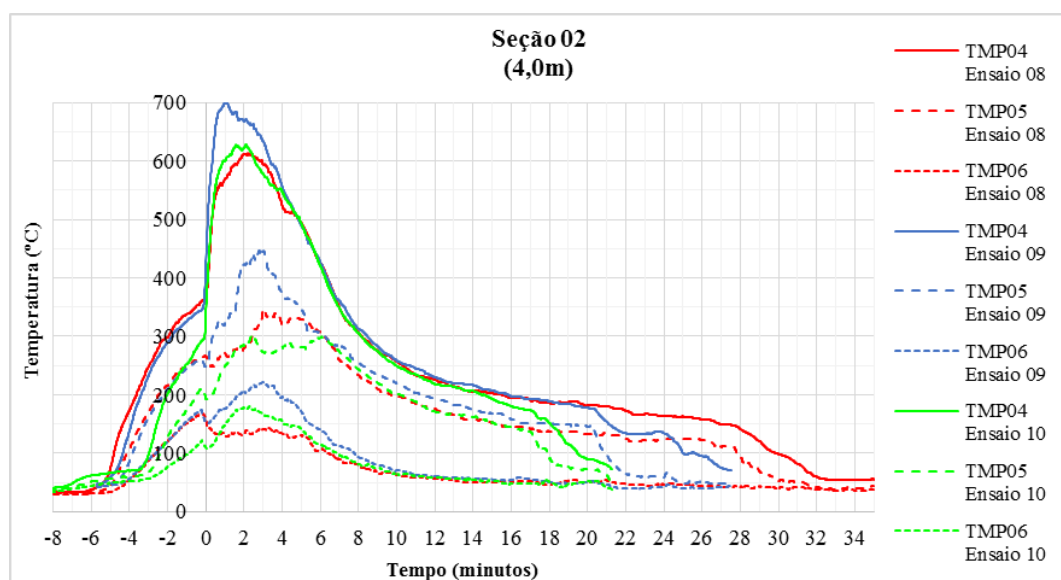


Figura 3.29: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 02 – Ensaios 08, 09 e 10.

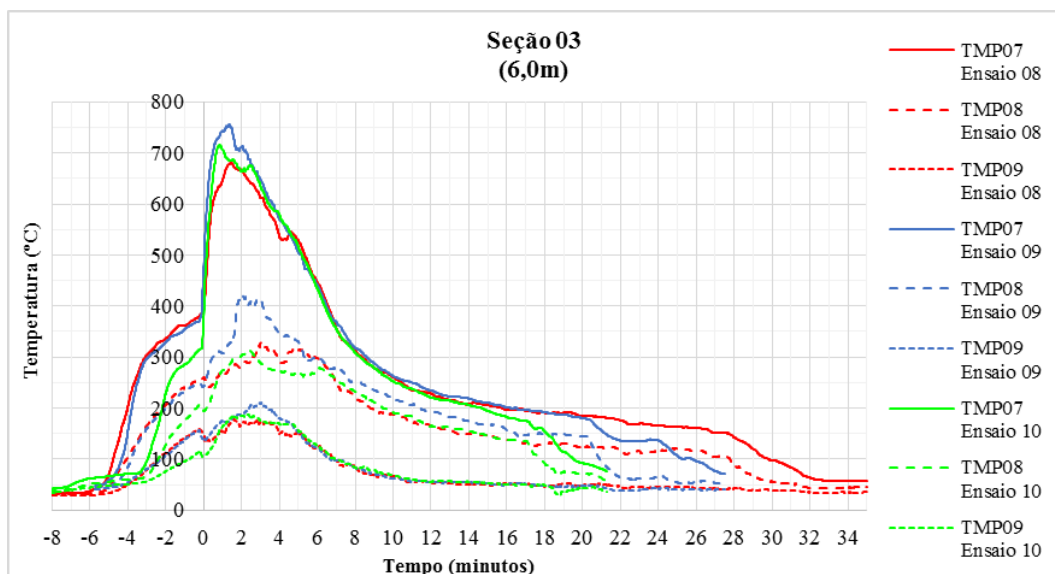


Figura 3.30: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 03 – Ensaios 08, 09 e 10.

Quando abertas as portas, o pico de 755°C foi coletado pelo termopar mais alto (TMP 07) na seção 03 do ensaio 09, seguidos dos termopares de mesma altura (TMP 04 e TMP 07) nos ensaios 08 e 10 da mesma seção, que marcaram temperaturas entre 610°C a 715°C. Temperaturas médias (TMP 05 e TMP 08) de 300°C a 450°C foram coletadas pelos termopares posicionados em alturas medianas. As temperaturas mais baixas (TMP 06 e TMP 09) atingiram picos com valores variáveis entre 170°C a 220°C.

Os gráficos da seção 04, Figura 3.31, apontam que as temperaturas mais baixas (TMP 12) têm picos entre 245°C e 315°C.

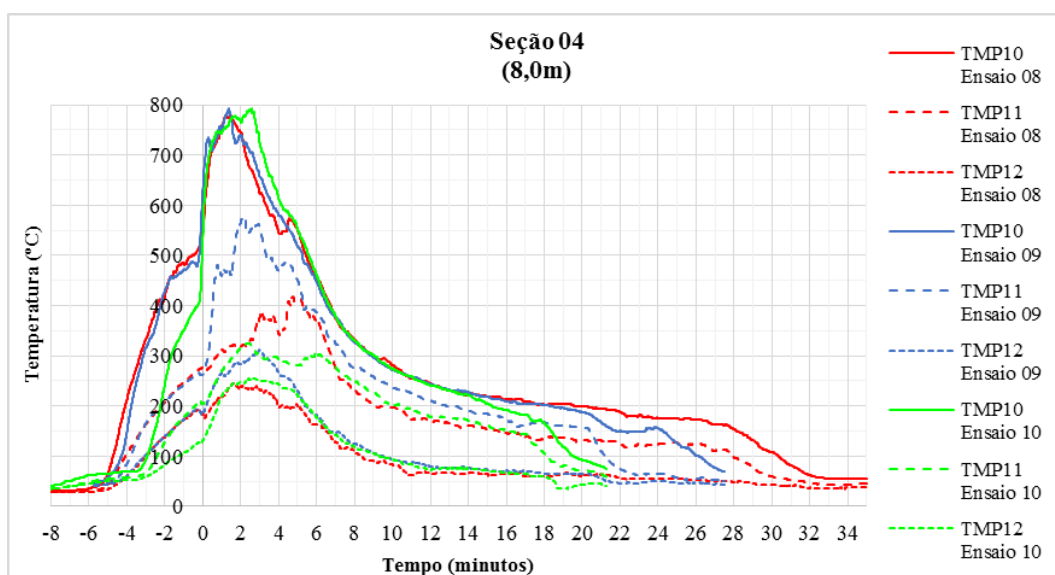


Figura 3.31: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 04 – Ensaios 08, 09 e 10.

Ainda sobre a seção 04, observa-se que as temperaturas medianas (TMP 11) ficaram entre aproximadamente 325°C e 575°C. E os picos de temperaturas mais altas foram aferidas pelo



termopar TMP 10 nos três ensaios, atingindo valores próximos de 800°C, conforme é exibido na Figura 3.31.

A Figura 3.32 mostra os gráficos referentes à seção 05 (Figura 3.6).

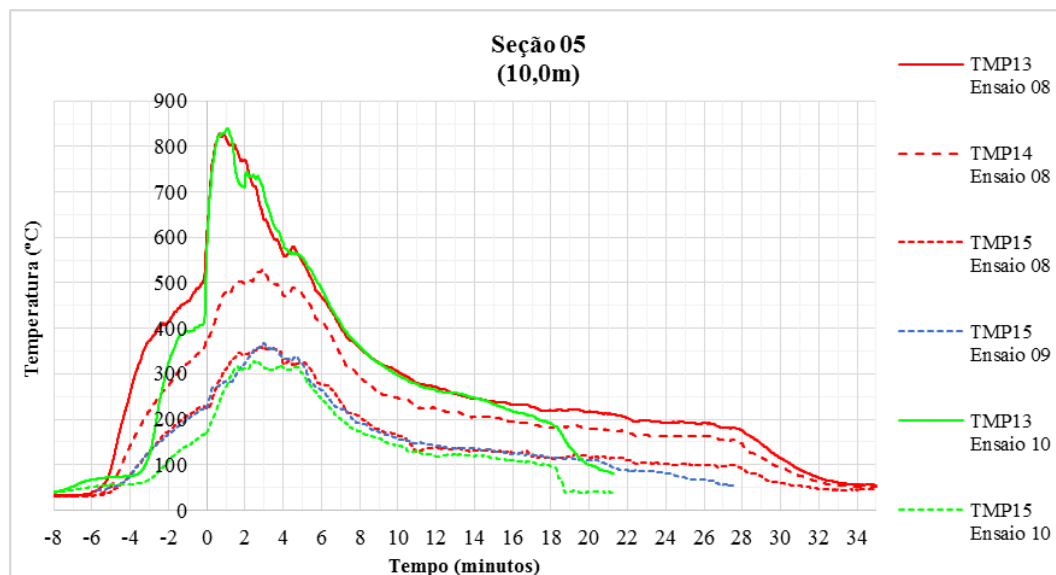


Figura 3.32: Gráficos dos perfis de temperatura, seção 05 – Ensaios 08, 09 e 10.

A maior temperatura foi de aproximadamente 840°C aos 10 minutos no termopar (TMP 13) dos ensaios 08 e 10, seguidos do ensaio 09, que marcou temperaturas próximas ao teto de 650°C. Temperaturas médias próximas de 520°C foram coletadas pelo termopar posicionado em altura mediana (TMP 14), no ensaio 08. Os menores valores foram apontados pelo termopar mais baixo (TMP 15) que atingiu picos de temperaturas entre 330°C e 370°C.

Na seção 05, o termopar TMP 14, no ensaio 09 e 10, apresentou erro e não aferiu corretamente as temperaturas. Na mesma seção, o termopar TMP 13, no ensaio 09, que envolveu maior massa de carga de incêndio (225,38 kg), também não apresentou leitura coerente e, por isso, também não foi apresentado graficamente.

Quando analisado cada ensaio individualmente, de acordo com o tempo de ignição (Tabela 3.13), os saltos na leitura dos termopares decorrentes da abertura das portas (Portas 03 e 04 – Figura 3.1), no ensaio 08 aconteceu aos 10 minutos. No ensaio experimental 09, este salto aconteceu em 7 minutos e no ensaio 10, esse acontecimento se deu próximo dos 10 minutos. A abertura das portas faz com que o incêndio deixe de ser controlado pela oferta de oxigênio e passe a ser conduzido pela oferta de material combustível. Os tempos de ocorrência do fenômeno *flashover* podem ser visualmente examinados quando consultados



os gráficos sincronizados em função do tempo de ignição do foco do incêndio contidos no Apêndice C.

Na Tabela 3.14, são exibidas as máximas temperaturas atingidas pelos termopares dos ensaios 08, 09 e 10.

Tabela 3.15: Temperaturas máximas atingidas – Ensaios 08, 09 e 10.

| Ensaio 08    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 565 | 325 | 164 | 612 | 344 | 168 | 681 | 331 | 177 | 778 | 419 | 245 | 827 | 528 | 359 |
| Ensaio 09    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 637 | 413 | 170 | 700 | 449 | 221 | 775 | 423 | 209 | 792 | 573 | 312 | 648 | 570 | 367 |
| Ensaio 10    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP          | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C) | 577 | 286 | 139 | 628 | 304 | 180 | 716 | 313 | 187 | 792 | 325 | 255 | 840 | 68  | 327 |

Em vista dos resultados dos ensaios 08, 09 e 10, concluiu-se que a diferença do pico de temperatura entre o ponto do termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizados próximo da área de queima (seção 05 – Figura 4, TMPs 13 e 15) chegou a 477°C no ensaio 08 e 520°C no ensaio 10 e, próximo do local de combate (seção 2 – Figura 4, TMPs 04 e 06) que seria ocupado pelos profissionais, essa diferença chegou a 452°C no ensaio 08, 490°C no ensaio 09 e 468°C no ensaio 10.

Reiteradamente, assim como nos ensaios experimentais 01 a 07 (Item 3.3.1 e Item 3.3.2, deste Capítulo) quanto mais ensaios realizados, menor é a umidade, conseqüente, menor é tempo para formação da camada de fumaça, menor o tempo para abertura das portas, mais altas são as temperaturas dentro do compartimento. Como outrora mencionado, após a abertura das portas, o crescimento súbito de temperatura (*flashover*) também foi relativamente proporcional quando comparados os termopares de mesma numeração, em todos os ensaios.

Quando comparativamente analisados, constata-se que os ensaios apresentaram crescimento e decaimento em mesma proporção, associando a condição na variação do tempo de crescimento e decaimento à quantidade de carga de incêndio disponível para queima, ou seja, na quantidade de TCL dispendida pelo próprio material combustível.

Nas Figuras 2.33 e 2.34, também são apresentados os gráficos dos valores médios de temperaturas por termopar e ao longo das três diferentes alturas a que foram posicionados: 0,80 m; 1,47 m e 2,15 m, nos referidos ensaios 08, 09 e 10.

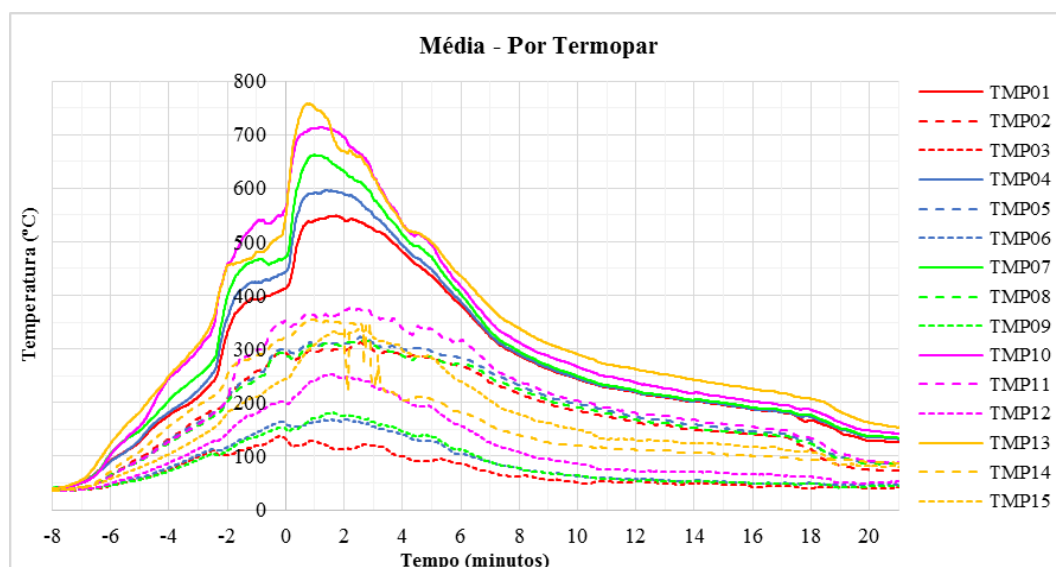


Figura 3.33: Valores médios de temperatura, por termopar– Ensaios 01, 02, 03 e 04.

Tocante à análise média por termopar, os gráficos da Figura 3.33, mostram que a maior temperatura atingida foi de 760°C, aproximadamente, aos 10 minutos, no termopar TMP 13. Temperaturas médias de até 360°C no termopar TMP 11, e o pico das temperaturas mais baixas em torno de 260°C no termopar TMP 12. E, por fim, quanto à análise por altura, na Figura 3.34, tem-se como maior valor, 510°C na altura de 2,15 m. Temperaturas médias de até 260°C coletadas em 1,47 m e o pico das mais baixas em torno de 120°C em 0,80 m.

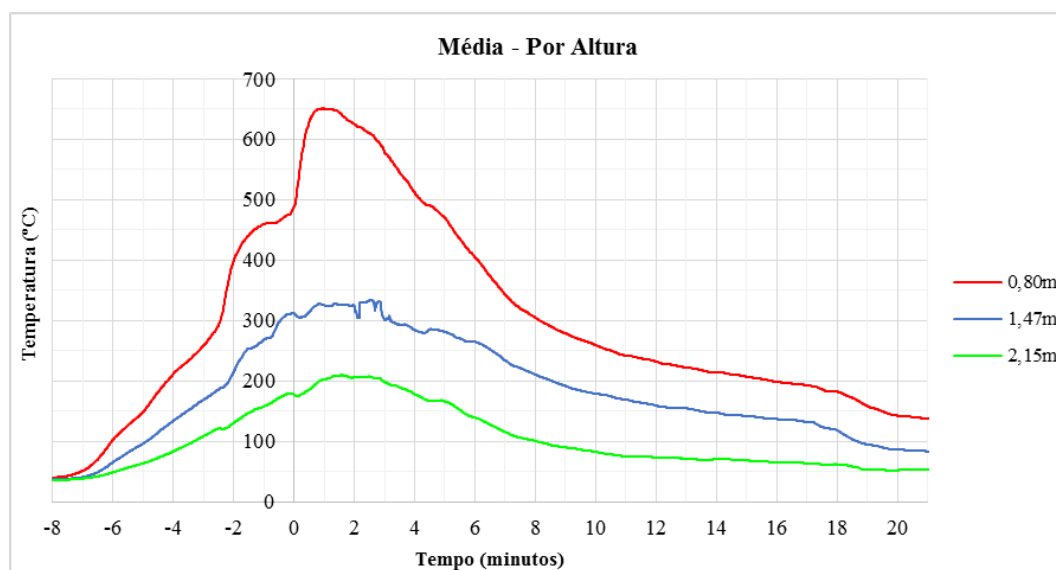


Figura 3.34: Valores médios de temperatura, por altura – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

### 3.3.4 Observações Gerais

Após a análise dos gráficos resultantes das simulações experimentais, conclui-se que a utilização do equipamento – tipo container durante os treinamentos simula bem um incêndio real, com as fases *pré-flashover*, no início do incêndio e sua propagação, inflamação generalizada (*flashover*) e *pós-flashover*. O fenômeno *flashover* é elucidado em virtude da abertura das portas, tendo em vista que nesse momento a inflamação já se encontra generalizada, porém, a evolução das temperaturas é contida pela falta de comburente oxigênio – *ventilação controlada*. No momento que antecede a abertura das portas a fumaça se apresenta densa (Figuras 3.2a e 3.2b). Segundo Caldas (2008) essa característica evidencia a combustão incompleta devido à falta de oxigênio. Com a abertura das portas, o fogo se desenvolve totalmente e passa a ser controlado pelos combustíveis (a disposição dos combustíveis e sua superfície são importantes) – *fogo controlado*. Esse estágio de transição do controle do fogo de oxigênio para o material combustível esclarece o aumento repentino de temperatura (envolvimento de todo combustível) e seu rápido decaimento após essa fase de queima generalizada.

Cada gráfico em sua particularidade sofreu variações de temperatura – provocadas principalmente pela taxa de dispersão de água em combate, quando das propostas com intervenções de jatos d'água, o que os diferencia em evolução e declínio individualmente. Haja vista todos os aspectos observados e as análises das literaturas de referência (que analisam os termopares próximo da área de queima), optou-se por comparar os gráficos de evolução das temperaturas pelo termopar mais alto (TMP 13 e TMP 04 – 2,15 m) localizado próximo da área de queima (seção 05 – Figura 3.6) e próximo do local de combate (seção 2 – Figura 3.6) ocupado pelos profissionais.

O tempo dos gráficos apresentados nas Figuras 3.35 a 3.40 foi ajustado de forma que o tempo de abertura da porta fosse o mesmo para todos os ensaios. Esse ajuste permite uma melhor comparação entre os ensaios, marcando o início das intervenções e do pleno desenvolvimento do incêndio.

Na Figura 3.35, referente à medição do TMP 04 (seção 02 – Figura 3.6), quando analisadas comparativamente as máximas temperaturas dos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) com as máximas temperaturas coletadas no treinamento com intervenção de dois pulsos (ensaio 05), observa-se que as máximas temperaturas durante o treinamento normal (ensaio 04), superam em até aproximadamente 50°C as do treinamento com dois pulsos

(ensaio 05). Por outro lado, a aplicação de pulsos mais longos – 1,5 segundo (ensaio 06) apresentou uma diminuição de aproximadamente 100°C em relação ao ensaio 04 e, de aproximadamente 30°C em comparação ao treinamento simulando um combate a incêndio real (ensaio 07), que, por sua vez, apresentou redução de aproximadamente 70°C em relação ao ensaio 04. Nota-se que a simulação de um combate real (ensaio 07), no qual a taxa de aplicação dos pulsos é maior, produziu uma redução significativa da temperatura máxima, além da redução do tempo do incêndio, quando comparado com os demais ensaios com intervenção (ensaios 01 a 05), exceto em relação a temperatura do ensaio 06. Essa observação mostra que a maior taxa de aplicação dos pulsos, com o objetivo de resfriar mais rapidamente o compartimento e se atingir o foco do incêndio, é eficaz. Em análise ao ensaio 06 percebe-se que, apesar da duração, limitou-se a temperatura máxima, ficando abaixo de todos os outros ensaios, indicando que os pulsos mais longos – 1,5 segundo, podem reduzir a temperatura máxima, próxima da localização do combatente, também, de maneira mais eficaz.

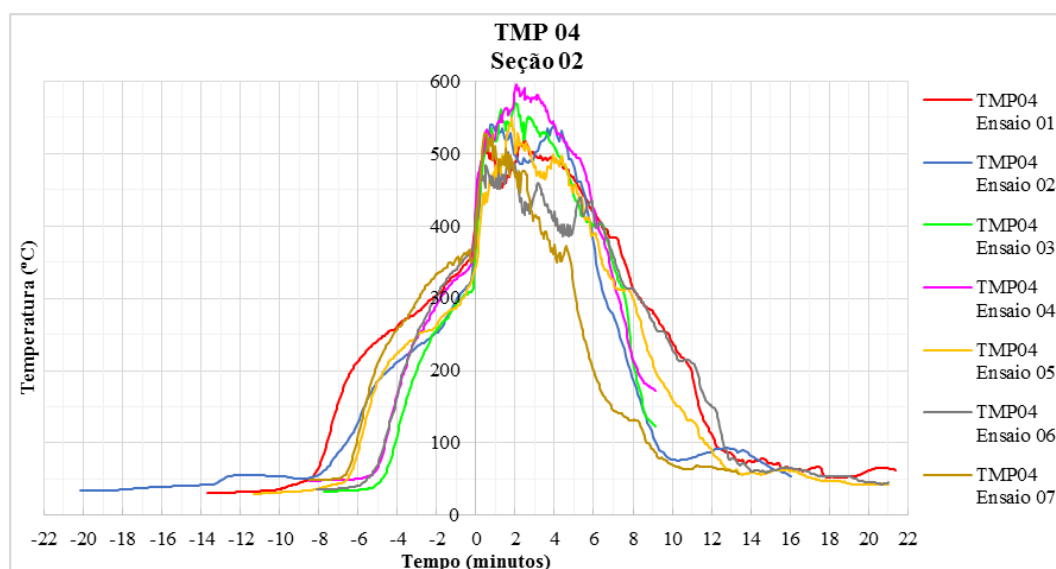


Figura 3.35: TMP 04, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 05, 06, 07.

Contudo, a partir da Figura 3.35, constata-se que a partir da abertura das portas, o comportamento das curvas temperatura *versus* tempo é bem próximo, o que indica a coerência entre os ensaios 01 a 04. Antes da abertura das portas, fatores como o pré-aquecimento e umidade do compartimento têm maior influência e distanciam as curvas. É possível notar, por exemplo, que antes da abertura das portas, os ensaios 03 e 04 têm uma taxa de elevação de temperatura mais acentuada em comparação com os ensaios 01 e 02.

As temperaturas antes da abertura da porta tendem a um patamar (indicando uma situação estável) entre 400°C e 600°C, situação que demonstra o controle pela ventilação. Após a

abertura das portas da direita sobrepostas (Portas 03 e 04 – Figura 3.1), as temperaturas sobem bruscamente, indicando que a ventilação proporciona o pleno desenvolvimento do incêndio. Observa-se que as temperaturas ultrapassam rapidamente os 750°C indicando a inflamação generalizada (aos 600°C tem-se a inflamação generalizada, conforme Caldas, 2008). A partir deste instante, o incêndio é controlado pela oferta de materiais combustíveis, salvo a influência da intervenção dos bombeiros.

Quanto ao tempo efetivo de aplicação das intervenções (chamado também de tempo de decaimento neste trabalho), avaliado a partir do tempo de abertura das portas até o tempo no qual a temperatura do TMP 13 decai até 200°C (valor adotado para representar o término da atividade de combate antes do rescaldo), o ensaio 01 apresentou aproximadamente 11 minutos de combate, enquanto os ensaios 02 a 04 exibiram um tempo de aproximadamente 8,5 minutos, ou seja, uma diferença de 2,5 minutos.

Na Figura 3.36, referente à medição do TMP 13 (seção 05 – Figura 3.6), percebe-se que não houve uma diferença considerável na temperatura máxima dos ensaios, em torno de 50°C entre os ensaios 02 a 07. O ensaio 01 apresentou a menor temperatura, 777°C, uma diferença de 106°C quando comparado ao ensaio 07, que atingiu a maior temperatura de 883°C. É válido salientar que o TMP 13 do ensaio 07 levou, após o momento de abertura das portas, 6,5 minutos para voltar a 200°C, considerando a aplicação das intervenções no combate.

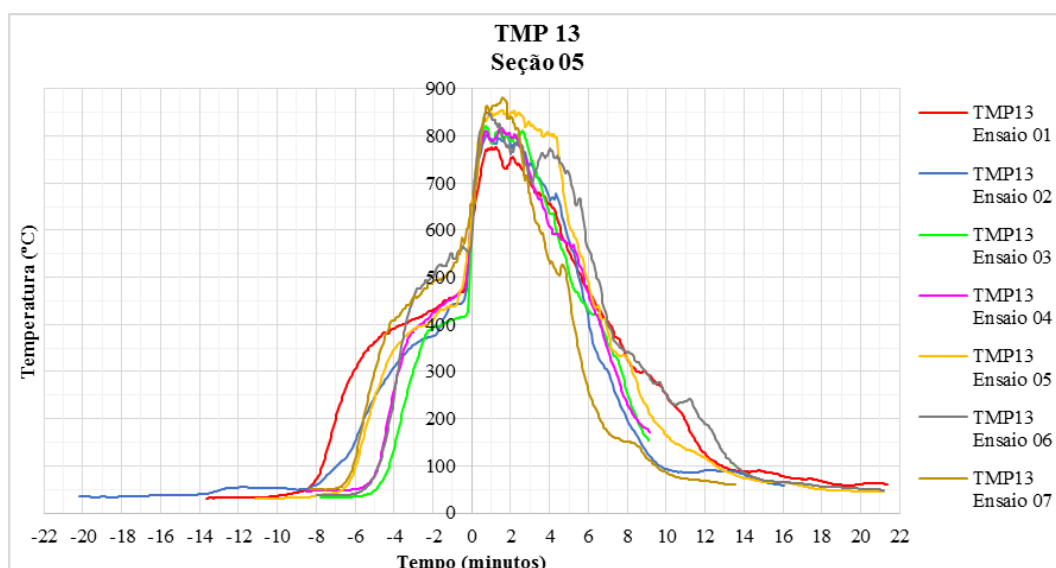


Figura 3.36: TMP 13, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 05, 06, 07.

A maior temperatura próxima do foco do incêndio pode ser justificada pela influência do ataque mais vigoroso na dinâmica do incêndio, todavia, essa influência é pequena frente aos demais ensaios. Interessante notar que esse ataque promovido pelos bombeiros, leva em conta a percepção da temperatura na seção em que se encontram, dessa forma, na seção 02 (Figura 3.6), para o ensaio 07, essa percepção e a busca em debelar o incêndio o mais rapidamente, influenciou significativamente nas temperaturas, promovendo esse rápido avanço em relação ao foco (Figura 3.35). Na seção 05 (Figura 3.6) os efeitos da forma de intervenção não são tão perceptíveis ao se analisar o decaimento das temperaturas, tanto quanto na seção 02. Nesse caso, a maior percepção é pronunciada no ensaio 07 (Figura 3.36).

De forma geral, o crescimento mais lento ou mais rápido está associado, principalmente, ao pré-aquecimento do compartimento. As temperaturas máximas atingidas nas seções ocupadas pelos combatentes (seção 02) estão associadas a taxa de dispersão durante o combate, por exemplo, o ensaio 06 com pulsos mais longos imprime uma taxa maior que os anteriores, assim como o ensaio 07 que busca simular um combate real e, portanto, resultaram em menores temperatura máximas.

Quanto ao tempo efetivo de execução das intervenções, avaliado a partir da abertura das portas até o decaimento da temperatura ao patamar de 200°C no TMP 13, os ensaios que simularam um treinamento normal (ensaios 01 a 04) tiveram tempos de execução de combate entre 8 e 11 minutos, enquanto o ensaio 07, que simulou combate real, teve 6,5 minutos.

Conclui-se que, durante os treinamentos (ensaios 01 a 04) os profissionais podem estar sendo submetidos a um tempo maior do que ao necessário para combater, de fato, o incêndio, confirmado pelo combate real (ensaio 07). Embora envolva maior desgaste físico, a prática adotada pelo treinamento normal é bem vista, já que existem incêndios mais grandiosos e com maior tempo de duração, que dispendem de maiores particularidades físicas e desgaste profissional. Além disso, comprova-se que as técnicas dos ensaios 05 e 06 não foram tão eficazes, uma vez que prolongaram as temperaturas no trecho de queima generalizada, delongando-se para o decaimento, como resultado, a tardia extinção do fogo, não sendo considerado benéfico também à integridade física dos combatentes.

Por fim, quanto ao aspecto de dispersão de água, de acordo com a premissa de maior economia de água durante os combates, os ensaios de treinamento normal (ensaios 01 a 04) se mostraram mais certos, consumindo em média, por treinamento, o equivalente a 23,3 litros de água, enquanto, o ensaio 05 consumiu 68,4 litros, o ensaio 06 e 07 consumiram

111,28 litros e 70,9 litros, respectivamente. Nos ensaios 01 a 06 não há preocupação em se debelar o incêndio rapidamente como em uma situação real e, dessa forma, além da influência da taxa de dispersão, tem-se a diferença de duração do combate.

Na Figura 3.37 pertinente ao TMP 04 na seção 02, quando analisadas comparativamente as máximas temperaturas dos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) com as máximas temperaturas coletadas no treinamento sem intervenção (ensaios 08 a 10), observa-se que houve uma diminuição de temperatura de aproximadamente 100°C, entre os ensaios 04 e 09. Quando comparado o ensaio 04 aos ensaios 08 e 10, a diferença de temperatura foi de apenas 35°C. Contudo, comparativamente, no ensaio 08 sem intervenção e no ensaio 04 com intervenção, a maior diferença significativa está no tempo de duração do ensaio, indicando que os treinamentos normais impactaram nas temperaturas máximas atingidas (*flashover*), ou seja, não promoveram um resfriamento efetivo do local ocupado pelos combatentes e apenas influencia na duração do ensaio, exceto quando comparado os ensaios 08 a 10 ao ensaio 01, que não havia sido pré-aquecido por outros ensaios (primeiro ensaio do dia), atingindo a temperatura máxima de 521°C, uma diferença de 179°C para o ensaio 09.

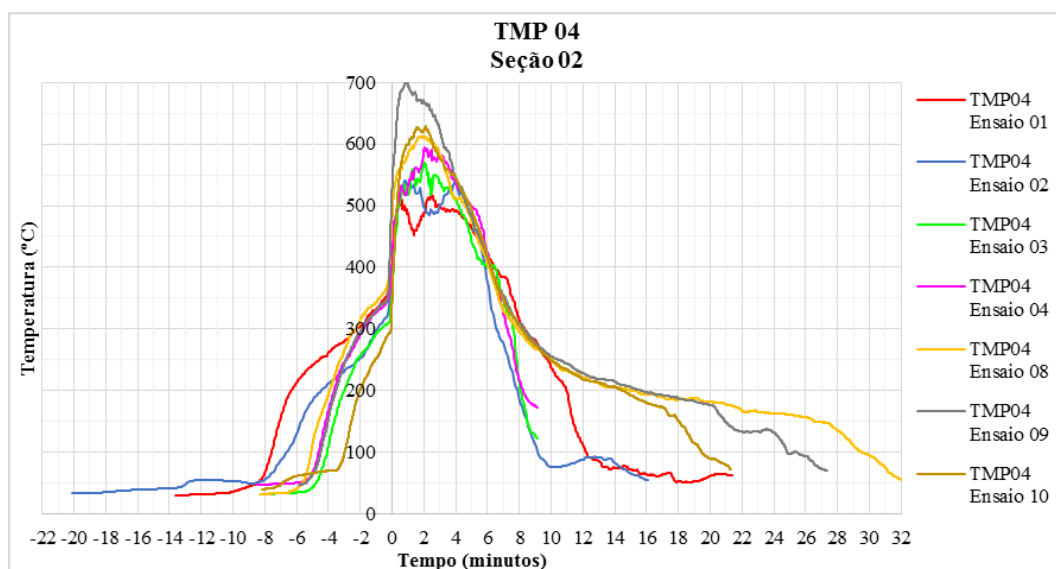


Figura 3.37: TMP 04, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 08, 09, 10.

Na Figura 3.38 referente à seção 05, TMP 13, não foram indicadas diferenças consideráveis nas temperaturas máximas. O termopar TMP 13 do ensaio 09 apresentou erro e, por isso, não foi apresentado.

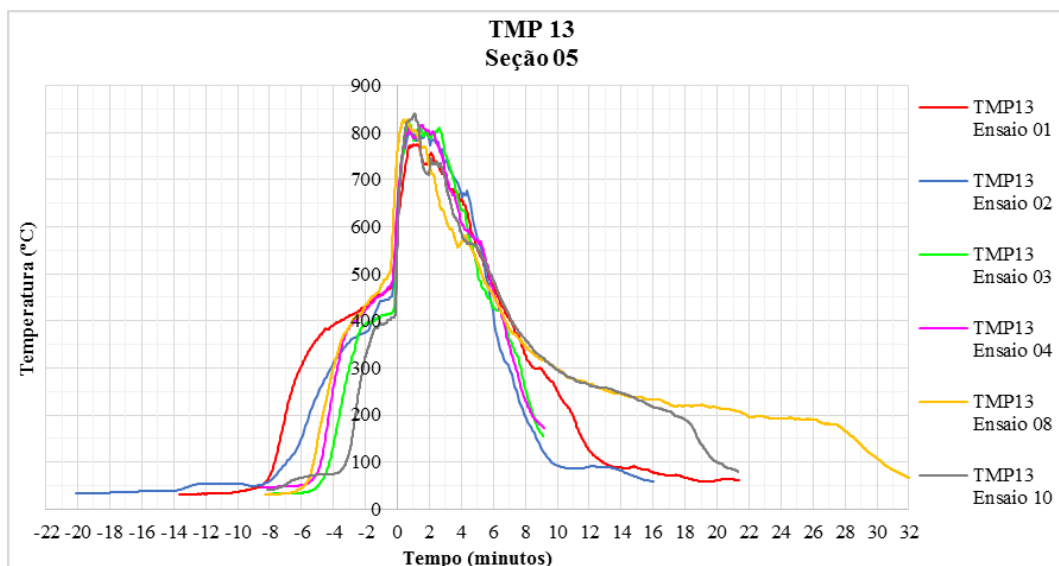


Figura 3.38: TMP 13, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03, 04 e 08, 09, 10.

Após a abertura das portas, o crescimento repentino de temperatura (*flashover*) foi relativamente proporcional quando comparados os termopares das Seções 02 e 05 (Figura 3.6).

Quanto aos diferentes tempos de decaimento nas curvas de temperatura – momento de abertura das portas até o decaimento da temperatura ao patamar de 200°C, para o TMP 13, é notório que, nos ensaios que simularam um treinamento normal (ensaios 01 a 04) esse episódio aconteceu de maneira bem parecida quando comparado aos ensaios sem intervenção (ensaios 08 a 10). No entanto, o tempo de decaimento no ensaio 10, sem intervenção, foi de 17,5 minutos, enquanto o mesmo termopar, nos ensaios de treinamento normal (ensaios 01 a 04) apontou um tempo médio de combate de aproximadamente 9 minutos. Por intermédio das análises entre esses ensaios é possível afirmar que o tempo de diminuição seguido para a extinção do fogo, fruto da intervenção pelos jatos d' água, é, de fato, muito condizente com a proposta, uma vez que apresentou uma apreciável diferença de aproximadamente 8,5 minutos. Contudo, nos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) os profissionais são confrontados a temperaturas bem próximas as de um incêndio sem intervenção (ensaios 08 a 10), e conseguem debelar o foco de forma eficiente.

Na Figura 3.39 referente ao TMP 04 na seção 02, quando analisadas comparativamente as máximas temperaturas dos treinamentos sem intervenção (ensaios 08 a 10) com as máximas temperaturas coletadas no treinamento com intervenção de dois pulsos (ensaio 05), nota-se que há uma diminuição de temperatura de aproximadamente 100°C, enquanto a aplicação de pulsos mais longos – 1,5 segundos (ensaio 06) apresentou variação de 140°C e, o treinamento conforme combate a incêndio real (ensaio 07) apresentou diferença de 114°C.



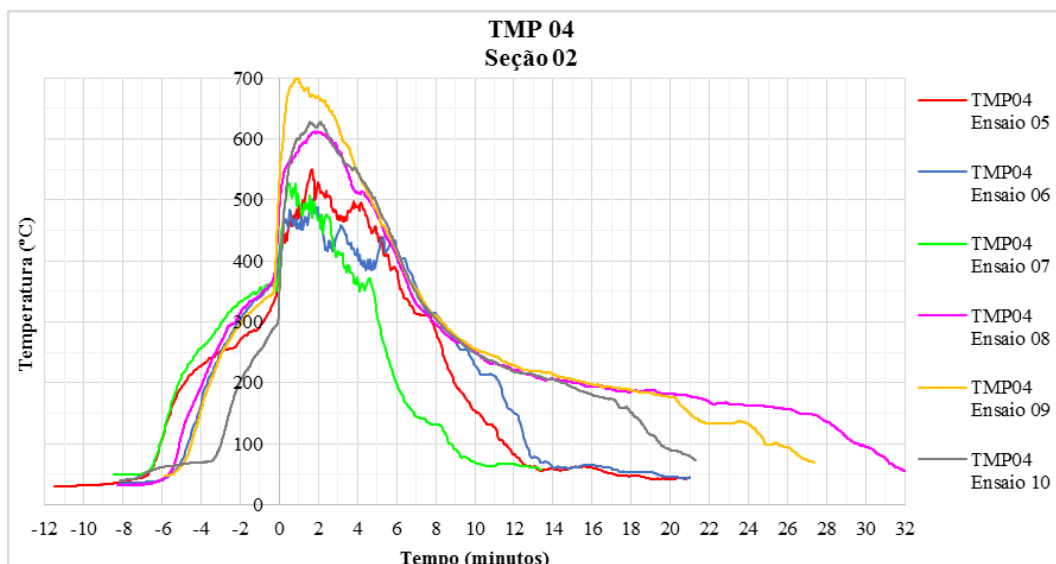


Figura 3.39: TMP 04, seção 02 – Ensaio 05, 06, 07 e 08, 09, 10.

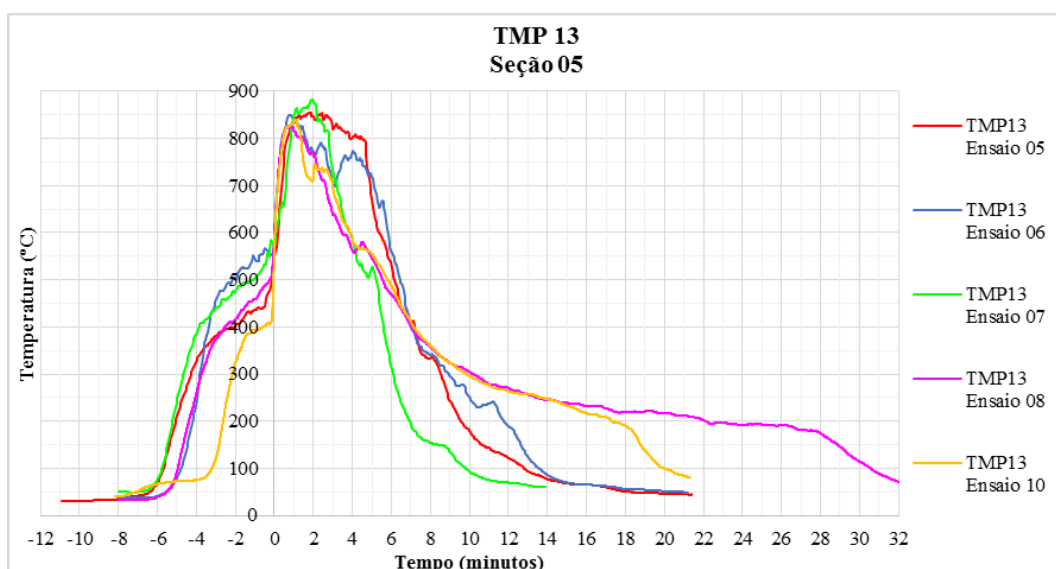


Figura 3.40: TMP 13, seção 05 – Ensaio 05, 06, 07 e 08, 09, 10.

Na Figura 3.40, correspondente ao TMP 13 da seção 05, nota-se uma diferença não muito significativa nas variações dos picos de temperaturas. Como outrora mencionado, as fases da dinâmica do incêndio estão estritamente ligadas ao pré-aquecimento do ambiente, à oferta de comburente e quantidade de material combustível disponível para a queima. Após a abertura das portas, o crescimento abrupto de temperatura (*flashover*) foi comparativamente proporcional quando correlacionados os termopares das Seções 02 e 05 (Figura 3.6).

Quanto aos diferentes níveis de decaimento tem-se que, nos ensaios 05 e 06, esse episódio aconteceu de maneira bem parecida, mas, com uma rápida extinção do fogo quando comparado aos ensaios sem intervenção. No entanto, o ensaio 07 se apresentou de maneira mais diferenciada, com redução significativa nas temperaturas após o pico máximo e, por conseguinte, uma ágil extinção do fogo. A maior diferença está no tempo de duração das

intervenções realizadas nos ensaios. As intervenções realizadas após a abertura das portas no ensaio 05, tiveram duração de 9,5 minutos, nos ensaios 06 e 07 tiveram duração de 12 e 6,5 minutos, respectivamente. Enquanto, os ensaios sem intervenção tiveram um tempo médio de decaimento após a abertura das portas de 19,6 minutos até o patamar de 200°C. Comparativamente, o ensaio 07, simulando combate real (intervalo de 6,5 min entre a abertura de portas e o patamar de 200°C), apontou uma redução significativa de aproximadamente 15,5 minutos quando comparado ao ensaio 08, sem intervenção (intervalo de 22 minutos entre a abertura de portas e o patamar de 200°C). Afirma-se que os tempos de decaimento para extinção do fogo se mostraram, dentro de cada proposta, consideráveis e com diferenças plausíveis. E, de maneira geral, conclui-se que em proximidade a seção 02 (posição ocupada pelos combatentes) as temperaturas, conforme a Figura 3.40, são bem reduzidas quando aplicados qualquer uma das técnicas de combate aqui apresentadas (ensaios 05 a 07), bem como a duração de tempo para extinção do fogo que diminuiu drasticamente, em comparação aos ensaios sem intervenção.

Estão associadas na Tabela 3.41 as máximas temperaturas coletadas por todos os termopares em todos os ensaios.

Figura 3.41: Temperaturas máximas atingidas em todos os ensaios.

| Ensaio     |     |                    |     |     |     |      |             |             |              |                 |     |     |      |  |
|------------|-----|--------------------|-----|-----|-----|------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-----|-----|------|--|
| Altura (m) | TMP | Treinamento Normal |     |     |     |      | Dois Pulsos | Pulso Longo | Combate Real | Sem Intervenção |     |     |      |  |
|            |     | Temperatura (°C)   |     |     |     |      |             |             |              |                 |     |     |      |  |
|            |     | 01                 | 02  | 03  | 04  | Máx. | 05          | 06          | 07           | 08              | 09  | 10  | Máx. |  |
| 2,15       | 01  | 477                | 490 | 517 | 521 | 521  | 494         | 452         | 458          | 565             | 637 | 577 | 637  |  |
|            | 04  | 521                | 545 | 571 | 595 | 595  | 549         | 504         | 532          | 612             | 700 | 628 | 700  |  |
|            | 07  | 582                | 631 | 661 | 661 | 661  | 631         | 623         | 631          | 681             | 775 | 716 | 775  |  |
|            | 10  | 713                | 788 | 760 | 770 | 788  | 773         | 767         | 791          | 778             | 792 | 792 | 792  |  |
|            | 13  | 777                | 805 | 822 | 816 | 822  | 855         | 850         | 883          | 827             | 648 | 840 | 840  |  |
| 1,47       | 02  | 274                | 291 | 262 | 299 | 299  | 277         | 282         | 275          | 325             | 413 | 286 | 413  |  |
|            | 05  | 265                | 286 | 266 | 316 | 316  | E           | 270         | 265          | 344             | 449 | 304 | 449  |  |
|            | 08  | 257                | 288 | 292 | 327 | 327  | 312         | 282         | 280          | 331             | 423 | 313 | 423  |  |
|            | 11  | 297                | 375 | 345 | 390 | 390  | 371         | 400         | 357          | 419             | 573 | 325 | 573  |  |
|            | 14  | 439                | 467 | 475 | 500 | 500  | 489         | 547         | 556          | 528             | 570 | E   | 570  |  |
| 0,80       | 03  | 164                | 153 | 141 | 169 | 169  | 152         | 174         | 177          | 164             | 170 | 139 | 170  |  |
|            | 06  | 154                | 142 | 123 | 158 | 158  | 147         | 171         | 184          | 168             | 221 | 180 | 221  |  |
|            | 09  | 137                | 120 | 120 | 178 | 178  | 142         | 161         | 180          | 177             | 209 | 187 | 209  |  |
|            | 12  | 172                | 159 | 176 | 227 | 227  | 186         | 200         | 195          | 245             | 312 | 255 | 312  |  |
|            | 15  | 275                | 273 | 271 | 325 | 325  | 327         | 262         | 342          | 359             | 367 | 327 | 367  |  |

\*Foram desconsiderados os termopares que apresentaram erro (E) durante os ensaios.

Quanto às temperaturas corporais registradas durante os ensaios 05 a 07, Item 3.3.2 deste Capítulo, tem-se que as temperaturas aferidas nos rostos dos profissionais se mantiveram

próximas dos valores de 38°C, atingindo 58°C quando o profissional efetuava o rescaldo. No ombro as temperaturas chegaram a 40°C, e a 130°C na parte externa da máscara de proteção. Esses valores de temperatura a que os profissionais foram expostos, de acordo com a Tabela 2.10, do autor Lawson (2009), confirma a presença de lesões físicas, como as queimaduras de pele de 1º e até 2º grau, episódios que foram comprovados durante os ensaios experimentais.

A título de comparação tem-se que, na literatura CBMDF (2009) o profissional atuante a 3,0 m de distância da área de queima apresentou temperaturas de 50°C na região do pescoço e do joelho durante um primeiro ensaio, 42°C no ombro e aproximadamente 150°C no capacete quando comparados um segundo e um terceiro ensaio. As temperaturas, dentro do compartimento a 2,0 m de altura, alcançaram picos próximos de 900°C, e a 1,5m cerca de 700°C. Os autores da referida pesquisa não explanam a que distância da área de queima foram conectados os sensores termopares no compartimento e nem tão pouco qual o tipo de combate foi empregado, mas, supondo que eles tenham sido posicionados no mesmo local onde estavam os profissionais combatentes, a 3,0 m de distância da respectiva área, esses picos de temperaturas podem ser comparados com os resultados experimentais dos termopares (TMP 13 – 2,15 m e TMP 14 – 1,47 m) da seção 05. Quando comparativamente analisados os valores da literatura aos ensaios experimentais realizados neste trabalho, o resultado mais próximo foi obtido a partir do treinamento que simulou a prática de um combate a incêndio real (ensaio 07), com uma diferença de 20°C para o termopar (TMP 13) posicionado a 2,15 m de altura e, aproximadamente 150°C para o termopar (TMP 14) conectado a 1,5 m. Para os treinamentos normais (ensaios 01 a 04) têm-se uma diferença de 100°C para o termopar mais alto (TMP 13) e, aproximadamente 200°C para o termopar em altura mediana (TMP 14). Dentro desse preceito de comparação, essas diferenças podem estar relacionadas a diversos fatores, como: quantidade e tipo de material combustível, quantidade e modo de realização do combate, fatores climáticos, dentre outros tantos aspectos carecidos para uma análise mais precisa e, que não foram fornecidos por tal literatura.

Os autores Braga *et al.* (2016) constataram que a 4,0m da área de queima as temperaturas em uma altura de 2,3 m chegaram a 800°C, e que as diferenças na altura do ombro de um profissional agachado (0,9 m) e em pé (1,5 m) atingiram 550°C. As medidas de temperatura no ombro foram próximas de 160°C, enquanto na perna e peito ao lado externo da roupa de proteção chegaram a 200°C. Na máscara de proteção, lado interno, registrou-se a temperatura

de 120°C, e em seu lado externo, 160°C. A pesquisa desses autores pode ser perfeitamente comparada ao termopar (TMP 10 –2,15 m) da seção 04, tendo em vista que os sensores foram conectados na mesma distância da área de queima e, em altura bem aproximada. Quando realizada a comparação dessa literatura, onde a máxima temperatura coletada foi de 800°C, aos ensaios experimentais deste trabalho tem-se que, os valores máximos de temperatura dos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) se apresentaram muita proximidade, apontando como sua maior aferição de temperatura, 790°C no termopar (TMP 10) no ensaio 02, seguidos dos termopares de mesma altura, dos demais ensaios (ensaios 01, 03, 04), que marcaram temperaturas entre 710°C e 770°C. No ensaio que simulou um combate real (ensaio 07), a maior temperatura foi de 790°C, seguidos dos ensaios 05 (dois pulsos) e 06 (pulsos mais longos – 1,5 segundos), que marcaram temperaturas próximas ao teto de 770°C, contudo, também se comportaram de forma coerente.

Em análise comparativa às temperaturas corporais é possível concluir que, considerando a posição a que cada um dos profissionais se manteve durante combate, os valores vindos desta pesquisa foram iguais ou muito próximos aos das literaturas anteriormente citadas. No ombro, por exemplo, de acordo com este trabalho e o de Braga *et al.* (2016) foram apontadas temperaturas próximas de 40°C e, a literatura do CBMDF (2009) registra uma diferença de apenas de 2°C. Já ao lado externo da máscara de proteção, neste trabalho foram registradas temperaturas próximas a 130°C, Braga *et al.* (2016) apresentou 160°C e, a literatura CBMDF (2009) registrou 150°C ao lado externo do capacete.

Convém destacar aqui o quão altas são as temperaturas a que os profissionais ficam expostos, com riscos inclusive a queimaduras de 2º grau (temperaturas superiores a 55°C), além de desidratação e exaustão, a ponto até de uma grave hipertermia. Daí a importância constante no monitoramento da temperatura e do fluxo de calor a níveis consideráveis. Os resultados alcançados apresentam de forma clara e objetiva as condições a que os profissionais estão submetidos, salientando a importância de o combate ser feito sempre pelo profissional agachado.

Sucintamente, de modo geral, os valores resultantes das análises experimentais foram condizentes quando comparados aos dados mencionados em todas as literaturas consideradas como referências.

# 4

## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO

### 4.1 Definição

Os modelos de simulação computacional são largamente utilizados no estudo da dinâmica de incêndios, pois, por intermédio destas ferramentas, é possível analisar de forma precisa e próxima da realidade o comportamento dos incêndios sem de fato entrar em contato com a periculosidade de reais situações. Essas simulações fornecem uma gama de dados, com uma variada possibilidade de hipóteses, como cenários e causas. Logo, permite considerar pontos importantes na elaboração de projetos e comprovar a eficácia da escolha dos materiais, da distribuição dos espaços e adotar medidas alternativas a cada tipo de ambiente. Com esse embasamento, essas simulações resultam em um conjunto de complexas equações matemáticas os fenômenos químicos e físicos que ocorrem em um ambiente sinistrado, por meio de inúmeras iterações, pode-se até antever um provável acontecimento e suas consequências.

### 4.2 Os Modelos de Simulações Computacionais

Em geral, existem várias modelagens computacionais utilizadas para simulação de incêndios. O modelo da ferramenta de análise e as equações adotadas dependerão do campo de atuação, tais como: modelos térmicos em situação de incêndio, modelo de análise de evacuação de pessoas, modelos de análise da resistência de estruturas sob ação do fogo, modelos de análise da fumaça, dentre outros.

Esses modelos podem, por sua vez, ser classificados como modelos probabilísticos, não fazem uso direto dos princípios físicos e químicos envolvidos nos incêndios, mas sim, com previsões estatísticas sobre as fases do crescimento do fogo, baseadas em análises de dados experimentais e de incêndios reais pertinentes; e modelos determinísticos, que utilizam indicadores sobre a natureza do incêndio e são divididos em três categorias: os modelos

CFD, modelos de zona e modelos de cálculos manuais (Quintiere, 2000). Decorrente do uso do *software Fire Dynamics Simulator – FDS* neste trabalho, que adota o caso CFD, são apresentadas aqui, apenas descrições referentes a ele.

#### 4.2.1 Dinâmica Computacional de Fluidos (CFD)

Atualmente, os modelos mais usados são baseados em dinâmica computacional de fluidos, internacionalmente conhecida como *Computational Fluid Dynamics* (CFD), um dos ramos da mecânica dos fluidos que emprega métodos numéricos e algoritmos para solucionar e analisar problemas característicos à dinâmica dos fluidos, termodinâmica e pertence ao modelo designado “*field model*” de modelamento de incêndio. Os computadores efetuam os milhões de cálculos requeridos para simular a interação de gases e fluidos numa complexa interface associada à engenharia.

As equações de *Navier-Stokes* são a base para qualquer problema em CFD. Elas descrevem o movimento de substâncias fluidas como gases e líquidos e têm função de estabelecer que as mudanças no momento e aceleração de uma partícula fluida são apenas o produto das mudanças na pressão e forças viscosas dissipativas (similar à fricção) atuando dentro do fluido. O ponto inicial da modelagem é o sistema de equações diferenciais que expõem o balanço entre as influências, abordando a conservação de massa<sup>8</sup>, conservação de momento<sup>9</sup> e conservação de energia<sup>10</sup> do fluido (líquido ou gás) contidas no incêndio e ao longo do ambiente em que esse acontece (MCGrattan *et al.*, 2015).

Essas equações são solucionadas em um domínio geométrico dividido em pequenas células que, em conjunto, são nomeados de malha, ou grade.

---

<sup>8</sup>Conservação de massas: Numa reação química processada num sistema fechado a massa permanece constante, de forma que a soma das massas dos reagentes seja igual à soma das massas dos produtos. A redução na massa de um combustível resulta na liberação de energia na forma de luz e calor. Esse princípio permite que sejam calculadas as taxas de liberação de calor, a partir de instrumentos que determinam a perda de massa e ganho de temperatura quando um combustível é queimado.

<sup>9</sup>Conservação do momento (Segunda Lei de Newton): Para um diferente volume de controle de um sistema de fluido, essa lei estabelece que a soma de todas as forças externas ao volume de controle (ou ao sistema), sejam iguais à taxa de variação da quantidade de momento linear desse volume (ou sistema).

<sup>10</sup>Conservação de energia: A temperatura, em um sistema de fluido, necessária para determinar o coeficiente de transferência de calor, é obtida pela aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica em um volume de controle.

A complexidade do modelamento de conflagrações em CFD é percebida, se analisados todos os parâmetros englobados em uma compartimentação perante esta situação, uma vez que não há ferramentas de CFD que contemplem todos os processos desse modelo de incêndio. No entanto, existe um grande número de diferentes aproximações para os sub-modelos do incêndio e que carecem de ser consideradas. Os dados de entrada, em geral introduzidos, são a geometria, os materiais e as aberturas do compartimento, bem como as especificações dos mobiliários e a taxa de liberação de calor. Resultam, principalmente, no tempo preciso até o *flashover*, na temperatura e espessura da camada de fumaça do local sinistrado.

O uso destes *softwares* demanda um vasto conhecimento dos processos físicos e químicos do fogo, como também de métodos numéricos e computacionais, além de um longo período para realizar as análises, um custo considerável de equipamentos compatíveis para executá-los e extrair resultados pertinentes. Nos dias atuais, essa metodologia é muito viável, principalmente no que diz respeito as geometrias complexas, e pode ser o único modo de se processar e analisar certos cenários de incêndio.

### **4.3 Os Softwares**

A seguir são apresentadas as funcionalidades e principais características dos *softwares* que instruíram a simulação deste trabalho, *Fire Dynamics Simulator* – FDS, juntamente ao *Smokeview*, e *Pyrosim*.

#### **4.3.1 Fire Dynamics Simulator (FDS)**

O *Fire Dynamic Simulator* – FDS, em português, “Simulador de Dinâmica do Incêndio”, é um *software* computacional baseado no modelo de dinâmica dos fluidos (CFD), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) que soluciona numericamente as equações de *Navier-Stokes* para baixa velocidade e fluxo termicamente dirigido, com ênfase na fumaça, tal como no transporte de calor decorrente de incêndios (McGrattan *et al.*, 2015).

O programa vem se consolidando como uma importante ferramenta na simulação de incêndios residenciais e industriais, propiciando a manipulação de projetos de sistemas de controle de fumaça e estudos de chuveiros automáticos, por exemplo. O FDS foi concebido

com intuito de resolver casos práticos de proteção contra incêndios, ao mesmo tempo, é considerado uma importante ferramenta para análise da dinâmica do incêndio.

O FDS lê os parâmetros de entrada a partir de um arquivo de texto, calcula uma solução numérica das equações e grava os dados de saída especificados pelo usuário. O arquivo de entrada de dados do FDS inclui os parâmetros organizados em listas nomeadas e fornece as informações necessárias para descrever o real cenário estipulado. Durante o manuseio do programa, em uma simulação, uma parte considerada trabalhosa está na especificação da geometria do espaço a ser modelado e na aplicação das condições de contorno para as superfícies sólidas. A geometria é descrita em termos de obstruções retangulares que podem: aquecer, queimar, ou conduzir calor; nas aberturas, o ar ou o combustível pode ser injetado ou extraído. A condição de contorno deve ser atribuída a cada obstrução; o incêndio é apenas um tipo de condição de contorno (Meira, 2017).

De acordo com Meira (2017), combustíveis líquidos e materiais sólidos podem ser modelados; entretanto é necessário que se especifiquem as propriedades mais relevantes através do parâmetro MATL. Mas, se desejar apenas especificar uma taxa de calor liberado, não é necessário incluir as propriedades do material. Um incêndio especificado é basicamente modelado como a injeção de combustível gasoso a partir de uma superfície sólida ou ventilação. Este é essencialmente um queimador, com uma taxa de liberação de calor por unidade de área especificada, HRRPUA, em unidades de  $\text{kW/m}^2$ . Uma possibilidade para o parâmetro HRRPUA com a mesma funcionalidade é o MALPUA, que determina a Taxa de Perda de Massa do gás combustível por unidade de área em  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ . O sistema de ventilação dos compartimentos individuais dentro de um edifício é conceituado ao se especificar uma velocidade para as condições de contorno. Por exemplo, o ar fresco externo pode ser conduzido para dentro do compartimento, e a fumaça pode ser retirada, estabelecendo uma velocidade na direção normal a uma superfície sólida. Existem ocasiões em que a definição de um fluxo fixo e condições fixas de contorno são insuficientes para modelar o comportamento de um sistema HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). Se a eficiência de transporte de produtos de calor e de combustão ou a depressurização por meio de uma rede de canais é importante, pode-se fazer uso de um solucionador de rede HVAC acoplado. O solucionador calcula os fluxos por intermédio de uma rede de canais descritos como segmentos de canais e nós, que se liga ao domínio computacional FDS.



Medidores de fluxo de calor, detectores de fumaça, chuveiros automáticos e os termopares são dispositivos que operam de maneiras específicas, e dependem das propriedades atribuídas a eles. Eles podem ser utilizados para registrar características do ambiente simulado, como um termopar ou um detector de fumaça, ou podem marcar o tempo em que os eventos acontecem, como um temporizador. O programa FDS possui vários tipos de arquivos de saída que gravam os dados computados. Alguns dos arquivos destinam-se a serem lidos e renderizados pelo Smokeview, visto que estão em formato binário e outros são arquivos de texto apenas delimitados por vírgulas. É importante observar que a maioria dos dados de saída do FDS deve ser apresentada explicitamente no arquivo de entrada (McGrattan *et al.*, 2015).

#### 4.3.1.1 Tamanho das Células no FDS

O autor Overholt (2017) elaborou por meio de um site, uma ferramenta de cálculo do tamanho das células para o FDS, produzindo automaticamente uma divisão de malhas ideais a partir dos dados de entrada especificados pelo usuário. Os tamanhos de células são especificados com a utilização de um diâmetro característico do fogo relacionado intimamente à taxa de calor liberado (TCL).

O tamanho da malha ( $dx$ ) de uma simulação está relacionado ao diâmetro do fogo ( $D^*$ ), dado por uma planilha após a inserção das dimensões do compartimento e da taxa de calor liberado. Quanto menor o diâmetro do fogo menor o tamanho da célula. O diâmetro do fogo é dado pela relação exposta na Equação 4.1:

$$D^* = \left( \frac{Q}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad 4.1$$

Onde:

$Q$  - taxa de calor liberado - TCL (kW);

$\rho_{\infty}$  - densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ ), normalmente igual a 1,204;

$c_p$  - calor específico ( $\text{kJ/kg.K}$ ), normalmente igual a 1,005;

$T_{\infty}$  - temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{K}$ ), normalmente igual a 293;

$g$  - gravidade ( $\text{m/s}^2$ ), normalmente igual a 9,81.

Considerando os valores geralmente utilizados, tem-se a Expressão 4.2:

$$D^* = \left( \frac{Q}{1110,44} \right)^{\frac{2}{5}} \quad 4.2$$

As dimensões das malhas devem estar entre  $D^*/4$  (malha grossa) e  $D^*/16$  (malha fina), sendo o valor  $D^*/10$  (considerado moderado) para que os resultados do FDS sejam pertinentes.

#### 4.3.1.2 *Smokeview*

O *Smokeview - Fire Dynamics Simulator User's Guide* (Forney, 2013), é um *software* livre desenvolvido pelo NIST, com uma interface baseada em menus simples, destinado à visualização tridimensional dos dados obtidos na simulação do FDS. O programa permite que se visualizem ambientes, materiais, gráficos de temperatura, dentre outros.

Segundo Forney (2013), o *Smokeview* permite visualizar tanto o fogo quanto a fumaça através de desenhos triangulares em planos paralelos espaçados igualmente. A cor dada a estes triângulos é atribuída através de um mapa de cores, baseando-se na taxa de liberação de calor por unidade de volume (HRRPUV).

#### 4.3.2 *PyroSim*

O FDS não tem uma interface de fácil de manuseio, mas outros programas como o *PyroSim* foram desenvolvidos para modelar e gerar o arquivo de texto que fornece os parâmetros de entrada de dados necessários.

O *software PyroSim (Thunderhead Engeneering, 2018)*, possui uma interface gráfica simples, mas de alto nível para modelagem 2D e 3D para simulação de complexos ambientes em situação de incêndio. Nele é possível inserir a geometria do ambiente, os materiais e suas propriedades, e o início do incêndio entre outras inúmeras possibilidades. Com o *Pyrosim* é possível importar projetos do AutoCAD e editá-los dentro do próprio programa, facilitando assim o uso do FDS. Um modelo criado no FDS também pode ser importado para o *PyroSim* e todas as informações do modelo são incluídas na importação e disponíveis para edição e visualização.

## 4.4 Geração do Cenário

Para modelagem do cenário utilizando os *softwares Fire Dynamics Simulator – FDS* versão 6.7.0 (McGrattan *et al.*, 2015) e *PyroSim* (Thunderhead Engineering, 2018), versão 2018.3.1210, fez-se necessário reproduzir a geometria do container a partir de uma malha tridimensional, além de inserir as definições e propriedades do ambiente, bem como da carga de incêndio.

A reprodução da geometria foi concebida através do sistema de coordenadas em três eixos constituída de 56 x 9 x 18 células, totalizando de 9.072 células, com dimensões de 0,25 m x 0,26 m x 0,26 m, sendo o metro a unidade de medida empregada pelos *softwares*. Sabe-se que ao usar malhas com alta resolução constituídas de um grande número de células maior é o refinamento de dados, mas este fato ocasiona um aumento no tempo das simulações computacionais. Em razão dessa observação, é essencial especificar tamanhos de células que possibilitem uma razoável precisão, além de considerar as limitações computacionais.

Tendo em vista a complexidade geométrica do container, devido às ondulações da chapa do aço, realizou-se a média entre suas dimensões internas e externas, conforme os dados expressos na Tabela 3.1, do Capítulo 3 deste trabalho. A partir disso, a volumetria no *software* foi concebida com 12,11 m de comprimento na direção do eixo X, 2,34 m de largura na direção do eixo Y, e 2,70 m de altura na direção do eixo Z. A geometria gerada para simulação computacional do incêndio é mostrada na Figura 4.1.

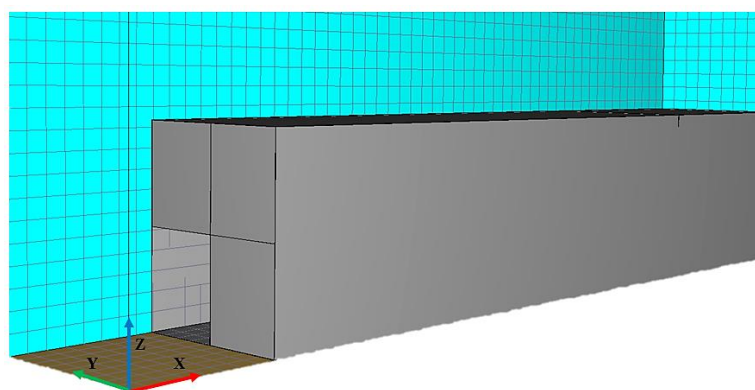


Figura 4.1: Modelo computacional do container.

Como outrora citado, a abertura frontal padrão do container de 2,34 m x 2,70 m foi remodelada em quatro portas de 1,17 m x 1,35 m. As portas laterais foram desprezadas durante a simulação computacional, uma vez que durante a análise experimental elas são mantidas constantemente fechadas, e não tem funcionalidade específica, como por exemplo, de ventilação. Para análise do fluxo da fumaça e propagação do fogo fora do modelo, optou-

se por prolongar a malha 2,0 m além da face com aberturas, e acima do teto do container. Além disso, para que haja comunicação com o meio externo e interno do domínio, e conseqüentemente, alimentação do incêndio com oxigênio, foram criadas superfícies abertas (*Open Vents*) nos extremos mínimos e máximos dos eixos X e Y, e no extremo máximo do eixo Z.

Utilizando a planilha de Overholt (2017), considerando  $D^*$  (diâmetro do fogo) igual a 1,186 a maior dimensão da célula adotada neste trabalho (0,24 m) está classificada próxima da malha grossa, ou seja,  $D^*/5$ , como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Cálculo do tamanho das células

| <b>Carga de Incêndio</b><br>TCL: 1700,0 kW         |                                      |                            |
|--|--------------------------------------|----------------------------|
| $D^* = 1,186$                                      | Tamanho da célula<br>Overholt (2017) | Número total<br>de células |
| D*/4 (malha grossa)                                | 0,2965                               | 6.144                      |
| D*/10 (malha moderada)                             | 0,1186                               | 96.000                     |
| D*/16 (malha fina)                                 | 0,0741                               | 391.168                    |
| Maior dimensão da célula<br>adotada nesse trabalho | 0,24 ( $D^*/5$ )                     | 11.800                     |

Como mencionado no Item 4.3.1.1 deste Capítulo, o tamanho e a quantidade de células são os parâmetros mais relevantes no que concerne ao refinamento de cálculo.

## 4.5 Entrada de Dados

Os critérios empregados no modelo computacional tiveram como intuito reproduzir da forma mais realística os ensaios experimentais, de modo que fosse possível comparar os resultados obtidos. Os parâmetros foram baseados em cronologia do sinistro, geometria e especificações do compartimento, tal como, condições ambientais, como segue abaixo:

- Ocorrência do incêndio: semelhante ao incêndio real disposto durante simulação experimental. Tempo de duração com intervalo de 2400 segundos (40 min). Valores médios de temperatura ambiente de 25°C e umidade relativa do ar de 60%.
- Início do incêndio: a ignição é realizada a partir de um foco de incêndio inicial, composto por um palete desmontado, localizado no nível do piso. Nesse caso, foi considerada a temperatura de ignição inicial da madeira como sendo 300°C, com base nos valores da literatura SFPE, (2016).

Para ignição foi inserida uma superfície de queima (*Burner*), ou queimadores, como também são chamados. Por intermédio dessas superfícies são inseridos os potenciais caloríficos para desencadear o processo de incêndio. O queimador do modelo, dimensionado como um pequeno bloco de 0,50 cm x 0,50 cm x 0,15cm, simulou um palete desmontado, localizado no canto inferior direito da área de queima, sendo desativado em aproximadamente 900 segundos, quando o fogo começa a se esvaír. O calor dispendido pelo bloco (1350 kW/m<sup>2</sup>) ocasionou o aumento de temperatura desencadeando uma reação em cadeia, envolvendo os outros paletes de madeira na queima. Após estes atingirem sua respectiva temperatura e tempo de ignição, deu-se a queima generalizada, e, por fim a extinção do fogo quando não mais restavam materiais combustíveis capazes de alimentar o fogo.

- Material combustível: 11 paletes de madeira *Pinus*, os quais apresentam uma rápida propagação do fogo e produção de fumaça. A taxa de calor liberado (TCL) máxima varia, e em virtude das flutuações desse valor, foi empregue a TCL de 1.700,0 kW, conforme cálculo citados no Item 4.4 deste Capítulo. Esse valor foi dividido e aplicado à carga de incêndio em três tempos distintos de queima (além do queimador), estipulando a cada um deles uma quantia relevante do valor de taxa de calor liberado por unidade de cada área (no trecho inicial foram envolvidos os paletes inferiores da direita (140 kW/m<sup>2</sup>), posteriormente, envolvidos os paletes superiores da direita (170 kW/m<sup>2</sup>) e, por fim, os paletes da esquerda (210 kW/m<sup>2</sup>), reiterando que apenas no instante do *flashover* todos são envolvidos na queima), conforme a curva expressa na Figura 4.2. A adoção dessa divisão se justifica, como forma de especificar ao *software* que o fogo não consome todo o material combustível de uma única vez durante as simulações experimentais.

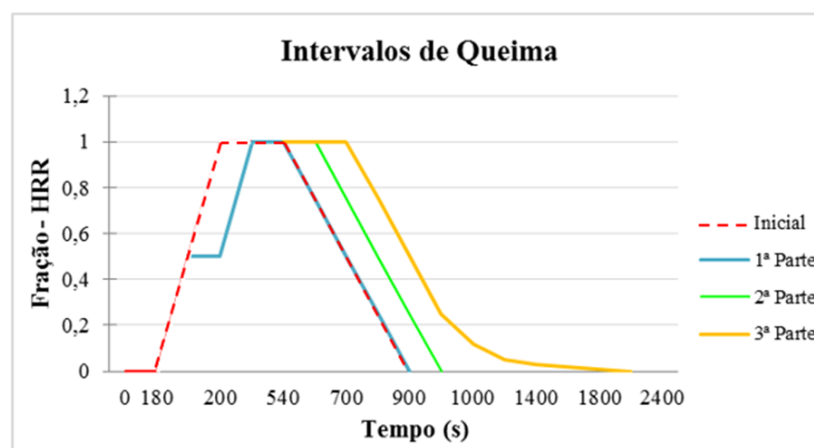


Figura 4.2: Curva fração – HRR x tempo.

Vale ressaltar, de acordo com SFPE (2016), que diversos materiais não tem a taxa de calor liberado disponível, tornando necessária a elaboração do teste de calorímetro de cone para um estudo mais preciso do comportamento do material. Esse ensaio padronizado desenvolvido por Babrauskas (1984), no *Nacional Institute of Standards and Technology* – NIST, é utilizado para medir a TCL, os procedimentos adotados para conduzi-los estão caracterizados na ASTM E e ISO 5660.

- Abertura de portas: em 540 segundos (9 min), conforme média das aberturas de portas dos ensaios experimentais.

Um efeito de entrada de ar (*Supply*) foi implementado, de modo a simular a entrada de ar e a mistura de gases quentes que acometem o compartimento, fruto da abertura de portas.

A parede com as aberturas e o teto foram modelados como *Obstruction*, as demais paredes e piso como *Vents*. Paredes, piso e teto de aço foram especificados com 0,0026 m de espessura com propriedades validadas e fornecidas pela própria biblioteca do *software Pyrosim*, com densidade de 7850,0 kg/m<sup>3</sup>; calor específico de 0,46 kJ/(kg°K); condutividade de 45,8 W/(m°K); emissividade de 0,95. As propriedades da madeira *Pinus* também foram mantidas conforme biblioteca fornecida, sendo a densidade de 640,0 kg/m<sup>3</sup>; calor específico de 2,85 kJ/(kg°K); condutividade de 0,14 W/(m°K); emissividade de 0,9. Os dados quanto às propriedades térmicas dos materiais mencionados podem ser vistos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Propriedades térmicas dos materiais adotados.

| Material | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Condutividade Térmica (W/m.K) | Calor Específico (kJ/kg.K) | Emissividade | Combustível |
|----------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|-------------|
| Madeira  | 640                            | 0,14                          | 2,85                       | 0,9          | Sim         |
| Aço      | 7850                           | 45,8                          | 0,46                       | 0,95         | Não         |

O *software* exige a definição de uma reação de combustível que opera como um substituto para as fontes de combustíveis em potencial. Se esta reação é determinada através de dados já compreendidos na biblioteca padrão, o usuário deve descrever a formulação química do material combustível juntamente com seus rendimentos de CO e fuligem (MCGrattan *et al.*, 2015). Nesse caso, para reação (*Reaction*), foi considerado a composição química da madeira *Pinus* de acordo com dados viabilizados pelo próprio *software*, sendo necessário informar apenas o calor de combustão, o qual é a quantidade de calor liberado para uma determinada quantidade de massa de material. O valor estipulado para ele é, segundo a Tabela 5.3, Página 143, do Manual *SFPE Handbook*, (2016), de 19.400 kJ/kg. De acordo com a Tabela A39, Página 3467, do Apêndice do Manual *SFPE Handbook*, (2016), a fração de massa de

combustível convertida em partículas de fumaça (*Soot Yield*) foi tomada igual a 0,015 e a fração de massa de combustível convertida em monóxido de carbono (*CO Yield*) foi tomada igual a 0,005. A fração de radiação (*Radiative Fraction*) utilizada foi 0,35, valor padrão do *software*.

Como visto na Figura 4.3, para aferir as temperaturas foram acoplados dispositivos termopares (*Thermocouple*) em cinco seções a cada 2,0m, sendo três unidades ao longo de sua altura: 0,80 m; 1,47 m; 2,15 m, um total de 15 termopares. Também é possível notar, através das figuras acima, as células de cálculo, as superfícies abertas, a carga de incêndio e o queimador.

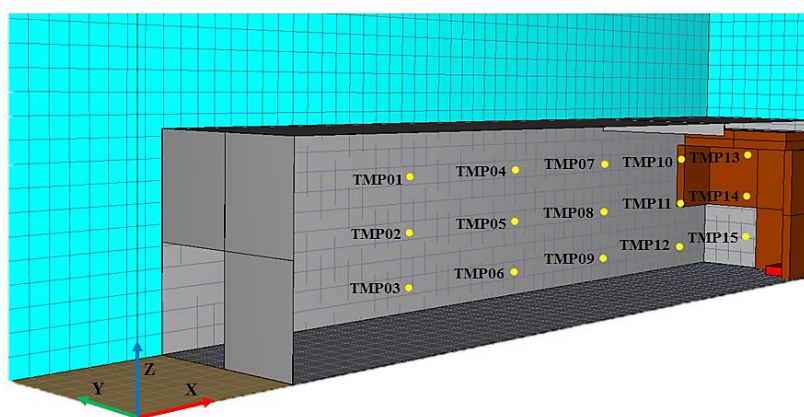


Figura 4.3: Posicionamento dos termopares.

Cinco dispositivos medidores de camada de fumaça (*Layer Zoning Device*) também foram instalados ao longo do comprimento espaçados a 2,0 m cada, e centralizados ao eixo Y. Esses dispositivos e seus respectivos posicionamentos são apresentados na Figura 4.4.

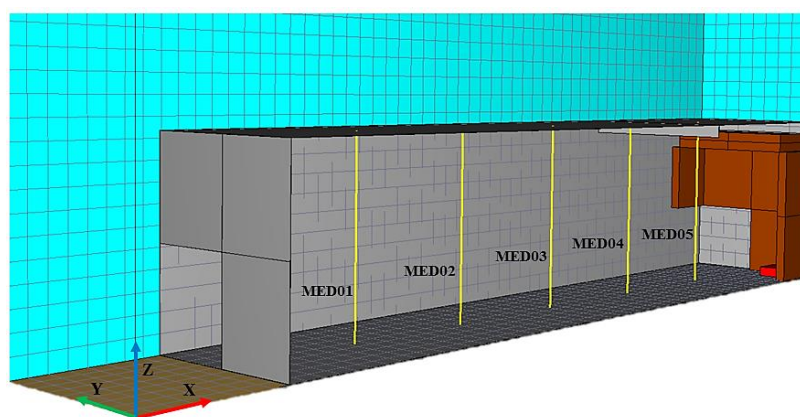


Figura 4.4: Posicionamento dos medidores de camada de fumaça.

Além desses dispositivos, foram posicionadas lâminas (*Slices*) nos mesmos eixos dos termopares (horizontais e verticais) que permitiram observar a variação de temperatura em cada instante por meio de uma escala dinâmica de cores quando executados no *Smokeview*.

## 4.6 Resultados

Os resultados alcançados neste trabalho só foram possíveis após diversos testes em modelos preliminares simplificados, em que, através do emprego de condições de contorno relativamente aleatórias, asseguraram-se as funções do *software*. Posteriormente à fase em que se alcançaram os primeiros objetivos previstos, com resultados promissores, procedeu-se para um aprimoramento do modelo. Entretanto, esse aprimoramento que abrangeu correções no tempo de propagação do fogo mediante inserções de curvas de taxa de calor liberado referentes a pilhas de paletes mencionadas em bibliografias, no detalhamento da geometria da carga de incêndio e dos fatores térmicos de sua superfície, fornecer resultados não muito coerentes, levando, fatalmente, a complicações nos resultados, na modelagem e na própria especificação da malha. Já que, por exemplo, os detalhamentos dos elementos exigem um refinamento maior de malha, conseqüentemente, maior tempo de simulação, sob pena, ainda, do *software* não identificar a geometria, inviabilizando até o início da simulação. Dado o exposto, afirma-se que o uso destes *softwares* demanda cautela e um vasto conhecimento dos processos físico-químicos do fogo, como também de métodos numéricos e computacionais.

Contudo, a simulação computacional foi programada ponderadamente a executar o treinamento sem intervenção de jatos d'água, tendo em vista que essa é a base principal para futuras simulações que visem analisar corpos de prova em altas temperaturas dentro do compartimento. Levando em conta os dados aqui já descritos, bastam ser ajustados os parâmetros físico-químicos ou inserir/modificar dispositivos já estabelecidos. É pertinente que se altere os parâmetros com preceitos compatíveis, uma vez que as inserções de dados errôneos podem acometer em informações equivocadas.

A seguir são apresentados os resultados detalhados em duas vertentes: análise da interface da camada de fumaça e gradiente vertical de temperatura.

### 4.6.1 Interface da Camada de Fumaça

Os resultados quanto a altura da interface da camada de fumaça (AICF) e quanto a temperatura média da camada de fumaça (TMCF), provenientes das aferições nas cinco diferentes seções do compartimento (Figura 3.6), são exibidos na Figura 4.5 e na Figura 4.6. Os resultados fornecidos pelo *software* apresentam uma variação significativa (valores com saltos) na leitura dos medidores.



O desenho esquemático do container com as especificações do posicionamento dos dispositivos medidores de camada de fumaça no *software* pode ser visto na Figura 4.4 (Item 4.5 deste Capítulo).

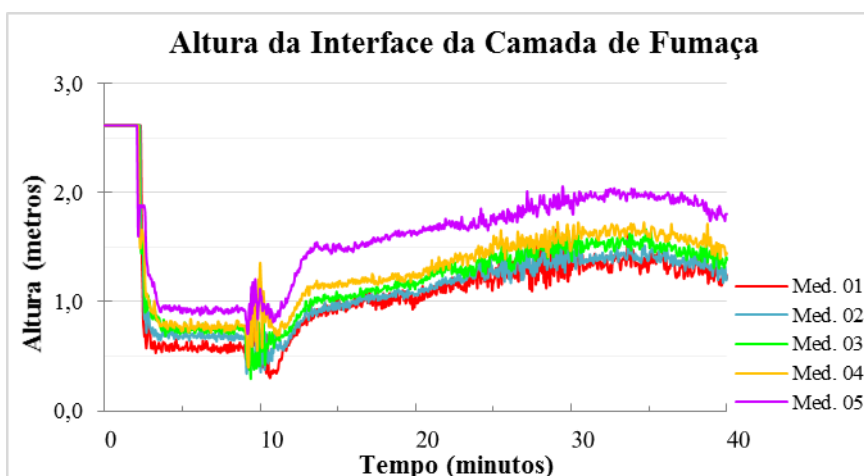


Figura 4.5: Altura da interface da camada de fumaça.

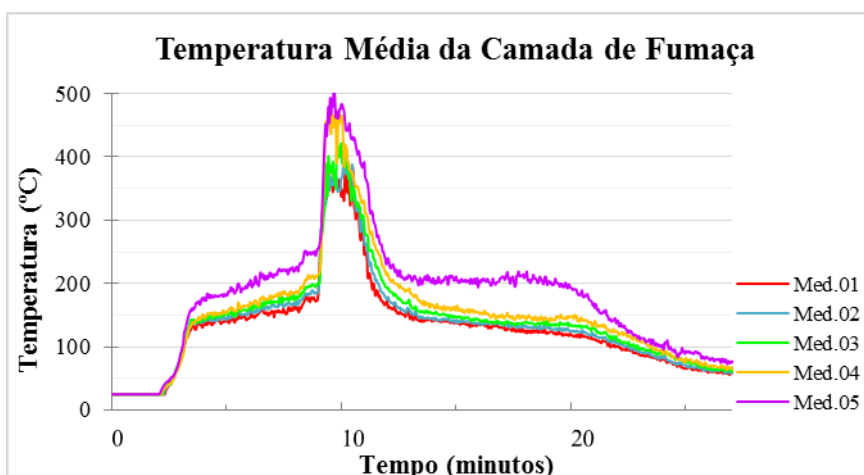


Figura 4.6: Temperatura média da camada de fumaça.

Tendo em vista os gráficos apresentados, conclui-se que já nos primeiros minutos de simulação ocorre um decaimento rápido na AICF, conseqüentemente, um crescimento abrupto na TMCF. Esse fato é justificado pelo rápido envolvimento do material combustível. Logo, os gases quentes oriundos da combustão são transferidos em direção ao teto e, os mais frios movidos em direção ao piso, devido à diferença de densidade.

Nota-se que, aos 5 minutos, a fumaça já se encontra bem próxima ao piso do compartimento (0,5 m) e aos 10 minutos (quando abertas as Portas 03 e 04 – Figura 3.1) o atinge. A TMCF (Figura 4.6) registrou 500°C no medidor 05 (próximo da área de queima), aproximadamente 400°C no medidor 02 (próximo ao local ocupado pelos combatentes) e, 350°C no medidor 01 (próximo a abertura frontal).

A título de comparação, abaixo são exibidas imagens da fase de formação da interface da camada de fumaça no incêndio real e no simulado por meio computacional, conforme visto na Figura 4.7 e na Figura 4.8. É evidente o momento em que é iniciada a saída de fumaça pela porta inferior esquerda (Porta 02 – Figura 3.1) do compartimento e sua rápida evolução. Também podem ser comprovadas, coerentemente, as alturas da camada de fumaça em cada um dos momentos comparados, entre os ensaios experimentais e a simulação computacional.



Figura 4.7: Desenvolvimento da camada de fumaça – experimental.

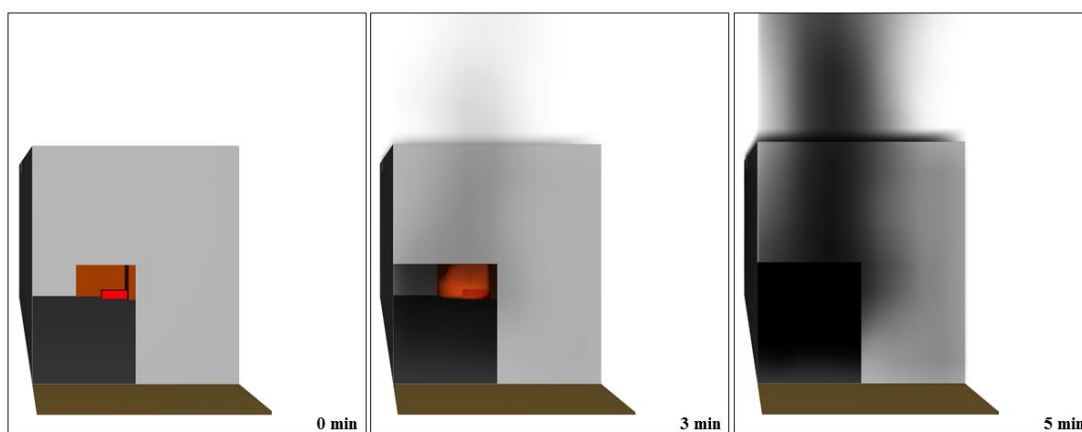


Figura 4.8: Desenvolvimento da camada de fumaça – computacional.

Após a abertura das portas acontece uma intensa oscilação na AICF em virtude da entrada brusca e com pressão do comburente oxigênio, tendendo a uma mistura intensa dos gases. Todavia, esse comportamento oscilatório apontado pelos gráficos não é corroborado na visualização dinâmica fornecida pelo *Smokeview*, que não apresenta uma variação significativa da altura da fumaça visível durante esse trecho. Há uma estabilização da AICF, em torno de aproximadamente 1,5 metros, vista aos 20 minutos, quando há o decaimento paulatino de temperatura dentro do compartimento, instantes finais da simulação.

A seguir, o desenvolvimento da camada de fumaça é exibido na Figura 4.9.

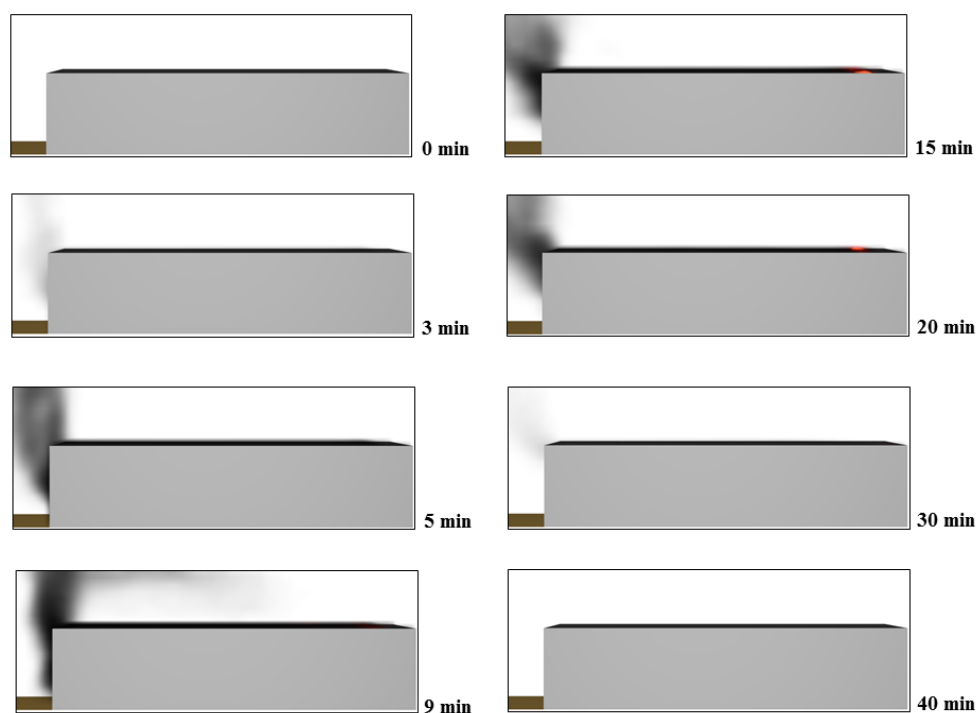


Figura 4.9: Análise da camada de fumaça – computacional.

De modo geral, para os tempos aqui apresentados, os resultados obtidos neste foram bastante coerentes quando comparados à análise experimental, conduzindo à validação dos parâmetros adotados da combustão em relação a interface da camada de fumaça.

#### 4.6.2 Gradiente Vertical de Temperatura

O estudo do gradiente vertical de temperatura permite verificar a evolução do crescimento da temperatura. Na Figura 4.10 é mostrada a energia liberada pela combustão dos materiais durante a simulação. Constata-se que há uma descontinuidade no gráfico da TCL proveniente da pressão e mistura de gases no ambiente, no trecho referente à abertura das portas (*flashover*). Mas, ainda assim, é possível constatar que os valores de liberação de calor apresentados são bastante coerentes quando analisada a dinâmica do incêndio de modo geral.

Em análise ao gráfico da Figura 4.10, o incêndio apresenta crescimento de forma rápida dependendo alta liberação de calor no foco inicial. Com a abertura das portas (Portas 03 e 04 – Figura 3.1) há a liberação de uma maior taxa de calor, uma vez que os materiais combustíveis são completamente envolvidos na queima (queima generalizada – *flashover*), seguido da estabilização e decaimento até a extinção do incêndio. Esse fato confirma a associação entre a curva temperatura *versus* tempo diretamente à TCL pela combustão.

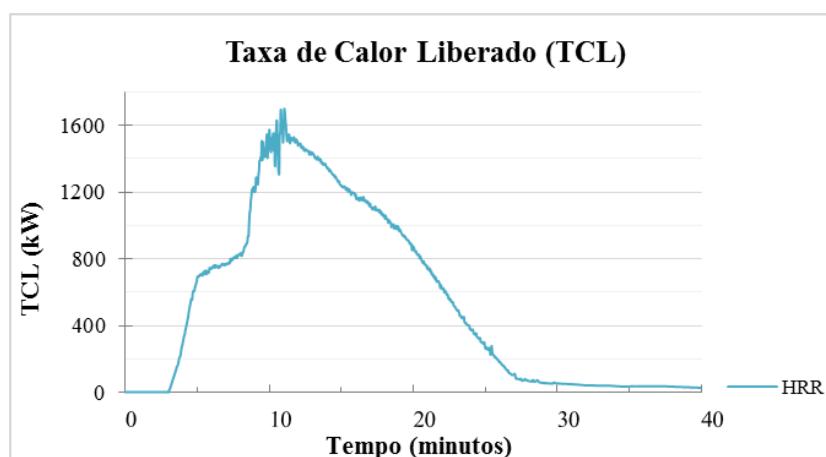


Figura 4.10: TCL x Tempo

Comparativamente às análises da TCL realizadas no Item 3.2, Capítulo 3 deste trabalho, sabe-se que, adotando como carga de incêndio específica o valor de  $561,27 \text{ MJ/m}^2$ , para um tempo de 2400 s (tempo médio de realização dos ensaios sem intervenção), a taxa de calor liberado média é igual a 1,7 KW, ou seja, 1700KW.

Os resultados provenientes da leitura dos 15 termopares posicionados no compartimento (TMP 01 a TMP 15), são exibidas nas Figuras 4.11 e 4.15. Os posicionamentos desses dispositivos podem ser visualmente analisados na Figura 4.5, do Item 4.5 deste Capítulo ou, no desenho esquemático completo do container da Figura 3.6, Item 3.3 do Capítulo 3.

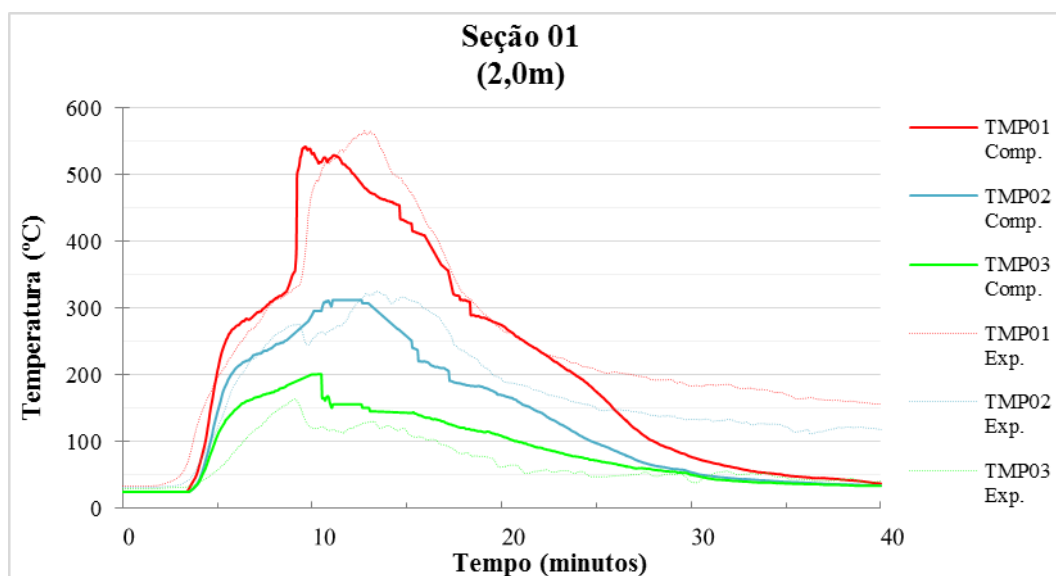


Figura 4.11: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 01

Nos gráficos apresentados na Figura 4.11, referentes à seção 01 (Figura 3.6) da simulação computacional observa-se que, a maior temperatura atingida foi de  $542^\circ\text{C}$ , no termopar mais alto (TMP 01). O pico da temperatura média foi de  $313^\circ\text{C}$  coletada pelo termopar mediano (TMP 02) e as menores temperaturas foram coletadas pelo termopar mais baixo (TMP 03)

que registrou valor máximo próximo a 200°C. Quando comparado o gráfico da simulação computacional ao gráfico referente ao ensaio experimental (sem intervenção), tem-se que as diferenças entre os picos de temperaturas foram de aproximadamente 20°C, 10°C e 40°C para os termopares TMP 01, TMP 02 e TMP 03, respectivamente.

Assim como nos ensaios experimentais, as seções 02 e 03 (Figura 3.6) apresentaram valores relativamente parecidos, conforme seguem as Figuras 4.12 e 4.13.

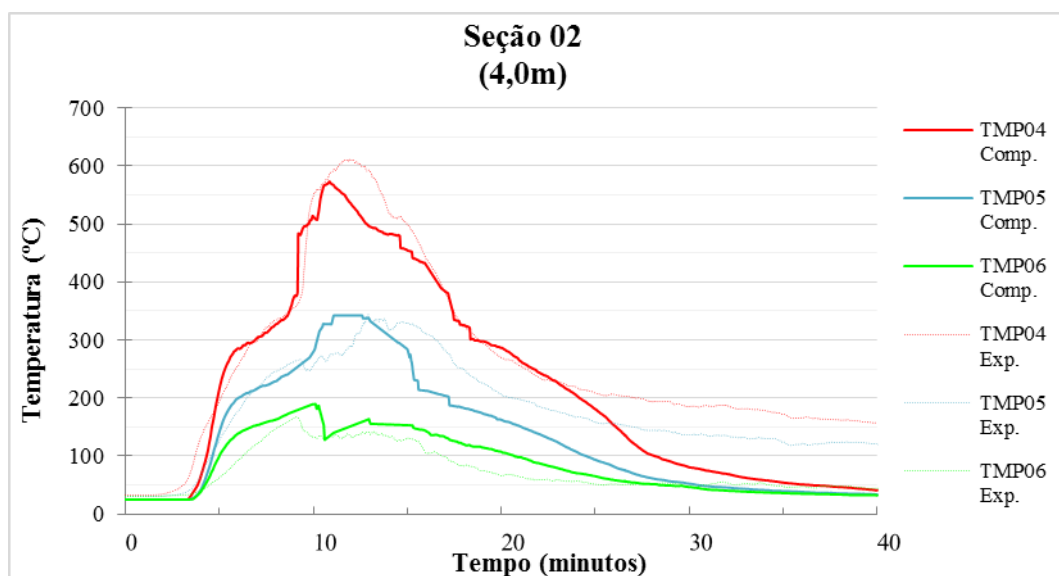


Figura 4.12: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 02

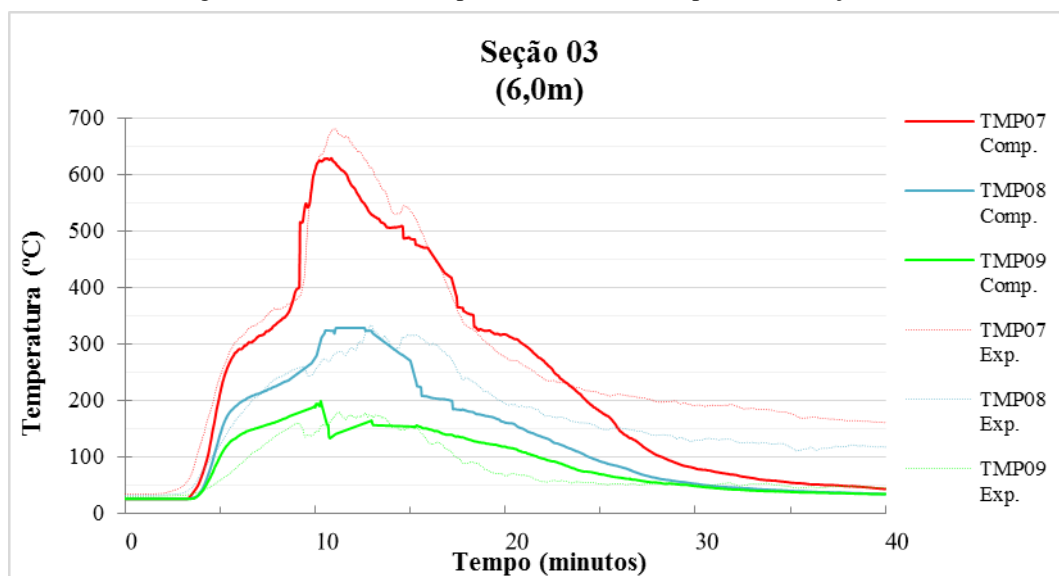


Figura 4.13: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 03

É possível verificar que os maiores picos de temperatura são valores de 570°C e 680°C coletados pelos termopares TMP 04 e TMP 07, respectivamente. Os picos de temperaturas médias variaram entre 327°C a 345°C, aferidos pelos termopares posicionados em alturas medianas, TMP 05 e TMP 08. Os termopares mais baixos, TMP 06 e TMP 09, atingiram

valores próximos de 200°C. Quando comparado ao ensaio experimental (sem intervenção), constata-se que as diferenças entre os picos de temperaturas na seção 03 foram de 50°C, 2°C e 20°C para os termopares TMP 04, TMP 05 e TMP 06, respectivamente. Na seção 04, as diferenças de temperatura foram de aproximadamente 50°C, 5°C e 20°C para os termopares TMP 07, TMP 08 e TMP 09, respectivamente.

Na Figura 4.14 são expressos os gráficos da seção 04 (Figura 3.6), ficando constatado que, no termopar mais baixo (TMP 12), o pico de temperatura registrou 193°C. Nota-se que as temperaturas medianas (TMP 11) chegaram a 349°C. Quando efetuada a abertura das portas, a maior temperatura atingida foi de 736°C, coletada pelo termopar (TMP 10). Comparativamente, tem-se que as diferenças entre os picos de temperaturas foram de aproximadamente 40°C, 70°C e 50°C para os termopares TMP 10, TMP 11 e TMP 12, respectivamente.

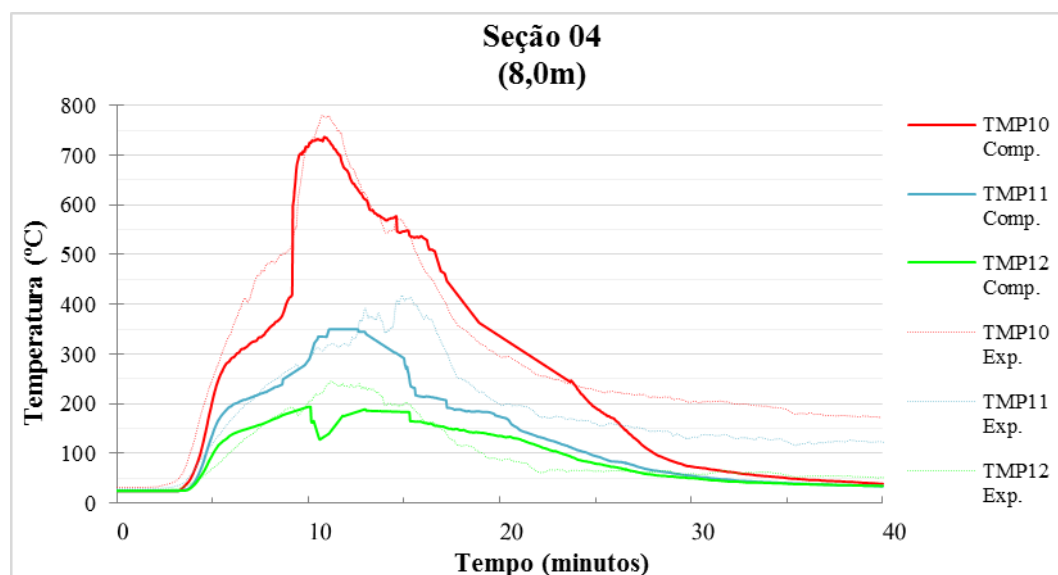


Figura 4.14: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 04

Como pode ser analisado na Figura 4.15, na seção 05 (Figura 3.6), estão pontuados os valores mais altos de temperatura, uma vez que é a seção mais próxima da área de queima. Dessa forma, a maior temperatura atingida foi de aproximadamente 815°C no termopar mais alto (TMP 13). A máxima temperatura média registrada foi de 505°C, coletada pelo termopar de altura mediana (TMP 14). Os menores valores foram apontados pelo termopar mais baixo (TMP 15) que atingiu pico de temperatura de 324°C.

Comparado o gráfico da simulação computacional ao gráfico referente ao ensaio experimental (sem intervenção) tem-se que, as diferenças entre os picos de temperaturas

foram de aproximadamente 12°C, 25°C e 35°C para os termopares TMP 13, TMP 14 e TMP 15, respectivamente.

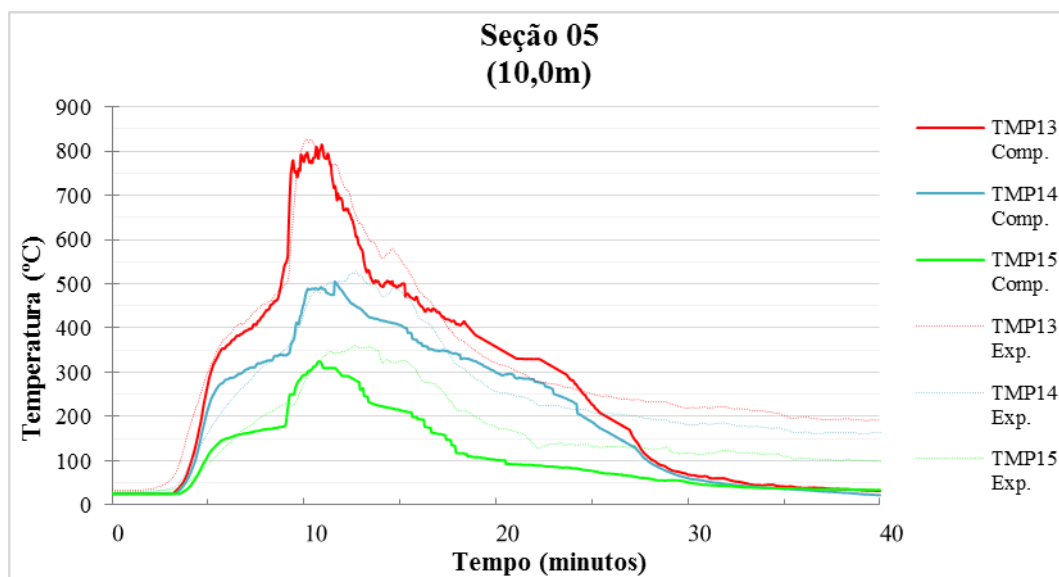


Figura 4.15: Gráficos dos perfis verticais de temperatura – Seção 05

Assim como acontece nos ensaios experimentais, salienta-se que, o fato de haver um salto na leitura dos termopares próximo dos 9 minutos do início do ensaio, é proveniente da abertura das portas. Tal fato faz com que a entrada de oxigênio reabasteça a fonte do fogo com o comburente oxigênio, elevando repentinamente as temperaturas dentro do compartimento, convertendo o incêndio de *ventilação controlada* para *fogo controlado*.

Na Tabela 4.3 são transcritos os dados das máximas temperaturas atingidas pelos termopares nas simulações computacionais com suas respectivas diferenças de temperatura quando comparados ao ensaio experimental.

Tabela 4.3: Temperaturas máximas atingidas – Computacional x Experimental

| Computacional            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TMP                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C)             | 542 | 313 | 201 | 573 | 342 | 189 | 628 | 327 | 198 | 736 | 349 | 193 | 815 | 505 | 324 |
| Experimental             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| T. Máx. (°C)             | 565 | 325 | 164 | 621 | 344 | 168 | 681 | 331 | 177 | 778 | 419 | 245 | 827 | 528 | 359 |
| Diferença de Temperatura |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| TMP                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| (°C)                     | 23  | 12  | 37  | 48  | 2   | 21  | 53  | 4   | 21  | 42  | 70  | 52  | 12  | 23  | 35  |

Tendo em vista todos os aspectos observados, constata-se que as análises dos gráficos, referentes ao gradiente vertical de temperatura, revelaram dados coerentes quando comparados ao modelo experimental. A abertura de portas substanciou a uma elevação de



temperatura diferenciada em cada cota, entretanto, ainda assim, de forma homogênea, perfazendo um gradiente vertical significativo.

Na Figura 4.16, percebe-se a similaridade aos 12 minutos, quando proveniente da abertura de portas ocorre a inflamação generalizada, o que acarreta o crescimento abrupto da temperatura. Na Figura 4.16(b) foi desconsiderado o dispositivo gerador de fumaça para proporcionar melhor visibilidade do foco, mas, nesse instante a altura da AICF já se encontra praticamente a 1,0m do piso.

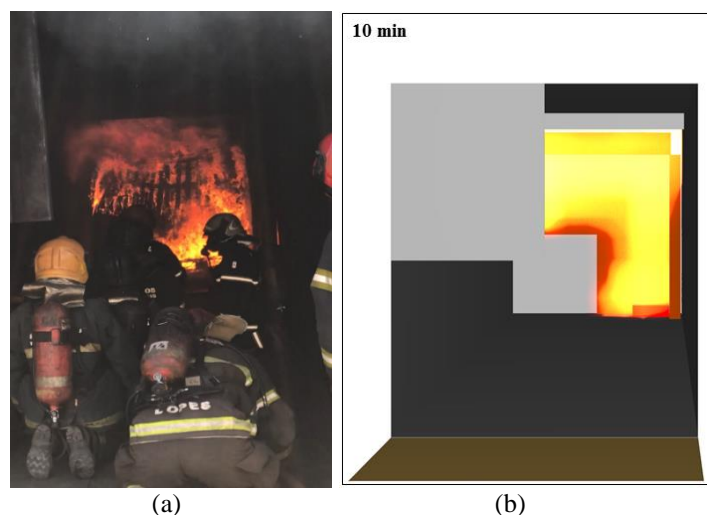


Figura 4.16: Queima generalizada – experimental *versus* computacional.

A seguir, é apresentada a análise visual gerada pelo *Smokeview* da propagação do fogo associada à formação da interface da camada de fumaça na Figura 4.17 e, a posteriori, das lâminas dinâmicas de temperatura na Figura 4.18.

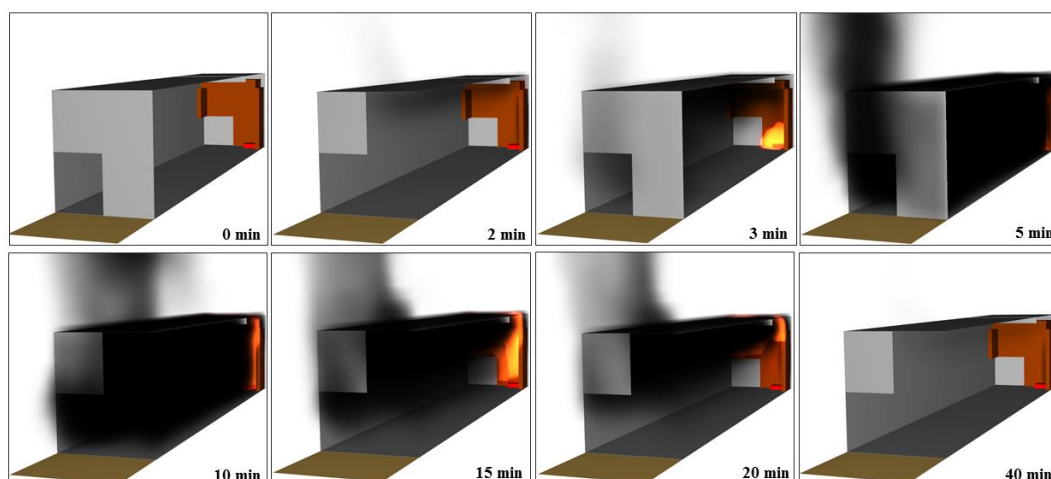


Figura 4.17: Análise da propagação do fogo – computacional.



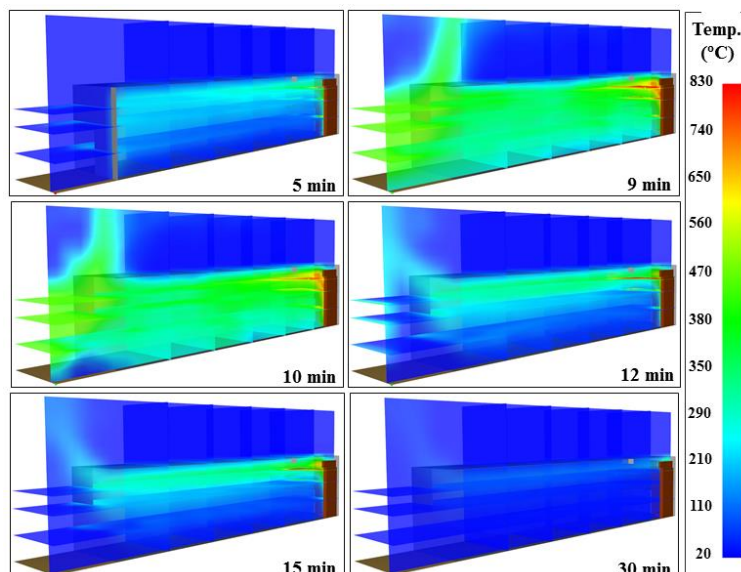


Figura 4.18: Lâminas dinâmicas de temperatura - computacional

Na Figura 4.18, é possível notar o momento em que o comburente oxigênio (em temperatura ambiente, 25°C) entra no compartimento após a abertura das portas pela parte inferior, a partir dos 10 minutos.

Contudo, confirma-se que junto ao piso, as temperaturas coletadas pelos termopares (TMP 03, TMP 06, TMP 09, TMP 12 e TMP 15) são consideravelmente mais baixas, e, nos pontos em proximidade ao teto são coletadas temperaturas mais altas (TMP 01, TMP 03, TMP 07, TMP 10, TMP 13).

### 4.6.3 Observações Gerais

As temperaturas pontualmente coletadas pelos termopares nas simulações computacionais apresentaram algumas variações quando comparadas às temperaturas coletadas em ensaios experimentais. As diferenças entre o formato das curvas podem estar associadas às curvas de HRRPUA (taxa de calor liberado por unidade de área) estipuladas na fase de entrada de dados, no fator de entrada de ar aplicado (*Supply*) quando da abertura das portas, bem como na maior quantidade de dados fornecidos pela simulação experimental quando comparado aos dados fornecidos pela simulação computacional. Além disso, a simulação computacional foi programada a ser finalizada (no tempo igual a zero) aos 2400 segundos (40min), enquanto as experimentais ainda careceram de mais tempo até chegar no referido tempo. As diferenças verificadas entre as comparações também podem, de fato, ser justificadas em decorrência a fatores, como a diferença de massa dos materiais e o tempo de abertura das portas do compartimento, uma vez que essas condições modificam intimamente

a dinâmica e propagação do incêndio. Entretanto, esses aspectos podem ser ajustados de acordo com a necessidade do operador.

Assim como nas análises experimentais, de modo geral, os gráficos de temperaturas se compuseram de forma homogênea, com um aumento constante de temperatura durante a fase inicial de desenvolvimento do fogo, *pré-flashover*. Logo, após a abertura de portas, em virtude da entrada de oxigênio e em razão da mistura dos gases superaquecidos, um aumento abrupto de temperatura e uma oscilação de taxa de calor liberada, *flashover*. Posterior a esse acontecimento, o restante do material combustível é queimado e a curva apresenta o decaimento (*pós-flashover*) para a extinção do fogo.

A maior diferença de temperatura encontrada entre o ponto mais alto (2,15 m) e o ponto mais baixo (0,80 m) dos termopares (TMP 13 e TMP 15 – seção 05) próximo da área de queima, foi de aproximadamente 491°C, enquanto na análise experimental essa diferença foi de 486°C. Essa mesma diferença próxima ao local onde os profissionais se encontram para combate durante treinamentos, a 2,0 m da área de queima (TMP 04 e TMP 06 – seção 02), foi de aproximadamente 384°C, enquanto experimentalmente se obteve 450°C considerando os ensaios realizados sem intervenção de jatos d'água.

Tendo em vista todos os parâmetros resultantes, ainda assim, apontam uma relação bem próxima ao previsto, uma vez que as temperaturas foram coincidentes e compatíveis em outros diversos instantes. Os *softwares* apresentaram resultados bem próximos aos de um incêndio real, no que diz respeito às chamas, altura da interface da camada de fumaça e variação de temperatura. Esse fato comprova a eficácia de sua utilização como ferramenta de análise de incêndio, com uma reprodução coesa virtual às afirmações apresentadas em modelos experimentais. Embora complexo no aspecto de inserção de dados, o FDS se consolida como uma importante ferramenta para auxiliar na avaliação da eficiência do sistema de prevenção e proteção contra incêndio, bem como na perícia de pós-conflagrações.

# 5

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1.1 Conclusões

O objetivo principal deste trabalho é a análise da influência dos tipos de combate a incêndio (intervenções), nas temperaturas desenvolvidas em um compartimento – tipo container marítimo – *high cube*, com aproximadamente 28,3m<sup>2</sup> de área interna, utilizado como simulador de uma real situação de incêndio pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) durante os treinamentos. Para monitoramento da temperatura, foram conectados sensores termopares – tipo K (Cromel/Alumel), bainha rígida com diâmetro 3 mm x 1000 mm e cabo flexível, em cinco seções do compartimento, nas alturas de: 0,80 m; 1,47 m; 2,15 m. Como parte complementar a este trabalho, os dados obtidos foram analisados subsidiariamente a simulações computacionais. Logo, foram adotadas análises experimentais e numéricas, sendo as principais conclusões obtidas apresentadas a seguir.

De acordo com a parte experimental tem-se que, os ensaios 01 a 04 foram realizados conforme um treinamento normal, mediante ataques tridimensionais, com aplicação de rápidos jatos d'água na camada de gases quentes (pulsos de 0,2 a 0,5 segundos) aplicados um a um, seguidos de ataques combinados (pulsos e pacotes de água), finalizando apenas com aplicações de pacotes de água. No ensaio 05 foram aplicados dois pulsos por vez, seguidos da aplicação de ataques combinados e, por fim, apenas aplicação de pacotes de água. No ensaio 06 foram aplicados pulsos mais longos (1,5 segundos), posteriormente, ataques combinados e, ao fim, aplicados apenas pacotes d'água. O ensaio 07 foi realizado exatamente como em um combate a incêndio real, mediante aplicação de pulsos e pacotes d'água, mas sem especificações exatas dos instantes a serem aplicados os pulsos e pacotes d'água, ou seja, os ataques foram realizados de acordo com a experiência e necessidade dos combatentes, de modo que pudessem avançar mais rapidamente até o foco. Os ensaios 08 a 10 foram realizados sem qualquer intervenção com água.

Levando em consideração todas as discussões pautadas neste trabalho, quando feita uma correlação entre os ensaios 01 a 04 aos ensaios 05 a 07 constata-se que o ensaio 05, com aplicação de dois pulsos, não apontou decaimentos de temperaturas consideráveis ou redução no tempo de duração efetivo de combate quando comparado aos treinamentos normais. No ensaio 06, com aplicação de pulsos mais longos – 1,5 segundos, os mesmos aspectos do ensaio 05 podem ser ponderados, salientando adicionalmente, as oscilações mais perceptíveis nos gráficos e uma pequena diferença na redução da temperatura, próxima de 50°C. Esse ensaio também não apresentou um menor tempo de combate para o fim do incêndio. Já na simulação de combate real (ensaio 07), similar a situações cotidianas, foi apontada uma redução satisfatória, tanto na temperatura quanto no tempo de duração das intervenções, em virtude da quantidade e do modo de execução do combate, comprovando de fato, ser a mais eficiente.

Fica comprovado que durante execução dos treinamentos normais (ensaios 01 a 04) os profissionais podem estar sendo submetidos a um tempo maior do que o necessário para combater, de fato, o incêndio, confirmado pelo combate real (ensaio 07). Embora implique em maior desgaste físico, a prática aderida pelo treinamento normal é bem vista, uma vez que maiores incêndios com maior tempo de duração dispendem de maiores particularidades físicas e maior desgaste profissional. Ademais, comprova-se que as técnicas dos ensaios 05 e 06 não foram tão eficazes, já que prolongaram por mais tempo as temperaturas no trecho de queima generalizada, delongando-se para o decaimento e, como resultado, a tardia extinção do incêndio, não sendo considerado benéfico à integridade física dos combatentes.

Quando correlacionados os ensaios onde foram adotadas as premissas de um treinamento normal (ensaios 01 a 04) aos ensaios sem intervenção (ensaios 08 a 10) pode-se concluir que, de acordo com os diferentes tempos de decaimento nas curvas de temperatura – momento de abertura das portas até o decaimento da temperatura ao patamar de 200°C, os ensaios 01 a 04 apresentaram esse episódio de maneira bem parecida quando comparados aos ensaios 08 a 10. No entanto, o tempo efetivo de decaimento, que seria proveniente do combate no ensaio 10, sem intervenção, foi de 17,5 minutos, enquanto o mesmo termopar, nos ensaios de treinamento normal (ensaios 01 a 04) apontou um tempo médio de realização de combate de aproximadamente 9 minutos. Por intermédio das análises entre esses ensaios é possível afirmar que o tempo de diminuição seguido para a extinção do fogo, fruto da intervenção pelos jatos d' água é, de fato, muito coerente com a proposta, uma vez que apresentou uma apreciável diferença de aproximadamente 8,5 minutos. Contudo, nos

treinamentos normais (ensaios 01 a 04) os profissionais são confrontados a temperaturas bem próximas as de um incêndio sem intervenção (ensaios 08 a 10), e conseguem debelar o foco de forma eficiente.

Por fim, quando comparados os ensaios 05 a 07 aos ensaios 08 a 10, as diferenças são mais perceptíveis nos picos de temperatura dos termopares próximos ao local onde os profissionais combatentes estão posicionados, e no tempo de duração de combate. Próximo à posição dos profissionais combatentes, seção 04, observa-se haver uma diminuição de temperatura de aproximadamente 100°C, enquanto a aplicação de pulsos mais longos – 1,5 segundos (ensaio 06) apresentou variação de 140°C e, o treinamento conforme combate a incêndio real (ensaio 07) apresentou diferença de 114°C. Quanto aos diferentes níveis de decaimento tem-se que, nos ensaios 05 e 06, esse episódio aconteceu de maneira bem parecida, mas, com uma rápida extinção do fogo quando comparado aos ensaios sem intervenção. No entanto, o ensaio 07 se apresentou de maneira mais diferenciada, com redução significativa nas temperaturas após o pico máximo e, por conseguinte, uma ágil extinção do fogo. A maior diferença está no tempo de duração das intervenções realizadas nos ensaios. As intervenções no ensaio 05 tiveram duração de 9,5 minutos, nos ensaios 06 e 07 tiveram duração de 12 minutos e 6,5 minutos, respectivamente, enquanto, os ensaios sem intervenção tiveram um tempo médio de decaimento após a abertura das portas de 19,6 minutos. Comparativamente, o ensaio 07, simulando combate real (6,5 minutos de combate), apontou uma redução significativa de aproximadamente 15,5 minutos quando comparado ao ensaio 08, sem intervenção (decaimento em 22 minutos). Afirma-se que os tempos de decaimento para extinção do fogo se mostraram, dentro de cada proposta, consideráveis e com diferenças plausíveis. De maneira geral, conclui-se que em proximidade a seção 02 (posição ocupada pelos combatentes) as temperaturas são bem reduzidas quando aplicados qualquer uma das técnicas de combate dos ensaios 05 a 07, bem como a duração de tempo para extinção do fogo que diminui drasticamente, em comparação aos ensaios sem intervenção.

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que os treinamentos representam bem os incêndios reais em ambientes construídos com as fases *pré-flashover*, início do incêndio e sua propagação, inflamação generalizada (*flashover*) e *pós-flashover*. A máxima temperatura observada no compartimento foi de 883°C. A diferença do pico de temperatura registrado no termopar mais alto (2,15 m) e do termopar mais baixo (0,80 m), localizados próximos da área de queima, chegou a 600°C. Próximo do local de combate ocupado pelos

profissionais, essa diferença chegou a 522°C. A comparação entre os treinamentos normais (ensaios 01 a 04) e os ensaios sem intervenção (ensaios 08 a 10) demonstra que não há uma diferença significativa nas temperaturas máximas atingidas em comparação com os treinamentos normais.

A partir da comparação entre os treinamentos normais (ensaios 01 a 04) e a simulação de um combate real (ensaio 07), conclui-se que a taxa de aplicação de água (quantidade de água por tempo) influencia diretamente no tempo de duração do incêndio e na temperatura na região onde os combatentes ficam posicionados.

Quanto ao compartimento é possível concluir que sua fácil remodelação, simulando, por exemplo, uma sala ou um quarto, desde que isolada parte dele e recalculada a carga de incêndio, se mostra completamente eficaz em razão de já ter sido comprovado sua proximidade a incêndios reais. Contudo, sua configuração, com divisão da porta frontal em quatro partes permite controlar a entrada de ar fresco e saída de gases quentes, confirma a influência da temperatura de modo positivo e bem relacionado quando comparado a um ambiente compartimentado real. E dentro deste viés, atesta realmente ser possível administrar e manipular o modelo para pesquisas e análises de corpos de provas em altas temperaturas, além de possibilitar a avaliação dos efeitos do combate de incêndios nos sistemas construtivos. Sua única inconveniência estaria ligada à alta geração de resíduos, bem como, a grande geração de gases dispendidos e lançados à atmosfera.

Quanto às simulações computacionais realizadas através dos *softwares Fire Dynamics Simulator – FDS* versão 6.7.0 (McGrattan *et al.*, 2015) e *PyroSim* (Thunderhead Engineering, 2018), versão 2018.3.1210, adotadas como complementação às análises experimentais, destaca-se que os gráficos de temperaturas se compuseram de forma homogênea, com um aumento constante de temperatura durante a fase inicial de desenvolvimento do fogo, *pré-flashover*. Logo, após a abertura de portas, em virtude da pressão na entrada de oxigênio e em razão da mistura dos gases superaquecidos, um aumento abrupto de temperatura e uma oscilação de taxa de calor liberada, *flashover*. Posteriormente, o restante do material combustível é queimado e a curva apresenta o decaimento (*pós-flashover*) para a extinção do fogo.

Os resultados computacionais ficaram próximo dos valores máximos de temperatura dos experimentos. As pequenas diferenças verificadas entre as comparações podem ser justificadas em decorrência a fatores, como a diferença de massa dos materiais e o tempo de

abertura das portas do compartimento, uma vez essas condições modificam intimamente a dinâmica e propagação do incêndio. Entretanto, nos *softwares*, esses parâmetros podem ser ajustados de acordo com a necessidade do operador.

No que concerne à aplicabilidade de simulações computacionais direcionadas a modelos de dinâmica computacional de fluidos, é consideravelmente árdua, seja pela falta de referências que auxiliem o aprendizado, a dificuldade em calibração e na análise de resultados. No entanto, espera-se que este trabalho sirva como referência e contribua na consolidação do tema em questão diante da área de concentração “sistemas construtivos em situações de incêndio”, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas (PROPEES) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Reiteradamente, os *softwares* provaram ser uma importante forma para prognosticar o comportamento de um incêndio, fornecendo princípios qualitativos para verificação sem graves dispêndios. Além disso, com o auxílio do *Smokeview* também é possível avaliar as informações de forma gráfica, ágil e clara.

Pode-se concluir que o principal objetivo deste trabalho (transformar o compartimento – container marítimo, em um modelo calibrado através do estudo experimental da influência do combate a incêndio em suas temperaturas) foi alcançado e que as análises quantitativas e qualitativas experimentais associadas aos resultados quantitativos computacionais forneceram informações condizentes, portanto, conclusivas, estando os resultados obtidos dentro dos padrões, também quando comparados às referências bibliográficas que nortearam este trabalho.

### **5.1.2 Sugestão para Trabalhos Futuros**

Haja vista a extensão do presente tema e seu caráter pioneiro no que tange o embasamento científico, principalmente no contexto brasileiro, certamente a questão ainda se encontra em um estágio embrionário, sendo capaz de ser expandida em todas as suas dimensões.

Mas, considerando os resultados já obtidos neste trabalho e nos estudos anteriores que o motivaram, nota-se que existem algumas questões que merecem prioridade ao serem analisadas em futuros trabalhos. Estas se dividem em duas vertentes: a utilização do compartimento para avaliação do desempenho de materiais e sistemas construtivos em altas temperaturas e, o aprimoramento entre a simulação computacional e sua aplicabilidade, conforme se explana a seguir:

- A parceria com o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) e a calibração do equipamento – tipo container marítimo, possibilita que corpos de provas de materiais e sistemas construtivos sejam estudados em altas temperaturas de forma experimental, além de propiciar a avaliação dos efeitos de combate a incêndios durante e após uma conflagração. Vislumbra-se então, a viabilidade em simular o comportamento de elementos estruturais e outros tantos materiais construtivos perante as condicionantes já expostas.
- Associar os ataques realizados com jatos d'água aos chuveiros automáticos, *sprinklers*, durante trabalhos futuros, também trariam grandes contribuições nesse ramo científico.
- O aprimoramento no uso dos *softwares* incide na concepção de modelos pré-configurados que possam ser aplicáveis a distintas situações de incêndio, de modo que isso contribua na agilidade do processo de entrada de dados, isentando o usuário de inserir inúmeros parâmetros que demandam tempo, como por exemplo, a modelagem e aplicação de parâmetros físico-químicos. Esse aprimoramento resulta, portanto, em uma ampliação da “biblioteca” do *software*. Essa facilidade na aplicação fornecida após o aprimoramento do *software*, promove a rápida verificação de prescrições normativas, durante, por exemplo, um processo de revisão de normatizações, pareceres e instruções técnicas.
- Aprimorar o estudo da técnica de implementação de dispositivos, como os de entrada e saída de ar, suas relativas distâncias até o foco do incêndio e a velocidade do fluxo de ar, além disso, viabilizar estudos específicos dos *sprinklers* e formas de simular através deles os jatos d'água proferidos pelos profissionais do Corpo de Bombeiros para extinção do fogo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio*. – ABNT. NBR 14323:1999. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. *Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações*. – ABNT. NBR 14432:2001. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. *Exigências Particulares das Obras de Concreto Armado e Protendido em Relação à Resistência ao Fogo*. – ABNT. NBR 5627:1980. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. *Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio*. – ABNT. NBR 15200:2004. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. *Projeto de Estruturas em Madeira*. – ABNT. NBR 7190:1997. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. *Paletes – Dimensões Básicas*. – ABNT. NBR 8252:2011. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. *Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio*. – ABNT. NBR 14323:2013. Rio de Janeiro, 2013.

ASTM E: 1354. *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products using an Oxygen Consumption Calorimeter*. ASTM, West Conshohocken PA. 2013.

BABRAUSKAS, V., *Development of the Cone Calorimeter- A Bench Scale Heat Release Rate Apparatus Based on Oxygen Consumption*, Fire and Materials 8, 81-95 (1984).

BAILEY, Colin. *Fire modelling: External window fires*. One Stop Shop in Structural Fire Engineering by the University of Manchester. Disponível em: <[www.mace.manchester.ac.uk/project/research/strucfire/Design/performance/fireModelling/externalWindowFires/default.htm](http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/strucfire/Design/performance/fireModelling/externalWindowFires/default.htm)> Acesso em: 13 de Nov. 2018.

BERNATÍKOVÁ, S., DUDÁČEK, A., ŽIŽKA J., JÁNOŠÍK L., KUČERA P. Monitoring of environment in a flashover container in the course of enclosure fire simulation. Safety Engineering Series. p. 1 - 6. Vol. VII, nº 1, 2012.

BERTO, A. F. *Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios*. São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado) – FAUUSP.

BETTING, B., VAREA, E., GOBIN, C., GODARD, G., LECORDIER, B., PATTE-ROULAND, B. Experimental and Numerical investigations of the flow characteristics in confined fires. Journal of Physics: 3rd European Symposium on Fire Safety Science. 2018.

BONITESE, K.V. *Segurança Contra Incêndio em Edifício Habitacional de Baixo Custo Estruturado em Aço*. Dissertação de Mestrado. 253 Pg. Escola de Engenharia. Departamento de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

BRAGA, G. C.; NETO, J. P. L.; SALAZAR, H. F. *A temperatura e fluxo de calor em uma situação de incêndio e as consequências para os bombeiros*. Revista FLAMMAE. Recife - PE, v. 02, nº 04, julho a dezembro, 2016. Artigos Técnicos Científicos, Seção 1, p. 9-28.

BRFL - *Building and Fire Research Laboratory*. 1996. NIST - *Nacional Institute os Standards and Technology*. <<http://www.thunderheadeng.com/downloads/7747/>>. Acesso em: 16 abr 2018.

BUCHANAN, A. H. *Fire Engineering Design Guide*. New Zealand: University of Canterbury. A. H. Buchanan Editor, 1994. 203p.

\_\_\_\_\_. *Structural Design for Fire Safety*. New Zealand: University of Canterbury. John Wiley & Sons Ltd., 2001. 424p.

BURGESS, I. *Structural steelwork eurocodes: introduction to Eurocode 3 - Design of steel structures*. Sheffield: University of Sheffield, 2001.

CALDAS, R. B. *Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio*. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2008.

CASEY, D. The Use of Shipping Containers in Live Fire Training. *Fire Engineering Magazine*. Outubro, 2018. Disponível em: <[www.FireEngineering.com](http://www.FireEngineering.com)>

CIB W014. *Rational Safety Engineering Approach to Fire Resistance in Buildings*. 2001.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE ESPÍRITO SANTO. CBMES, 2016, *Curso de Formação de Bombeiro Profissional Civil: Prevenção e combate a incêndio*. Governo do Estado de Espírito Santo, Secretaria de estado de segurança pública e defesa social. 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS. NORMA OPERACIONAL - CBMGO/NO-15 – “*Treinamento no Simulador de Combate a Incêndio em Tempo Real Tipo Container*.” Goiás. 2015.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS, CBMMG. *Corpo de Bombeiros adquire simulador de combate a incêndios*. 2015. Disponível em: <<http://www.bombeiros.mg.gov.br/component/content/article/20-2o-bbm/45269-corpo-de-bombeiros-adquire-simulador-de-combate-a-incendio.html>>. Acesso em: 24 fev 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. CBMMG IT- 06. *Segurança Estrutural das Edificações*. Belo Horizonte. 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. CBMMG IT- 09. *Carga de Incêndio nas Edificações e Área de Risco*. Belo Horizonte. 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SÃO PAULO. CBMSP IT- 08. *Segurança Estrutural nas Edificações - Resistência ao fogo dos elementos de construção*. São Paulo. 2011.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, CBMDF. *Análise da temperatura de incêndio estruturais*. 2009. Disponível em: <<http://bombeirofreitas.wordpress.com/2009/06/01/analise-da-temperatura-de-incendio-estruturais/>>. Acesso em: 24 fev 2018.

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul. *Relatório técnico: análise do sinistro na Boate Kiss, em Santa Maria, RS*. Porto Alegre: CREA-RS, 2013.

DRYSDALE, D. *An Introduction to Fire Dynamics*. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2002. 424p.

EN 1991-1-2:2002. EUROCODE 1: *Actions on Structures, Part 1.2: General Actions, Actions on Structures Exposed to Fire*. European Committee for Standardization.

FITZGERALD, R. *The anatomy of building fire safety. The framework center for fire safety studies*. Worcester: Polytechnic Institute, 2003.

FORNEY, G. P. *Smokeview (Version 6) A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data. User's Guide*. Gaithersburg, Maryland, 2013.

HORA, J., ŽIŽKA, J. Influence of the training in relation to the fire-fighting effectiveness under the condition of the indoor fire simulation. *Safety Engineering Series*. pp. 14 – 26. Vol. XI, nº. 1, 2016.

HURTADO, J. E. P. (2013). *Metodologia para levantamentos de cargas de incêndio em edificações residenciais*. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2013.

INTERNATIONAL FIRE SERVICE TRAINING ASSOCIATION. IFSTA. *Essentials of Fire Fighting*. Fourth Edition. Oklahoma State University. 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *General terms and phenomena of fire – Part 1*. ISO 8421-1. Geneva: ISO/ Switzerland, 2000.

\_\_\_\_\_. *Fire Tests -- Reaction to Fire -- Part 1: Rate of Heat Release from Building Products (Cone Calorimeter method)*. ISO 5660- 1:1993(E). International Organization for Standardization, Geneva (1993).

KENNEDY, P., KENNEDY, K. *Flashover and Fire Analysis: A Discussion of The Practical Use of Flashover Analysis In Fire Investigations*. John A. Kennedy and Associates, Inc. 2003.

KERBER S., MILKE J. A. *Using FDS Simulate Smoke Layer Interface Height in a Simple Atrium*. Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland, USA. 2007. Fire Technology, p 45 – 75.

LAWSON, J. R., *Fire Facts*, NIST Special Publication 1102, NISTIR 6400, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, agosto, 2009.

LEI nº 14.130, 19 de dezembro de 2001. Disponível em: <<http://www.bombeiros.mg.gov.br/images/documentos/lei-14130.pdf>> Acesso em: 21 mar. 2018.

LEI nº 6.235, de 28 de agosto de 1961. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/alesp/legislacao.html>> Acesso em: 18 fev. 2018.

LEI nº 684, de 30 de setembro de 1975. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1975/lei-684-30.09.1975.html>> Acesso em: 21 mar. 2018.

LEI nº 8.563, de 31 de dezembro de 1964. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/alesp/legislacao.html>> Acesso em: 18 fev. 2018.

LYNX TESTING AND MEASUREMENT SYSTEMS, *Lynx User Manual*. 2008.

MACKAY D., BARBER T., YEOH G. H. *Experimental and computational studies of compartment fire behavior training scenarios*. Building and Environment. Published by Elsevier Ltd.2010.

MATA, K. L., RODRIGUES, F. C., CALDAS, R. B., REZENDE, J. C. *Estudo teórico-experimental do comportamento de um compartimento em situação de incêndio*. In: XIII SIMMEC 2018 - Vitória - ES, 2018. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/xiiisimmec2018/trabalho/69063>>. Acesso em: 06/03/2019 às 17:27

MCGRATTAN, K., MCDERMOTT R., WEINSCHENK, C., OVERHOLT, K. *Fire Dynamics Simulator - FDS. User's Guide*. Sixth Edition. NIST Special Publication 1019. 2015.

MEIRA, L. O. (2017). *Simulação computacional da altura e temperatura da camada de fumaça*. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2013.

MINAS GERAIS, Constituição (1989) *Constituição do Estado de Minas Gerais*, 1989. Minas Gerais, Belo Horizonte: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2008. 232 p.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual nº 44.270, de 31 de março de 2006, do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:minas.gerais:estadual:decreto:2006-03-31;44270>> Acesso em: 21 mar. 2018.

MINAS GERAIS. *Emenda Constitucional nº 39*, de 02 de junho de 1999. Minas Gerais, Belo Horizonte, 02 de junho de 1999. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=EMC&num=39&ano=1999>> Acesso em: 21 mar. 2018.

MINAS GERAIS. *Lei Complementar nº 54*, de 13 de dezembro de 1999. Minas Gerais, Belo Horizonte, 13 dez. 1999. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 14 dez 1999.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. NIST. *Fire Dynamics* (2010) Disponível em: <<https://www.nist.gov/3cfront/3e/fire-dynamics>>. Acesso em: 16 mar 2018.

ONO, R. *Parâmetros de garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos*. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.1. p. 97-113. jan./mar. 2007.

ONO, R. *Segurança contra incêndio em edificações: um sistema de coleta e análise de dados para avaliação de desempenho*. 1997. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OVERHOLT, 2017. Disponível em: <<http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc/>> Acesso em 23 mar. 2018.

PYROSIM SUPPORT RESOURCES, 2018. Disponível em: <<https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/resources/>> Acesso em 10 de setembro de 2018.

QUINTIERE, J. G. *Enclosure Fire Dynamics*. Delmar Publisher, 2000, 315p.

ROSSO, T. *Incêndios e arquitetura*. São Paulo, FAUUSP, 1975.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 46.076, de 31 de agosto de 2001, do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2001/decreto%20n.46.076,%20de%2031.08.2001.pdf>> Acesso em: 21 mar. 2018.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 56.819, de 10 de março de 2011, do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/alesp/legislacao.html>> Acesso em: 18 fev. 2018.

SCHLEICH, J., et al. *International Fire Engineering Design for Steel Structures: State of the Art*. Brussels, Belgium: International Iron and Steel Institute (IISI), 1993.

SEITO, A.I., GILL, A. A., PANNONI, F.D., ONO, R., SILVA, S. B., CARLO, U. D., SILVA, V. P., *A Segurança Contra Incêndio no Brasil*. Projeto Editora, São Paulo, 2008.

SILVA, V. P. *Estruturas de aço em situação de incêndio*. São Paulo: Zigarette Editora, 2001. 253p.

The SFPE handbook of fire protection engineering. *Society of Fire Protection Engineers e National Fire Protection Association*. 3ª ed. 2002.

\_\_\_\_\_. *Society of Fire Protection Engineers e National Fire Protection Association*. 5ª ed. 2016.

THUNDERHEAD ENGINEERING CONSULTANTS, Inc. *PyroSim User Manual*. 2018.

VARGAS, M.R., SILVA, V.P. (2003). Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço. Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS / Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, Rio de Janeiro, 76p.

WANG, Y.C. *Steel and Composite Structures: Behaviour and Design for Fire Safety*. 2002. Spon Press.

## APÊNDICE A

A1 – Ensaio das densidades (método de densidade aparente) das madeiras dos paletes utilizados durante a realização dos ensaios experimentais.

Tabela A1: Dados das densidades das madeiras dos paletes.

| Nº           | Amostra | Dimensões (cm) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Peso (g)     | Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|---------|----------------|---------------------------|--------------|---|
| Palete 01    | 01      | 5,14x2,98x1,45 | 22,21                     | 11,1         | 0,50                                    |
|              | 02      | 5,13x2,93x1,39 | 20,89                     | 10,7         | 0,51                                    |
|              | 03      | 5,16x2,97x1,41 | 21,61                     | 10,9         | 0,50                                    |
|              | 04      | 5,14x2,98x1,41 | 21,60                     | 11,2         | 0,52                                    |
|              | 05      | 5,11x3,03x1,44 | 22,30                     | 11,6         | 0,52                                    |
|              | 06      | 5,14x2,96x1,41 | 21,45                     | 10,8         | 0,50                                    |
| <b>Média</b> |         |                | <b>21,68</b>              | <b>11,05</b> | <b>0,51</b>                             |
| Palete 02    | 01      | 5,05x2,99x2,20 | 33,22                     | 12,2         | 0,36                                    |
|              | 02      | 5,06x3,04x2,20 | 33,84                     | 12,6         | 0,37                                    |
|              | 03      | 5,06x2,96x2,22 | 33,25                     | 12,3         | 0,37                                    |
|              | 04      | 5,06x2,97x2,18 | 32,76                     | 12,9         | 0,39                                    |
|              | 05      | 5,08x2,95x2,21 | 33,12                     | 12,2         | 0,37                                    |
|              | 06      | 5,04x2,96x2,20 | 32,82                     | 11,9         | 0,36                                    |
| <b>Média</b> |         |                | <b>33,17</b>              | <b>12,35</b> | <b>0,37</b>                             |
| Palete 03    | 01      | 5,09x3,00x2,04 | 31,15                     | 11,7         | 0,38                                    |
|              | 02      | 5,11x2,96x2,02 | 30,55                     | 11,6         | 0,38                                    |
|              | 03      | 5,06x3,05x2,09 | 32,25                     | 11,4         | 0,35                                    |
|              | 04      | 5,06x3,01x2,10 | 31,98                     | 12,0         | 0,38                                    |
|              | 05      | 5,09x3,02x2,04 | 31,36                     | 11,8         | 0,38                                    |
|              | 06      | 5,02x3,03x2,08 | 31,64                     | 12,3         | 0,39                                    |
| <b>Média</b> |         |                | <b>31,49</b>              | <b>11,80</b> | <b>0,37</b>                             |
| Palete 04    | 01      | 5,09x3,00x1,84 | 28,09                     | 19,0         | 0,68                                    |
|              | 02      | 5,15x2,99x1,86 | 28,64                     | 17,3         | 0,60                                    |
|              | 03      | 5,06x3,01x1,87 | 28,48                     | 18,9         | 0,66                                    |
|              | 04      | 5,09x3,01x1,87 | 28,65                     | 17,2         | 0,60                                    |
|              | 05      | 5,08x3,01x1,88 | 28,75                     | 17,2         | 0,60                                    |
|              | 06      | 4,99x2,99x1,85 | 27,60                     | 18,5         | 0,67                                    |
| <b>Média</b> |         |                | <b>28,37</b>              | <b>18,02</b> | <b>0,64</b>                             |
| Palete 05    | 01      | 5,08x2,96x1,71 | 25,71                     | 12,8         | 0,50                                    |
|              | 02      | 5,08x2,98x1,68 | 25,43                     | 12,2         | 0,48                                    |
|              | 03      | 5,07x3,03x1,69 | 25,96                     | 11,8         | 0,45                                    |
|              | 04      | 5,07x3,03x1,72 | 26,42                     | 12,1         | 0,46                                    |
|              | 05      | 5,07x3,01x1,69 | 25,79                     | 12,4         | 0,48                                    |
|              | 06      | 5,07x3,03x1,69 | 25,96                     | 11,7         | 0,45                                    |
| <b>Média</b> |         |                | <b>25,88</b>              | <b>12,16</b> | <b>0,47</b>                             |

| Nº           | Amostra | Dimensões<br>(cm) | Volume<br>(cm <sup>3</sup> ) | Peso (g)     | Densidade Aparente<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|---------|-------------------|------------------------------|--------------|--|
| Paleta 06    | 01      | 5,09x3,01x1,64    | 25,13                        | 20,4         | 0,81                                       |
|              | 02      | 5,14x3,00x1,65    | 25,44                        | 14,6         | 0,57                                       |
|              | 03      | 5,05x3,00x1,65    | 25,00                        | 16,4         | 0,66                                       |
|              | 04      | 5,05x3,00x1,64    | 24,85                        | 20,1         | 0,81                                       |
|              | 05      | 5,05x3,03x1,64    | 25,09                        | 19,1         | 0,76                                       |
|              | 06      | 5,07x3,03x1,68    | 25,81                        | 20,3         | 0,79                                       |
| <b>Média</b> |         |                   | <b>25,22</b>                 | <b>18,48</b> | <b>0,73</b>                                |
| Paleta 07    | 01      | 5,05x3,02x1,74    | 26,54                        | 17,2         | 0,65                                       |
|              | 02      | 5,00x2,99x1,76    | 26,31                        | 17,1         | 0,65                                       |
|              | 03      | 5,04x3,02x1,75    | 26,64                        | 17,3         | 0,65                                       |
|              | 04      | 5,04x3,01x1,73    | 26,24                        | 17,2         | 0,66                                       |
|              | 05      | 5,10x2,99x1,75    | 26,69                        | 17,9         | 0,67                                       |
|              | 06      | 5,13x2,99x1,79    | 27,46                        | 17,6         | 0,64                                       |
| <b>Média</b> |         |                   | <b>26,65</b>                 | <b>17,38</b> | <b>0,65</b>                                |
| Paleta 08    | 01      | 5,05x3,01x1,89    | 28,73                        | 19,5         | 0,68                                       |
|              | 02      | 5,04x2,99x1,99    | 29,99                        | 17,2         | 0,57                                       |
|              | 03      | 5,06x3,02x1,89    | 28,88                        | 19,3         | 0,67                                       |
|              | 04      | 5,08x3,04x1,89    | 29,19                        | 18,4         | 0,63                                       |
|              | 05      | 5,08x3,02x1,93    | 29,61                        | 17,8         | 0,60                                       |
|              | 06      | 4,99x3,02x1,94    | 29,23                        | 18,1         | 0,62                                       |
| <b>Média</b> |         |                   | <b>29,27</b>                 | <b>18,38</b> | <b>0,63</b>                                |
| Paleta 09    | 01      | 5,06x3,05x1,82    | 28,09                        | 13,7         | 0,48                                       |
|              | 02      | 5,06x3,01x1,79    | 27,26                        | 13,6         | 0,50                                       |
|              | 03      | 5,05x2,95x1,89    | 28,16                        | 14,7         | 0,52                                       |
|              | 04      | 5,06x3,01x1,83    | 27,87                        | 13,1         | 0,47                                       |
|              | 05      | 5,06x2,96x1,89    | 28,31                        | 14,6         | 0,52                                       |
|              | 06      | 5,08x2,98x1,79    | 27,09                        | 13,6         | 0,50                                       |
| <b>Média</b> |         |                   | <b>27,80</b>                 | <b>13,88</b> | <b>0,50</b>                                |
| Paleta 10    | 01      | 5,08x2,91x1,86    | 27,50                        | 15,7         | 0,57                                       |
|              | 02      | 5,05x2,97x1,89    | 28,35                        | 16,0         | 0,56                                       |
|              | 03      | 5,08x3,02x1,85    | 28,38                        | 18,2         | 0,64                                       |
|              | 04      | 5,03x2,97x1,83    | 27,34                        | 16,3         | 0,59                                       |
|              | 05      | 5,06x2,96x1,82    | 27,26                        | 18,0         | 0,66                                       |
|              | 06      | 5,09x3,02x1,88    | 28,90                        | 18,6         | 0,64                                       |
| <b>Média</b> |         |                   | <b>27,95</b>                 | <b>17,13</b> | <b>0,61</b>                                |

Observação: Umidade 12%

## APÊNDICE B

B1 – Representações gráficas do container de treinamento: elevações.

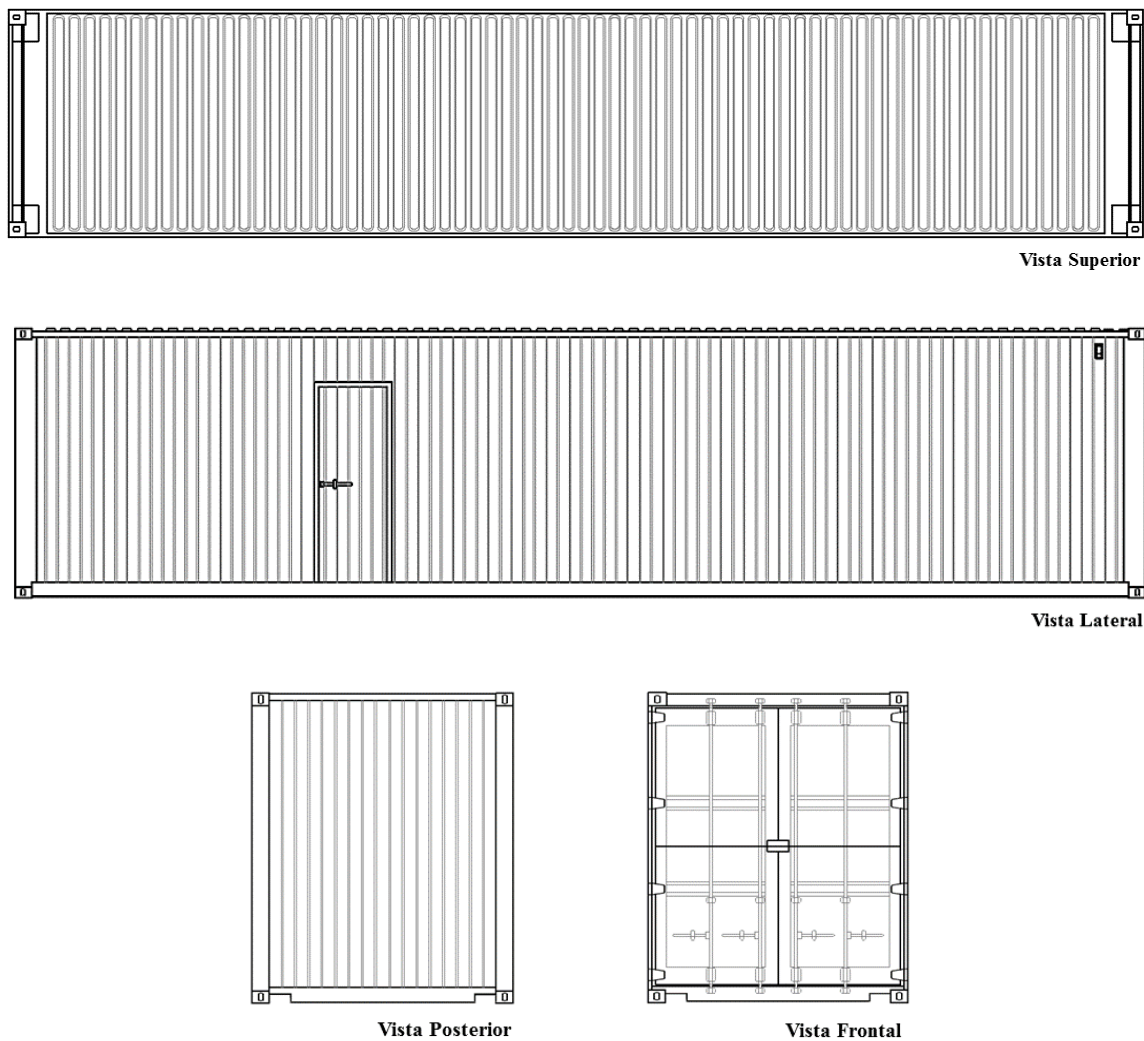


Figura B1: Elevações do container de treinamento. Sem escala.

B2 – Representações gráficas do container de treinamento: especificações, planta técnica e seções.

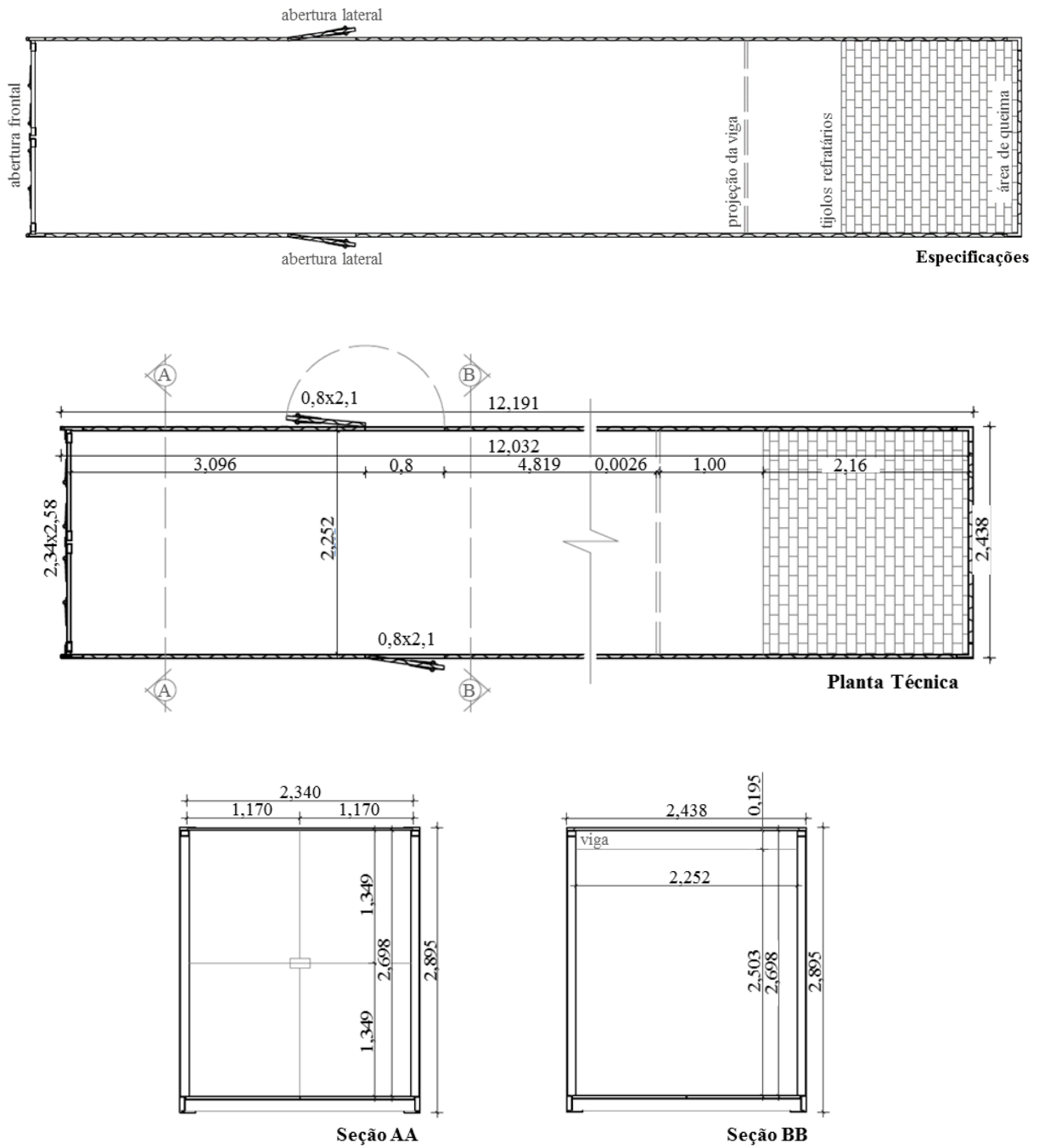


Figura B2: Planta técnica e seções AA e BB do container de treinamento.

Unidade de medida: Metro. Sem escala.



B3 – Representações gráficas do container de treinamento: especificações dos dispositivos termopares.

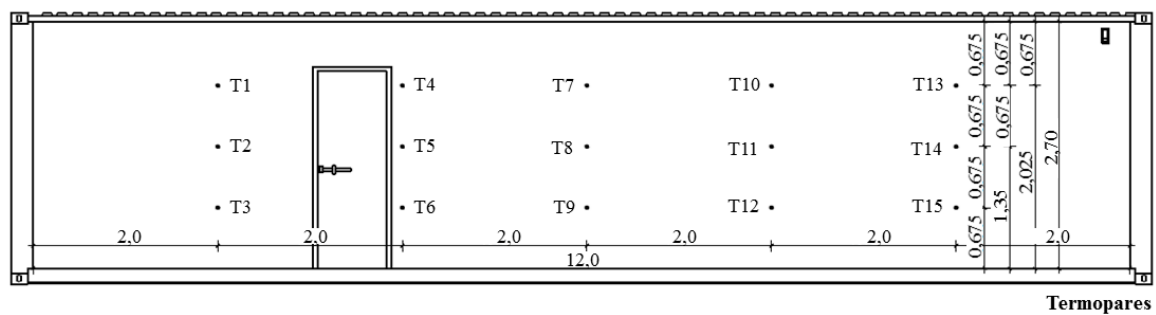


Figura B3: Especificações dos dispositivos termopares.

Unidade de medida: Metro. Imagem sem escala.

## APÊNDICE C

C1 - Gráficos sincronizados de acordo com o tempo de início dos ensaios.

- Ensaios 01, 02, 03 e 04

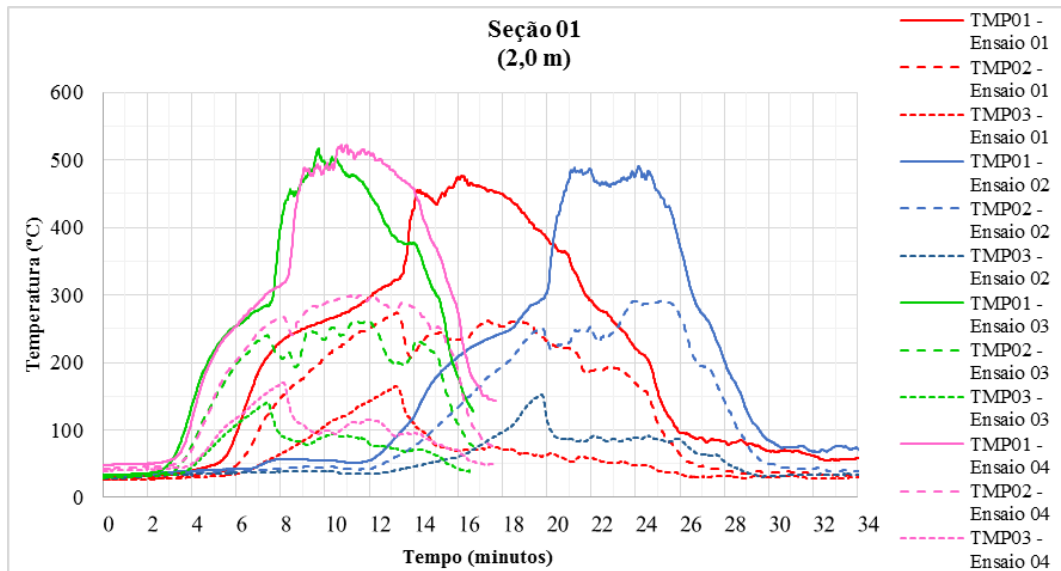


Figura C1: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

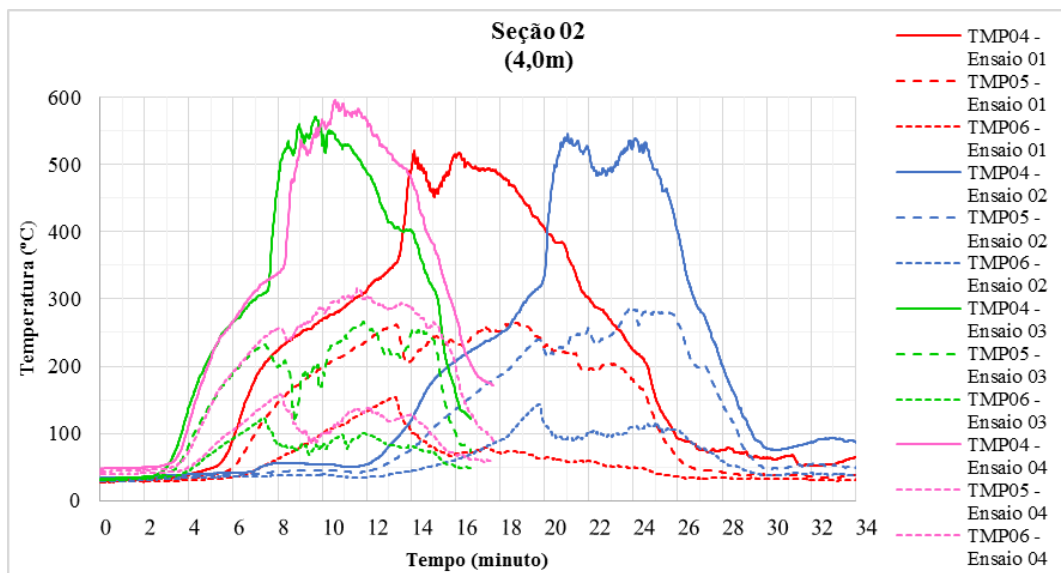


Figura C2: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

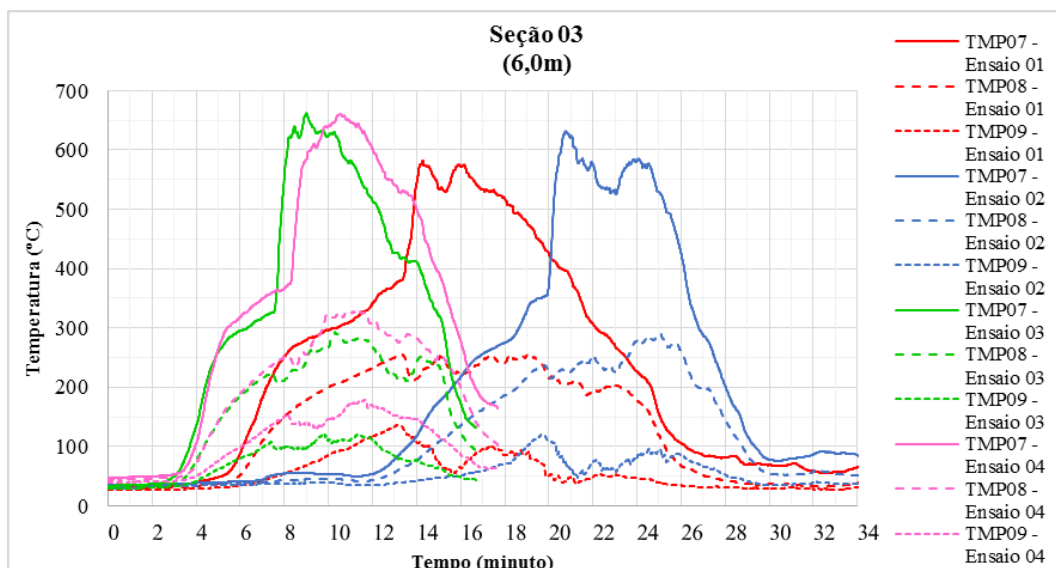


Figura C3: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

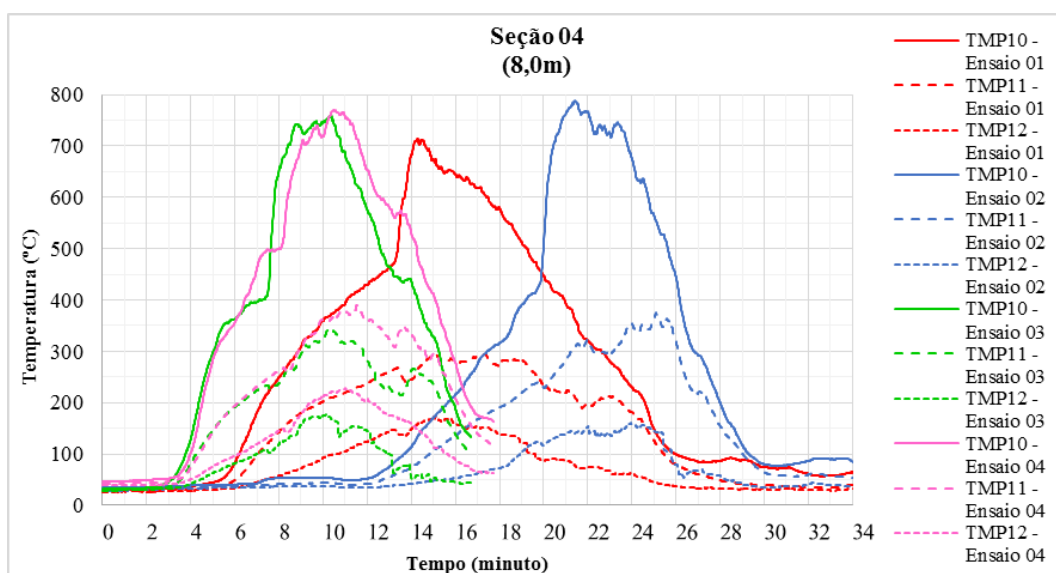


Figura C4: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

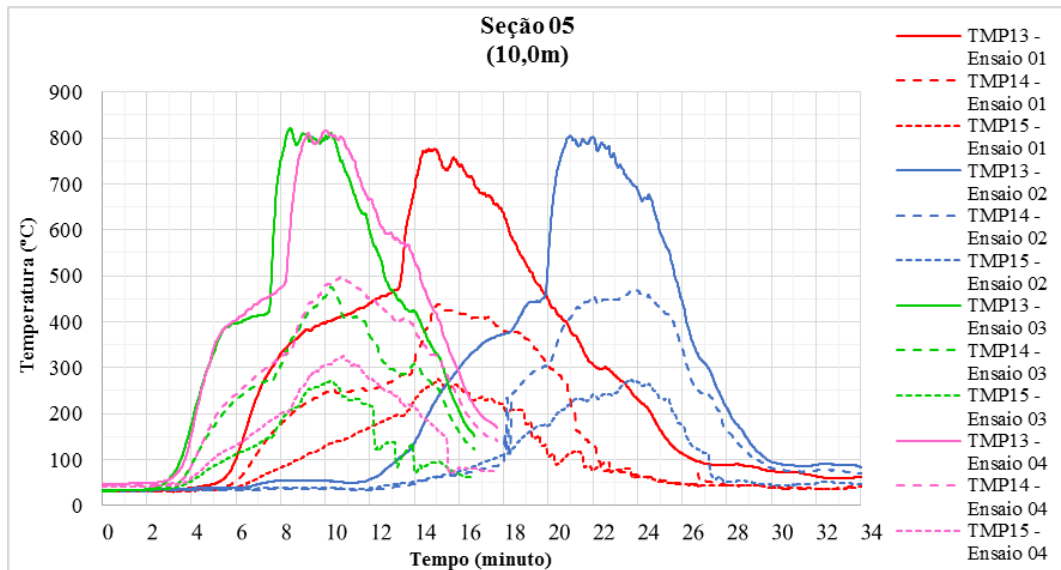


Figura C5: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaios 01, 02, 03 e 04.

▪ Ensaios 05, 06 e 07

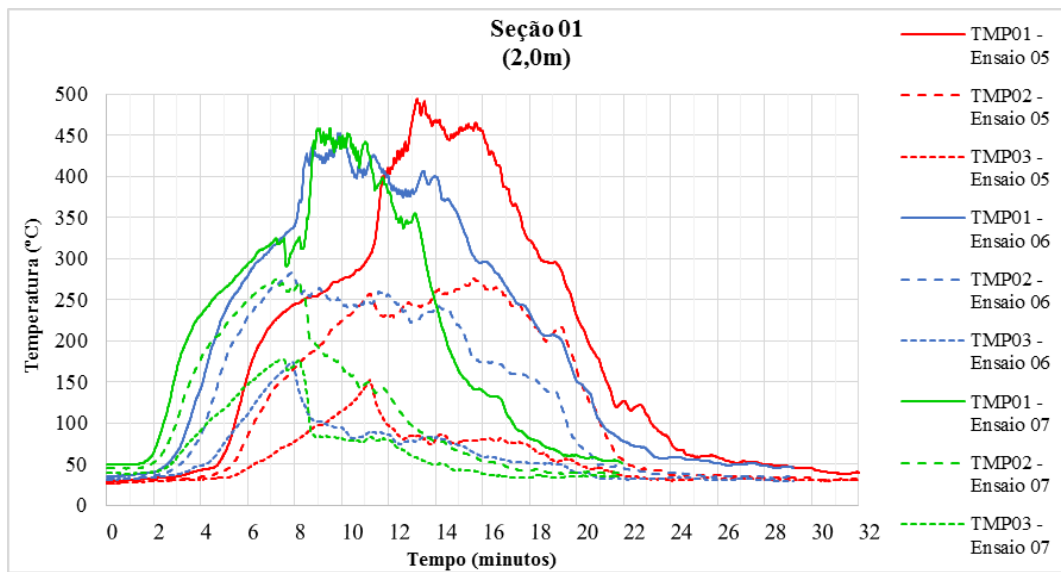


Figura C6: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaios 05, 06 e 07.

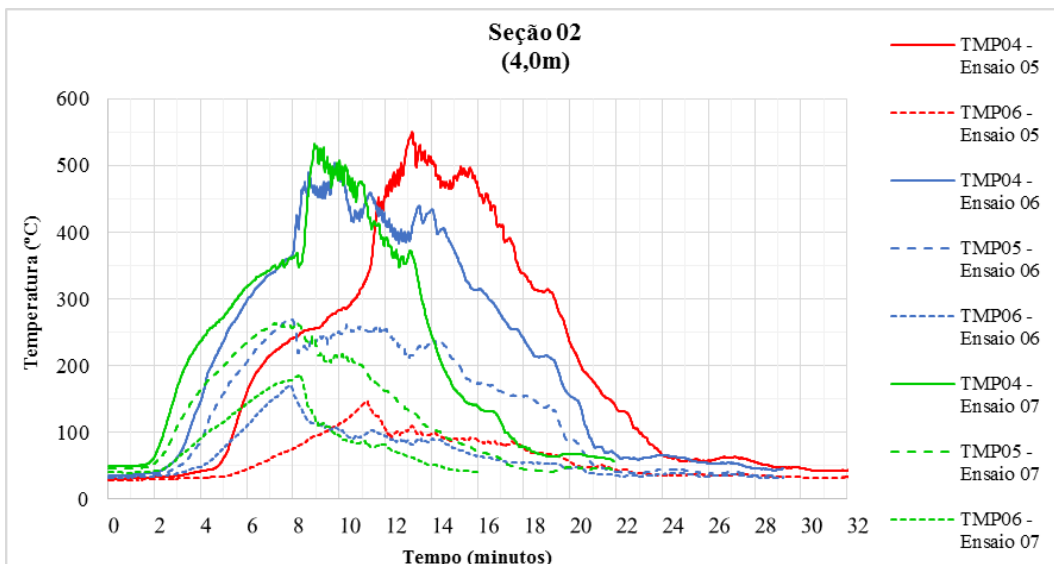


Figura C7: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaios 05, 06 e 07.

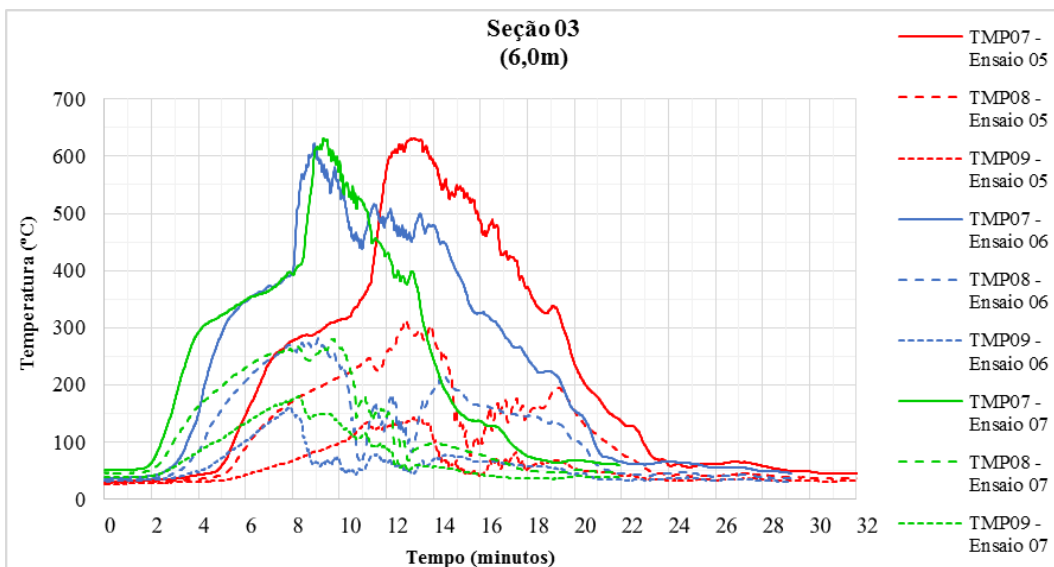


Figura C8: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaios 05, 06 e 07.

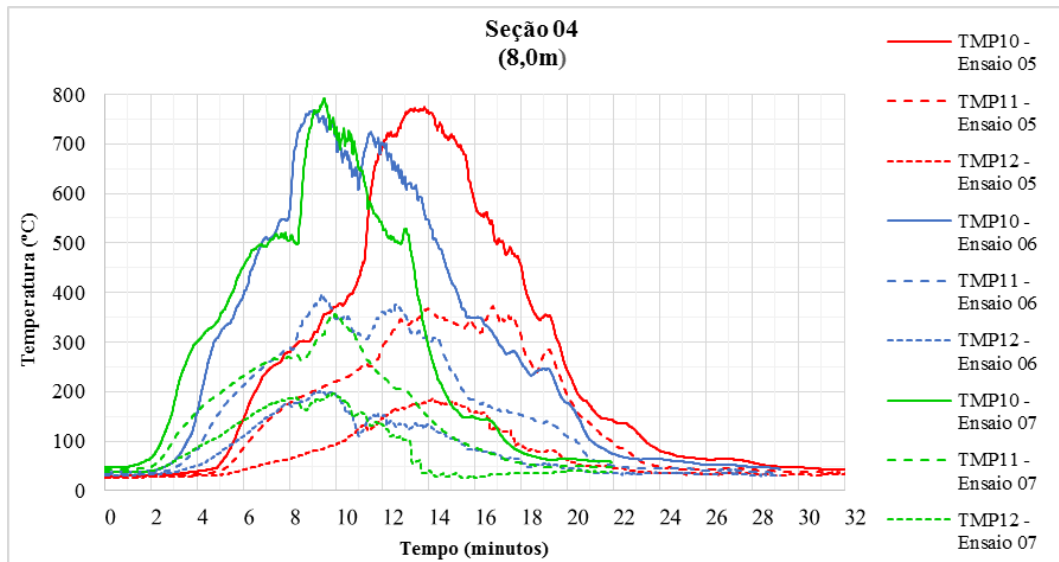


Figura C9: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaios 05, 06 e 07.

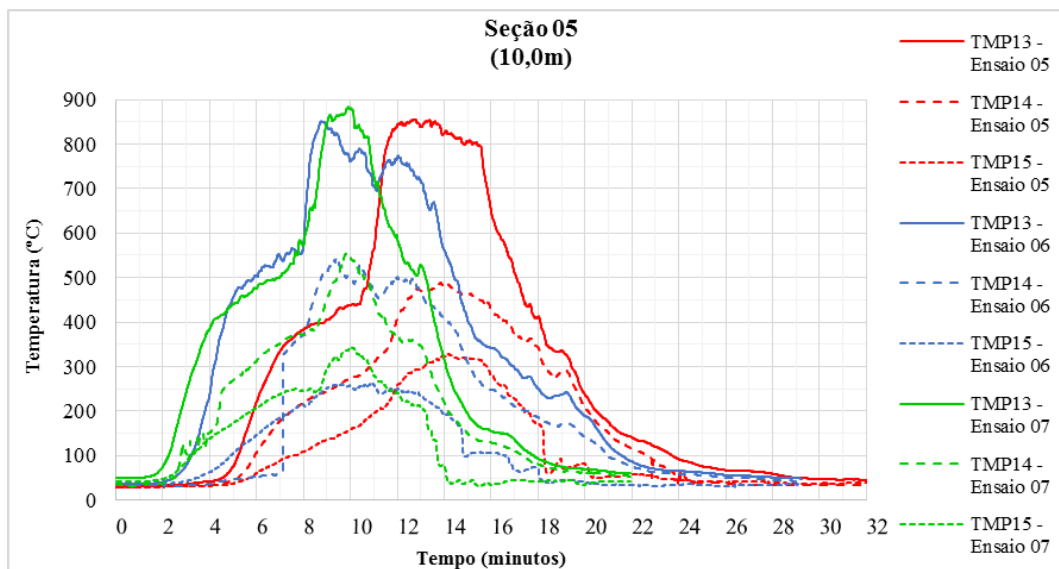


Figura C10: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaios 05, 06 e 07.

▪ Ensaio 08, 09 e 10

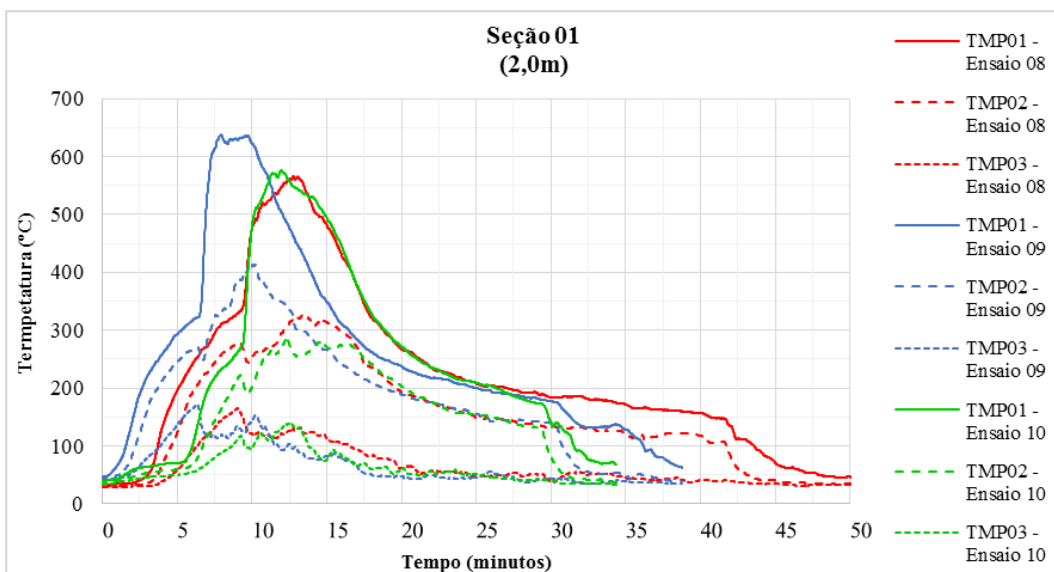


Figura C11: Gráficos do perfil de temperatura, seção 01 – Ensaio 08, 09 e 10.

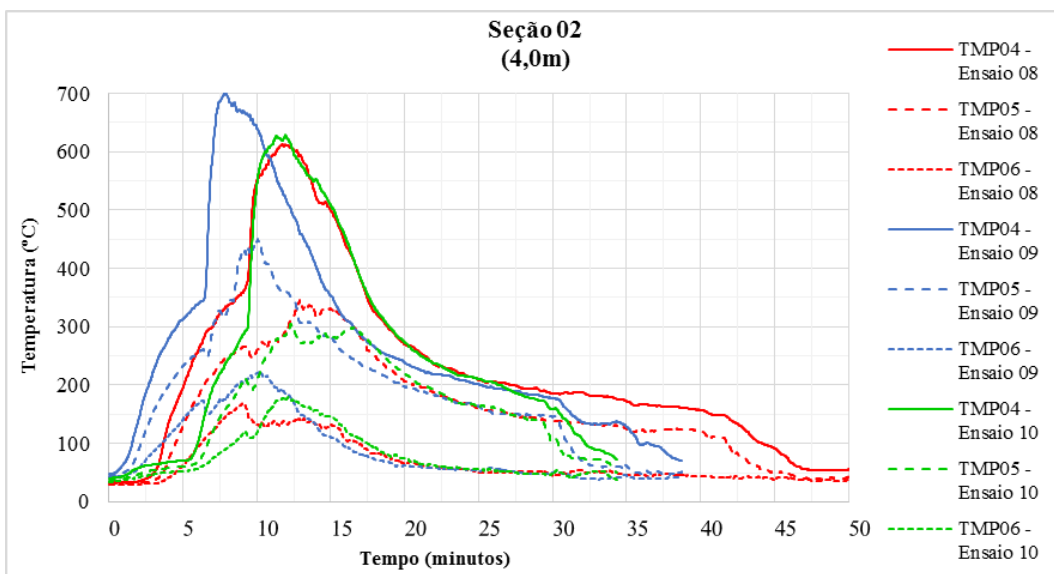


Figura C12: Gráficos do perfil de temperatura, seção 02 – Ensaio 08, 09 e 10.

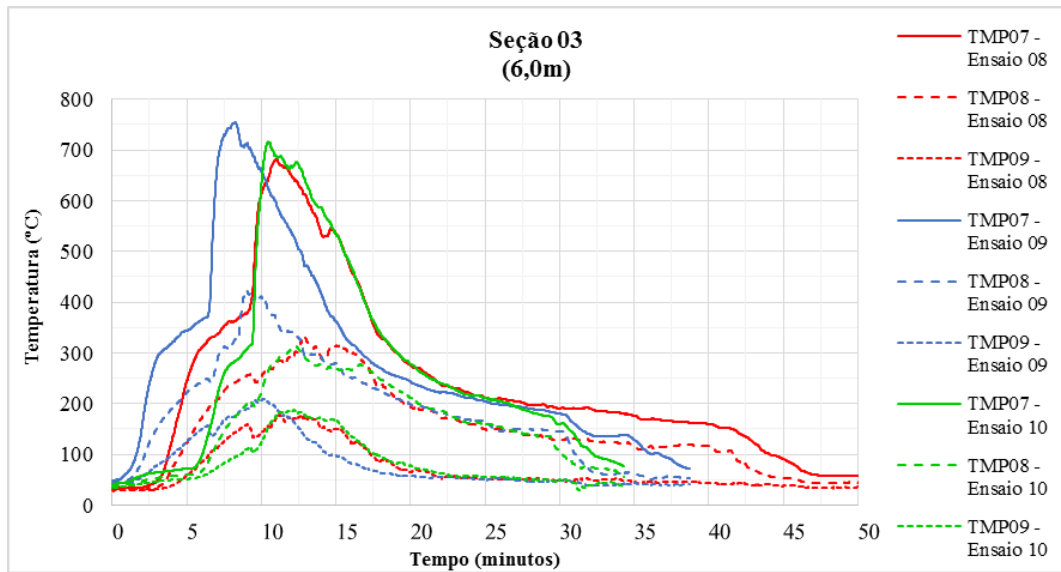


Figura C13: Gráficos do perfil de temperatura, seção 03 – Ensaios 08, 09 e 10.

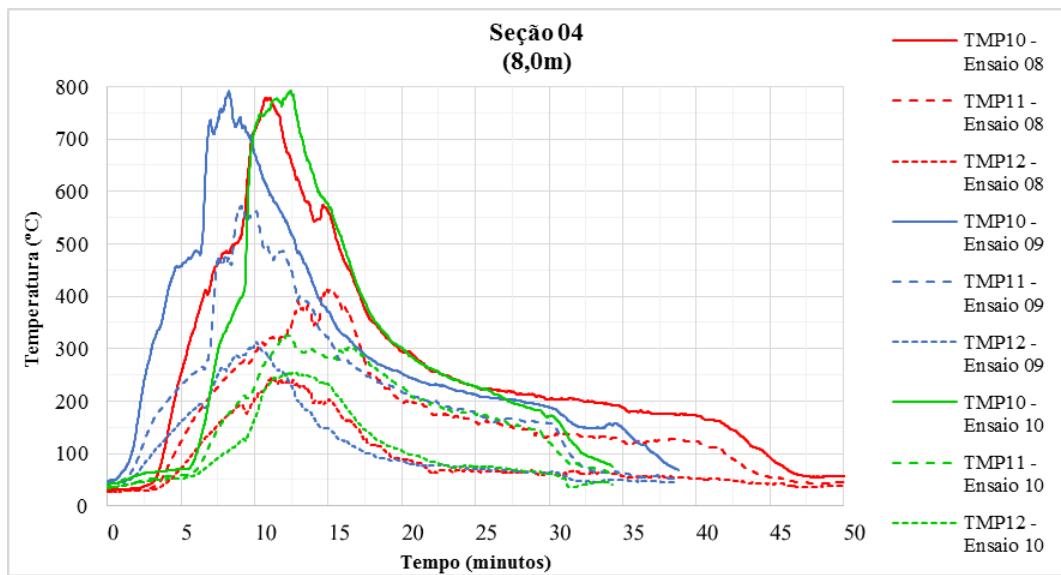


Figura C14: Gráficos do perfil de temperatura, seção 04 – Ensaios 08, 09 e 10.



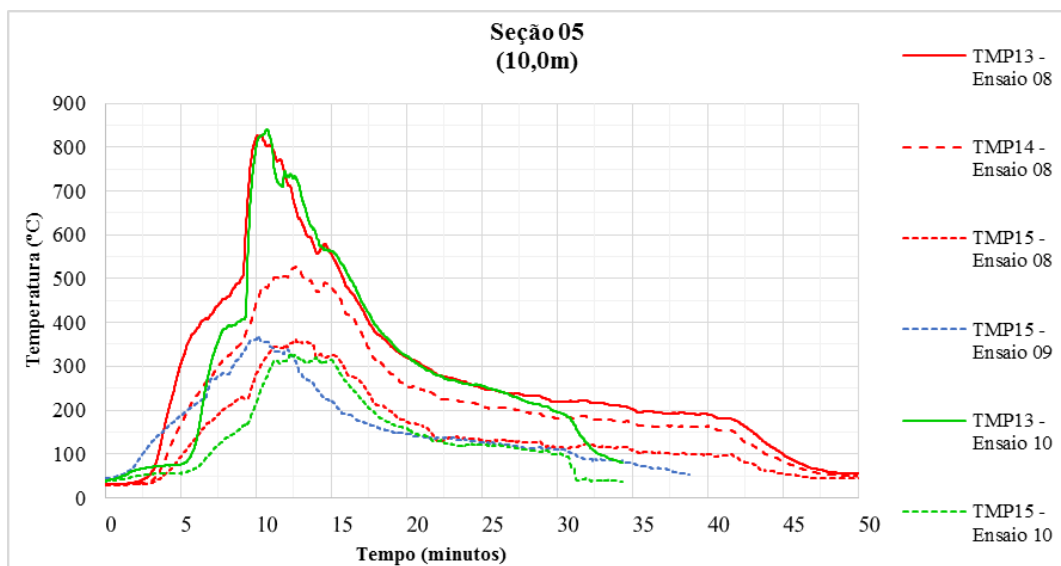


Figura C15: Gráficos do perfil de temperatura, seção 05 – Ensaios 08, 09 e 10.

## APÊNDICE D

Tabela D1: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 01.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 13:08 | ■ PUL               | 42 | 17:50 | ■ PCT               | 83  | 21:06 | ■ PCT               |
| 02           | 13:14 | ■ PUL               | 43 | 17:50 | ■ PCT               | 84  | 21:08 | ■ PCT               |
| 03           | 13:26 | ■ PUL               | 44 | 17:51 | ■ PCT               | 85  | 21:10 | ■ PCT               |
| 04           | 13:32 | ■ PUL               | 45 | 18:02 | ■ PCT               | 86  | 21:11 | ■ PCT               |
| 05           | 13:38 | ■ PUL               | 46 | 18:11 | ■ PUL               | 87  | 21:13 | ■ PCT               |
| 06           | 13:44 | ■ PUL               | 47 | 18:13 | ■ PUL               | 88  | 21:15 | ■ PCT               |
| 07           | 13:49 | ■ PUL               | 48 | 18:17 | ■ PUL               | 89  | 21:40 | Paletes derrubados  |
| 08           | 13:54 | ■ PUL               | 49 | 18:20 | ■ PCT               | 90  | 21:47 | ■ PCT               |
| 09           | 14:00 | ■ PUL               | 50 | 18:21 | Troca de combatente | 91  | 21:48 | ■ PCT               |
| 10           | 14:05 | ■ PUL               | 51 | 18:30 | ■ PCT               | 92  | 21:49 | ■ PCT               |
| 11           | 14:10 | ■ PUL               | 52 | 18:33 | ■ PCT               | 93  | 21:59 | ■ PCT               |
| 12           | 14:14 | ■ PUL               | 53 | 18:44 | ■ PUL               | 94  | 22:01 | ■ PCT               |
| 13           | 14:19 | ■ PUL               | 54 | 18:52 | ■ PCT               | 95  | 22:02 | ■ PCT               |
| 14           | 14:25 | ■ PUL               | 55 | 18:54 | ■ PCT               | 96  | 22:09 | ■ PCT               |
| 15           | 14:30 | ■ PUL               | 56 | 18:55 | ■ PCT               | 97  | 22:10 | ■ PCT               |
| 16           | 14:36 | ■ PUL               | 57 | 19:04 | ■ PUL               | 98  | 22:11 | ■ PCT               |
| 17           | 14:42 | ■ PUL               | 58 | 19:14 | ■ PCT               | 99  | 22:18 | ■ PCT               |
| 18           | 14:46 | ■ PUL               | 59 | 19:17 | ■ PCT               | 100 | 22:19 | ■ PCT               |
| 19           | 14:51 | ■ PUL               | 60 | 19:20 | ■ PCT               | 101 | 22:20 | ■ PCT               |
| 20           | 14:55 | ■ PUL               | 61 | 19:25 | ■ PUL               | 102 | 22:21 | ■ PCT               |
| 21           | 15:15 | ■ PUL               | 62 | 19:31 | ■ PCT               | 103 | 22:22 | ■ PCT               |
| 22           | 15:20 | ■ PUL               | 63 | 19:32 | ■ PCT               | 104 | 22:34 | ■ PCT               |
| 23           | 15:27 | ■ PCT               | 64 | 19:35 | ■ PCT               | 105 | 22:35 | ■ PCT               |
| 24           | 15:30 | ■ PCT               | 65 | 19:44 | ■ PUL               | 106 | 22:38 | ■ PCT               |
| 25           | 15:38 | ■ PCT               | 66 | 20:04 | ■ PCT               | 107 | 22:40 | ■ PCT               |
| 26           | 15:44 | ■ PCT               | 67 | 20:06 | ■ PCT               | 108 | 22:41 | ■ PCT               |
| 27           | 15:49 | ■ PCT               | 68 | 20:07 | ■ PCT               | 109 | 22:43 | ■ PCT               |
| 28           | 15:58 | ■ PCT               | 69 | 20:08 | ■ PCT               | 110 | 22:46 | ■ PCT               |
| 29           | 16:04 | ■ PUL               | 70 | 20:10 | ■ PCT               | 111 | 22:47 | ■ PCT               |
| 30           | 16:18 | ■ PUL               | 71 | 20:13 | ■ PCT               | 112 | 22:48 | ■ PCT               |
| 31           | 16:20 | ■ PCT               | 72 | 20:23 | ■ PUL               | 113 | 22:51 | ■ PCT               |
| 32           | 16:25 | ■ PCT               | 73 | 20:31 | ■ PCT               | 114 | 22:55 | ■ PCT               |
| 33           | 16:33 | ■ PUL               | 74 | 20:32 | ■ PCT               | 115 | 22:57 | ■ PCT               |
| 34           | 16:43 | ■ PCT               | 75 | 20:33 | ■ PCT               | 116 | 22:58 | ■ PCT               |
| 35           | 16:52 | ■ PUL               | 76 | 20:43 | ■ PCT               | 117 | 23:01 | ■ PCT               |
| 36           | 16:59 | ■ PCT               | 77 | 20:45 | ■ PCT               | 118 | 23:03 | ■ PCT               |
| 37           | 17:00 | ■ PUL               | 78 | 20:46 | ■ PCT               | 119 | 23:11 | ■ PCT               |
| 38           | 17:09 | ■ PUL               | 79 | 20:47 | ■ PCT               | 120 | 23:13 | ■ PCT               |
| 39           | 17:16 | ■ PCT               | 80 | 20:56 | ■ PCT               | 121 | 23:14 | ■ PCT               |
| 40           | 17:19 | ■ PCT               | 81 | 20:58 | ■ PCT               | 122 | 23:30 | ■ JM                |
| 41           | 17:37 | ■ PUL               | 82 | 21:00 | ■ PCT               | 123 | 24:00 | ■ RES               |

■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D2: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 02.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |    |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 11:46 | Foco foi reacendido | 31 | 22:40 | ■ PUL               | 61 | 24:49 | ■ PCT               |
| 02           | 19:03 | ■ PUL               | 32 | 22:43 | ■ PUL               | 62 | 24:52 | ■ PCT               |
| 03           | 19:14 | ■ PUL               | 33 | 22:52 | ■ PCT               | 63 | 24:55 | ■ PCT               |
| 04           | 19:19 | ■ PUL               | 34 | 23:00 | ■ PUL               | 64 | 24:57 | ■ PCT               |
| 05           | 19:28 | ■ PUL               | 35 | 23:03 | ■ PUL               | 65 | 24:58 | ■ PCT               |
| 06           | 19:35 | ■ PUL               | 36 | 23:14 | ■ PUL               | 66 | 25:05 | ■ PCT               |
| 07           | 19:45 | ■ PUL               | 37 | 23:18 | ■ PCT               | 67 | 25:06 | ■ PCT               |
| 08           | 19:52 | ■ PUL               | 38 | 23:20 | ■ PCT               | 68 | 25:08 | ■ PCT               |
| 09           | 20:03 | ■ PUL               | 39 | 23:22 | ■ PCT               | 69 | 25:53 | ■ PUL               |
| 10           | 20:13 | ■ PUL               | 40 | 23:26 | ■ PUL               | 70 | 25:54 | ■ PUL               |
| 11           | 20:22 | ■ PUL               | 41 | 23:32 | ■ PUL               | 71 | 25:55 | ■ PUL               |
| 12           | 20:32 | ■ PUL               | 42 | 23:39 | ■ PUL               | 72 | 26:01 | ■ PCT               |
| 13           | 20:44 | ■ PUL               | 43 | 23:44 | ■ PCT               | 73 | 26:02 | ■ PCT               |
| 14           | 20:53 | ■ PUL               | 44 | 23:46 | ■ PCT               | 74 | 26:03 | ■ PCT               |
| 15           | 21:02 | ■ PUL               | 45 | 23:47 | ■ PCT               | 75 | 26:06 | ■ PCT               |
| 16           | 21:10 | ■ PUL               | 46 | 23:55 | ■ PUL               | 76 | 26:07 | ■ PCT               |
| 17           | 21:18 | ■ PUL               | 47 | 24:00 | ■ PUL               | 77 | 26:08 | ■ PCT               |
| 18           | 21:26 | ■ PUL               | 48 | 24:08 | ■ PUL               | 78 | 26:10 | ■ PCT               |
| 19           | 21:35 | ■ PUL               | 49 | 24:11 | ■ PCT               | 79 | 26:13 | ■ PCT               |
| 20           | 21:41 | ■ PUL               | 50 | 24:13 | ■ PCT               | 80 | 26:14 | ■ PCT               |
| 21           | 21:48 | ■ PUL               | 51 | 24:15 | ■ PCT               | 81 | 26:29 | ■ PCT               |
| 22           | 21:59 | ■ PUL               | 52 | 24:17 | ■ PCT               | 82 | 26:30 | ■ PCT               |
| 23           | 22:05 | ■ PUL               | 53 | 24:19 | ■ PCT               | 84 | 26:32 | ■ PUL               |
| 24           | 22:10 | ■ PUL               | 54 | 24:20 | ■ PCT               | 85 | 26:33 | ■ PUL               |
| 25           | 22:11 | Troca de combatente | 55 | 24:26 | ■ PCT               | 86 | 26:34 | ■ PUL               |
| 26           | 22:17 | ■ PUL               | 56 | 24:30 | ■ PCT               | 87 | 26:35 | ■ PUL               |
| 27           | 22:22 | ■ PUL               | 57 | 24:31 | ■ PCT               | 88 | 26:36 | ■ PUL               |
| 28           | 22:29 | ■ PUL               | 58 | 24:34 | ■ PCT               | 89 | 26:56 | ■ JM                |
| 29           | 22:33 | ■ PCT               | 59 | 24:36 | ■ PCT               | 90 | 27:28 | ■ RES               |
| 30           | 22:35 | ■ PCT               | 60 | 24:38 | ■ PCT               |    |       |                     |

■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D3: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 03.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |    |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 07:09 | ■ PUL               | 30 | 09:41 | ■ PCT               | 59 | 12:04 | ■ PCT               |
| 02           | 07:10 | ■ PUL               | 31 | 09:48 | ■ PCT               | 60 | 12:05 | ■ PCT               |
| 03           | 07:16 | ■ PUL               | 32 | 09:58 | Troca de combatente | 61 | 12:07 | ■ PCT               |
| 04           | 07:21 | ■ PUL               | 33 | 10:05 | ■ PCT               | 62 | 12:23 | ■ PCT               |
| 05           | 07:22 | ■ PUL               | 34 | 10:09 | ■ PCT               | 63 | 13:18 | ■ PCT               |
| 06           | 07:27 | ■ PUL               | 35 | 10:12 | ■ PCT               | 64 | 13:19 | ■ PCT               |
| 07           | 07:34 | ■ PUL               | 36 | 10:16 | ■ PUL               | 65 | 13:20 | ■ PCT               |
| 08           | 07:37 | ■ PUL               | 37 | 10:18 | ■ PUL               | 66 | 13:22 | ■ PCT               |
| 09           | 07:42 | ■ PUL               | 38 | 10:22 | ■ PCT               | 67 | 13:31 | ■ PCT               |
| 10           | 07:47 | ■ PUL               | 39 | 10:24 | ■ PUL               | 68 | 13:32 | ■ PCT               |
| 11           | 07:50 | ■ PUL               | 40 | 10:26 | ■ PCT               | 69 | 13:33 | ■ PCT               |
| 12           | 07:57 | ■ PUL               | 41 | 10:30 | ■ PCT               | 70 | 13:34 | ■ PCT               |
| 13           | 08:00 | ■ PUL               | 42 | 10:34 | ■ PCT               | 71 | 13:44 | ■ PCT               |
| 14           | 08:07 | ■ PUL               | 43 | 10:42 | ■ PCT               | 72 | 13:45 | ■ PCT               |
| 15           | 08:09 | ■ PUL               | 44 | 10:46 | ■ PCT               | 73 | 13:46 | ■ PCT               |
| 16           | 08:15 | ■ PUL               | 45 | 10:53 | ■ PCT               | 74 | 13:54 | ■ PCT               |
| 17           | 08:20 | ■ PUL               | 46 | 10:58 | ■ PCT               | 75 | 13:55 | ■ PCT               |
| 18           | 08:25 | ■ PUL               | 47 | 11:00 | ■ PCT               | 76 | 14:00 | ■ PCT               |
| 19           | 08:33 | ■ PUL               | 48 | 11:04 | ■ PCT               | 77 | 14:04 | ■ PCT               |
| 20           | 08:39 | ■ PUL               | 49 | 11:06 | ■ PCT               | 78 | 14:05 | ■ PCT               |
| 21           | 08:42 | ■ PUL               | 50 | 11:12 | ■ PCT               | 79 | 14:06 | ■ PCT               |
| 22           | 09:10 | ■ PUL               | 51 | 11:15 | ■ PCT               | 80 | 14:16 | ■ PCT               |
| 23           | 09:15 | ■ PUL               | 52 | 11:23 | ■ PCT               | 81 | 14:17 | ■ PCT               |
| 24           | 09:24 | ■ PUL               | 53 | 11:27 | ■ PCT               | 82 | 14:18 | ■ PCT               |
| 25           | 09:26 | ■ PUL               | 54 | 11:30 | ■ PCT               | 84 | 14:22 | ■ PCT               |
| 26           | 09:29 | ■ PCT               | 55 | 11:36 | ■ PCT               | 85 | 14:23 | ■ PCT               |
| 27           | 09:31 | ■ PCT               | 56 | 11:39 | ■ PCT               | 86 | 14:35 | ■ JM                |
| 28           | 09:35 | ■ PUL               | 57 | 11:43 | ■ PCT               | 87 | 15:20 | ■ RES               |
| 29           | 09:38 | ■ PCT               | 58 | 12:00 | ■ PCT               |    |       |                     |

■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D4: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 04.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 08:34 | ■ PUL               | 35 | 11:31 | ■ PCT               | 69  | 14:06 | ■ PCT               |
| 02           | 08:35 | ■ PUL               | 36 | 11:40 | ■ PUL               | 70  | 14:07 | ■ PCT               |
| 03           | 08:38 | ■ PUL               | 37 | 11:44 | ■ PCT               | 71  | 14:08 | ■ PCT               |
| 04           | 08:42 | ■ PUL               | 38 | 11:48 | ■ PCT               | 72  | 14:09 | ■ PCT               |
| 05           | 08:47 | ■ PUL               | 39 | 11:53 | ■ PUL               | 73  | 14:10 | ■ PCT               |
| 06           | 08:51 | ■ PUL               | 40 | 11:59 | ■ PCT               | 74  | 14:11 | ■ PCT               |
| 07           | 08:57 | ■ PUL               | 41 | 12:03 | ■ PCT               | 75  | 14:12 | ■ PCT               |
| 08           | 09:00 | ■ PUL               | 42 | 12:07 | ■ PUL               | 76  | 14:22 | ■ PCT               |
| 09           | 09:06 | ■ PUL               | 43 | 12:16 | ■ PCT               | 77  | 14:24 | ■ PCT               |
| 10           | 09:10 | ■ PUL               | 44 | 12:19 | ■ PCT               | 78  | 14:25 | ■ PCT               |
| 11           | 09:13 | ■ PUL               | 45 | 12:27 | ■ PUL               | 79  | 14:28 | ■ PCT               |
| 12           | 09:17 | ■ PUL               | 46 | 12:30 | ■ PCT               | 80  | 14:29 | ■ PCT               |
| 13           | 09:24 | ■ PUL               | 47 | 12:32 | ■ PCT               | 81  | 14:32 | ■ PCT               |
| 14           | 09:35 | ■ PUL               | 48 | 12:48 | ■ PUL               | 82  | 14:52 | ■ PCT               |
| 15           | 09:40 | ■ PUL               | 49 | 12:51 | ■ PCT               | 84  | 14:53 | ■ PCT               |
| 16           | 09:47 | ■ PUL               | 50 | 12:58 | ■ PCT               | 85  | 14:54 | ■ PCT               |
| 17           | 09:55 | ■ PUL               | 51 | 13:00 | ■ PCT               | 86  | 14:57 | ■ PCT               |
| 18           | 10:00 | ■ PUL               | 52 | 13:02 | ■ PCT               | 87  | 15:01 | ■ PCT               |
| 19           | 10:05 | ■ PUL               | 53 | 13:11 | ■ PCT               | 88  | 15:02 | ■ PCT               |
| 20           | 10:12 | ■ PUL               | 54 | 13:12 | ■ PCT               | 89  | 15:03 | ■ PCT               |
| 21           | 10:29 | ■ PUL               | 55 | 13:13 | ■ PCT               | 90  | 15:04 | ■ PCT               |
| 22           | 10:33 | ■ PCT               | 56 | 13:22 | ■ PCT               | 91  | 15:05 | ■ PCT               |
| 23           | 10:38 | ■ PUL               | 57 | 13:23 | ■ PCT               | 92  | 15:06 | ■ PCT               |
| 24           | 10:46 | ■ PCT               | 58 | 13:26 | ■ PCT               | 93  | 15:07 | ■ PCT               |
| 25           | 10:49 | ■ PCT               | 59 | 13:36 | ■ PCT               | 94  | 15:16 | ■ PCT               |
| 26           | 10:53 | ■ PUL               | 60 | 13:37 | ■ PCT               | 95  | 15:22 | ■ PCT               |
| 27           | 10:58 | ■ PCT               | 61 | 13:38 | ■ PCT               | 96  | 15:23 | ■ PCT               |
| 28           | 11:00 | ■ PCT               | 62 | 13:47 | ■ PCT               | 97  | 15:24 | ■ PCT               |
| 29           | 11:01 | Troca de combatente | 63 | 13:48 | ■ PCT               | 98  | 15:25 | ■ PCT               |
| 30           | 11:10 | ■ PUL               | 64 | 13:49 | ■ PCT               | 99  | 15:26 | ■ PCT               |
| 31           | 11:12 | ■ PCT               | 65 | 13:50 | ■ PCT               | 100 | 15:30 | ■ JM                |
| 32           | 11:15 | ■ PCT               | 66 | 13:52 | ■ PCT               | 101 | 15:44 | ■ RES               |
| 33           | 11:24 | ■ PUL               | 67 | 13:53 | ■ PCT               |     |       |                     |
| 34           | 11:29 | ■ PCT               | 68 | 13:54 | ■ PCT               |     |       |                     |

■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D5: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 05.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 10:54 | ■ PUL1              | 41 | 14:55 | ■ PUL2              | 81  | 16:48 | ■ PCT               |
| 02           | 10:59 | ■ PUL2              | 42 | 14:57 | ■ PCT               | 82  | 16:50 | ■ PCT               |
| 03           | 11:06 | ■ PUL2              | 43 | 15:01 | ■ PUL2              | 84  | 16:51 | ■ PCT               |
| 04           | 11:13 | ■ PUL2              | 44 | 15:04 | ■ PCT               | 85  | 16:52 | ■ PCT               |
| 05           | 11:22 | ■ PUL2              | 45 | 15:08 | ■ PUL2              | 86  | 17:09 | ■ PCT               |
| 06           | 11:32 | ■ PUL2              | 46 | 15:11 | ■ PUL2              | 87  | 17:10 | ■ PCT               |
| 07           | 11:41 | ■ PUL2              | 47 | 15:14 | ■ PCT               | 88  | 17:11 | ■ PCT               |
| 08           | 11:52 | ■ PUL2              | 48 | 15:17 | ■ PCT               | 89  | 17:12 | ■ PCT               |
| 09           | 11:54 | Troca de combatente | 49 | 15:20 | ■ PUL2              | 90  | 17:13 | ■ PCT               |
| 10           | 12:20 | ■ PUL1              | 50 | 15:24 | ■ PCT               | 91  | 17:14 | ■ PCT               |
| 11           | 12:27 | ■ PUL2              | 51 | 15:27 | ■ PCT               | 92  | 17:22 | ■ PCT               |
| 12           | 12:40 | ■ PUL2              | 52 | 15:29 | ■ PCT               | 93  | 17:23 | ■ PCT               |
| 13           | 12:46 | ■ PUL1              | 53 | 15:30 | ■ PCT               | 94  | 17:26 | ■ PCT               |
| 14           | 12:52 | ■ PUL1              | 54 | 15:31 | ■ PCT               | 95  | 18:09 | ■ PCT               |
| 15           | 12:56 | ■ PUL1              | 55 | 15:35 | ■ PUL2              | 96  | 18:10 | ■ PCT               |
| 16           | 13:02 | ■ PUL1              | 56 | 15:41 | ■ PUL2              | 97  | 18:12 | ■ PCT               |
| 17           | 13:08 | ■ PUL2              | 57 | 15:44 | ■ PCT               | 98  | 18:14 | ■ PCT               |
| 18           | 13:12 | ■ PUL2              | 58 | 15:45 | ■ PCT               | 99  | 18:15 | ■ PCT               |
| 19           | 13:16 | ■ PUL2              | 59 | 15:48 | ■ PCT               | 100 | 18:18 | ■ PCT               |
| 20           | 13:20 | ■ PUL2              | 60 | 15:49 | ■ PCT               | 101 | 18:19 | ■ PCT               |
| 21           | 13:22 | ■ PUL2              | 61 | 15:53 | ■ PUL2              | 102 | 18:20 | ■ PCT               |
| 22           | 13:27 | ■ PUL2              | 62 | 15:55 | ■ PUL2              | 103 | 18:25 | ■ PCT               |
| 23           | 13:31 | ■ PUL2              | 63 | 16:01 | ■ PCT               | 104 | 18:26 | ■ PCT               |
| 24           | 13:36 | ■ PUL2              | 64 | 16:02 | ■ PCT               | 105 | 18:28 | ■ PCT               |
| 25           | 13:40 | ■ PUL2              | 65 | 16:03 | ■ PCT               | 106 | 18:30 | ■ PCT               |
| 26           | 13:46 | ■ PUL2              | 66 | 16:14 | ■ PUL2              | 107 | 18:31 | ■ PCT               |
| 27           | 13:51 | ■ PUL2              | 67 | 16:15 | ■ PUL2              | 108 | 18:33 | ■ PCT               |
| 28           | 13:56 | ■ PUL2              | 68 | 16:17 | ■ PCT               | 109 | 18:43 | ■ PCT               |
| 29           | 14:01 | ■ PUL2              | 69 | 16:21 | ■ PUL2              | 110 | 18:45 | ■ PCT               |
| 30           | 14:07 | ■ PUL2              | 70 | 16:22 | ■ PCT               | 111 | 18:47 | ■ PCT               |
| 31           | 14:13 | ■ PUL2              | 71 | 16:27 | ■ PCT               | 112 | 18:48 | ■ PCT               |
| 32           | 14:18 | ■ PUL2              | 72 | 16:29 | ■ PCT               | 113 | 18:50 | ■ PCT               |
| 33           | 14:26 | ■ PUL2              | 73 | 16:30 | ■ PCT               | 114 | 18:52 | ■ PCT               |
| 34           | 14:32 | ■ PUL2              | 74 | 16:31 | ■ PCT               | 115 | 18:53 | ■ PCT               |
| 35           | 14:36 | ■ PUL2              | 75 | 16:32 | ■ PCT               | 116 | 18:54 | ■ PCT               |
| 36           | 14:41 | ■ PUL2              | 76 | 16:33 | ■ PCT               | 117 | 18:56 | ■ PCT               |
| 37           | 14:44 | ■ PCT               | 77 | 16:41 | ■ PUL2              | 118 | 19:14 | ■ JM                |
| 38           | 14:47 | ■ PCT               | 78 | 16:42 | ■ PCT               | 119 | 19:20 | ■ RES               |
| 39           | 14:49 | ■ PCT               | 79 | 16:43 | ■ PCT               |     |       |                     |
| 40           | 14:53 | ■ PCT               | 80 | 16:44 | ■ PCT               |     |       |                     |

■ PUL1 – 1 Pulso; ■ PUL2 – 2 Pulsos; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D6: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 06.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 07:21 | ■ PUL               | 50 | 12:30 | ■ PCT               | 99  | 16:14 | ■ PCT               |
| 02           | 07:22 | ■ PUL               | 51 | 12:40 | ■ PUL               | 100 | 16:17 | ■ PCT               |
| 03           | 07:28 | ■ PUL               | 52 | 12:44 | ■ PUL               | 101 | 16:20 | ■ PCT               |
| 04           | 07:32 | ■ PUL               | 53 | 12:56 | ■ PCT               | 102 | 16:21 | ■ PCT               |
| 05           | 07:36 | ■ PUL               | 54 | 12:58 | ■ PCT               | 103 | 16:24 | ■ PCT               |
| 06           | 07:41 | ■ PUL               | 55 | 13:00 | ■ PCT               | 104 | 16:49 | ■ PCT               |
| 07           | 07:45 | ■ PUL               | 56 | 13:03 | ■ PCT               | 105 | 16:50 | ■ PCT               |
| 08           | 07:51 | ■ PUL               | 57 | 13:15 | ■ PUL               | 106 | 16:52 | ■ PCT               |
| 09           | 07:56 | ■ PUL               | 58 | 13:20 | ■ PUL               | 107 | 16:54 | ■ PCT               |
| 10           | 08:01 | ■ PUL               | 59 | 13:29 | ■ PCT               | 108 | 16:56 | ■ PCT               |
| 11           | 08:06 | ■ PUL               | 60 | 13:31 | ■ PCT               | 109 | 16:58 | ■ PCT               |
| 12           | 08:12 | ■ PUL               | 61 | 13:33 | ■ PCT               | 110 | 17:00 | ■ PCT               |
| 13           | 08:16 | ■ PUL               | 62 | 13:41 | ■ PCT               | 111 | 17:02 | ■ PCT               |
| 14           | 08:23 | ■ PUL               | 63 | 13:45 | ■ PCT               | 112 | 17:03 | ■ PCT               |
| 15           | 08:29 | ■ PUL               | 64 | 13:47 | ■ PCT               | 113 | 17:05 | ■ PCT               |
| 16           | 08:38 | ■ PUL               | 65 | 13:50 | ■ PCT               | 114 | 17:06 | ■ PCT               |
| 17           | 08:43 | ■ PUL               | 66 | 13:53 | ■ PCT               | 115 | 17:08 | ■ PCT               |
| 18           | 08:58 | ■ PUL               | 67 | 13:55 | ■ PCT               | 116 | 17:10 | ■ PCT               |
| 19           | 09:08 | ■ PUL               | 68 | 14:00 | ■ PCT               | 117 | 17:11 | ■ PCT               |
| 20           | 09:11 | ■ PUL               | 69 | 14:03 | ■ PCT               | 118 | 17:13 | ■ PCT               |
| 21           | 09:20 | ■ PUL               | 70 | 14:05 | ■ PCT               | 119 | 17:15 | ■ PCT               |
| 22           | 09:23 | ■ PUL               | 71 | 14:09 | ■ PCT               | 120 | 17:17 | ■ PCT               |
| 23           | 09:28 | ■ PUL               | 72 | 14:10 | ■ PCT               | 121 | 17:18 | ■ PCT               |
| 24           | 09:34 | ■ PUL               | 73 | 14:11 | ■ PCT               | 122 | 17:19 | ■ PCT               |
| 25           | 09:38 | ■ PUL               | 74 | 14:17 | ■ PCT               | 123 | 17:23 | ■ PCT               |
| 26           | 09:44 | ■ PUL               | 75 | 14:20 | ■ PCT               | 124 | 17:24 | ■ PCT               |
| 27           | 09:50 | ■ PUL               | 76 | 14:26 | ■ PCT               | 125 | 17:27 | ■ PCT               |
| 28           | 09:55 | ■ PUL               | 77 | 14:35 | ■ PUL               | 126 | 17:29 | ■ PCT               |
| 29           | 09:59 | ■ PUL               | 78 | 14:46 | ■ PUL               | 127 | 17:30 | ■ PCT               |
| 30           | 10:04 | ■ PUL               | 79 | 15:15 | ■ PCT               | 128 | 18:27 | ■ PCT               |
| 31           | 10:05 | Troca de combatente | 80 | 15:16 | ■ PCT               | 129 | 18:29 | ■ PCT               |
| 32           | 10:32 | ■ PUL               | 81 | 15:22 | ■ PCT               | 130 | 18:30 | ■ PCT               |
| 33           | 10:38 | ■ PUL               | 82 | 15:25 | ■ PCT               | 131 | 18:31 | ■ PCT               |
| 34           | 10:39 | ■ PUL               | 83 | 15:27 | ■ PCT               | 132 | 18:32 | ■ PCT               |
| 35           | 10:45 | ■ PUL               | 84 | 15:30 | ■ PCT               | 133 | 18:33 | ■ PCT               |
| 36           | 10:49 | ■ PUL               | 85 | 15:32 | ■ PCT               | 134 | 18:34 | ■ PCT               |
| 37           | 10:56 | ■ PUL               | 86 | 15:40 | ■ PCT               | 135 | 18:35 | ■ PCT               |
| 38           | 11:01 | ■ PUL               | 87 | 15:42 | ■ PCT               | 136 | 18:37 | ■ PCT               |
| 39           | 11:07 | ■ PUL               | 88 | 15:44 | ■ PCT               | 137 | 18:38 | ■ PCT               |
| 40           | 11:13 | ■ PUL               | 89 | 15:48 | ■ PCT               | 138 | 18:39 | ■ PCT               |
| 41           | 11:20 | ■ PUL               | 90 | 15:50 | ■ PCT               | 139 | 18:40 | ■ PCT               |
| 42           | 11:26 | ■ PUL               | 91 | 15:54 | ■ PCT               | 140 | 18:42 | ■ PCT               |
| 43           | 11:34 | ■ PUL               | 92 | 15:56 | ■ PCT               | 141 | 18:44 | ■ PCT               |

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 44           | 11:41 | ■ PUL               | 93 | 15:59 | ■ PCT               | 142 | 18:46 | ■ PCT               |
| 45           | 11:53 | ■ PUL               | 94 | 16:00 | ■ PCT               | 143 | 18:47 | ■ PCT               |
| 46           | 12:01 | ■ PUL               | 95 | 16:02 | ■ PCT               | 144 | 18:55 | ■ JM                |
| 47           | 12:09 | ■ PUL               | 96 | 16:04 | ■ PCT               | 145 | 19:55 | ■ RES               |
| 48           | 12:23 | ■ PCT               | 97 | 16:07 | ■ PCT               |     |       |                     |
| 49           | 12:27 | ■ PCT               | 98 | 16:10 | ■ PCT               |     |       |                     |

Legenda – mm:ss – minuto:segundo  
 ■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo



Tabela D7: Coleta de dados das intervenções – Ensaio 07.

| Intervenções |       |                     |    |       |                     |     |       |                     |
|--------------|-------|---------------------|----|-------|---------------------|-----|-------|---------------------|
| Nº           | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº | Tempo | Tipo de Intervenção | Nº  | Tempo | Tipo de Intervenção |
| 01           | 08:08 | ■ PUL               | 41 | 12:43 | ■ PUL               | 81  | 14:35 | ■ PCT               |
| 02           | 08:11 | ■ PUL               | 42 | 12:47 | ■ PCT               | 82  | 14:38 | ■ PCT               |
| 03           | 08:22 | ■ PUL               | 43 | 12:48 | ■ PCT               | 83  | 14:39 | ■ PCT               |
| 04           | 08:38 | ■ PUL               | 44 | 12:53 | ■ PCT               | 84  | 14:40 | ■ PCT               |
| 05           | 09:04 | ■ PUL               | 45 | 12:56 | ■ PUL               | 85  | 14:41 | ■ PCT               |
| 06           | 09:22 | ■ PUL               | 46 | 13:04 | ■ PUL               | 86  | 14:44 | ■ PCT               |
| 07           | 09:37 | ■ PUL               | 47 | 13:11 | ■ PUL               | 87  | 14:49 | ■ PCT               |
| 08           | 09:53 | ■ PUL               | 48 | 13:17 | ■ PUL               | 88  | 14:50 | ■ PCT               |
| 09           | 10:02 | ■ PUL               | 49 | 13:22 | ■ PUL               | 89  | 14:52 | ■ PCT               |
| 10           | 10:09 | ■ PUL               | 50 | 13:25 | ■ PCT               | 90  | 14:54 | ■ PCT               |
| 11           | 10:18 | ■ PUL               | 51 | 13:36 | ■ PUL               | 91  | 14:55 | ■ PCT               |
| 12           | 10:25 | ■ PUL               | 52 | 13:39 | ■ PUL               | 92  | 15:00 | ■ PCT               |
| 13           | 10:32 | ■ PUL               | 53 | 13:44 | ■ PCT               | 93  | 15:04 | ■ PCT               |
| 14           | 10:36 | ■ PUL               | 54 | 13:47 | ■ PCT               | 94  | 15:05 | ■ PCT               |
| 15           | 10:42 | ■ PUL               | 55 | 13:49 | ■ PCT               | 95  | 15:07 | ■ PCT               |
| 16           | 10:50 | ■ PUL               | 56 | 13:50 | ■ PCT               | 96  | 15:08 | ■ PCT               |
| 17           | 10:56 | ■ PUL               | 57 | 13:53 | ■ PCT               | 97  | 15:11 | ■ PCT               |
| 18           | 11:00 | ■ PUL               | 58 | 13:55 | ■ PCT               | 98  | 15:12 | ■ PCT               |
| 19           | 11:01 | ■ PCT               | 59 | 13:57 | ■ PCT               | 99  | 15:23 | ■ PCT               |
| 20           | 11:02 | ■ PCT               | 60 | 14:01 | ■ PCT               | 100 | 15:25 | ■ PCT               |
| 21           | 11:09 | ■ PUL               | 61 | 14:02 | ■ PUL               | 101 | 15:28 | ■ PCT               |
| 22           | 11:16 | ■ PUL               | 62 | 14:03 | ■ PCT               | 102 | 15:29 | ■ PCT               |
| 23           | 11:22 | ■ PUL               | 63 | 14:04 | ■ PCT               | 103 | 15:31 | ■ PCT               |
| 24           | 11:29 | ■ PUL               | 64 | 14:06 | ■ PCT               | 104 | 15:34 | ■ PCT               |
| 25           | 11:33 | ■ PCT               | 65 | 14:07 | ■ PCT               | 105 | 15:36 | ■ PCT               |
| 26           | 11:36 | ■ PCT               | 66 | 14:11 | ■ PCT               | 106 | 15:38 | ■ PCT               |
| 27           | 11:39 | ■ PCT               | 67 | 14:12 | ■ PCT               | 107 | 15:42 | ■ PCT               |
| 28           | 11:41 | ■ PCT               | 68 | 14:13 | ■ PCT               | 108 | 15:46 | ■ PCT               |
| 29           | 11:43 | ■ PCT               | 69 | 14:15 | ■ PCT               | 109 | 15:50 | ■ PCT               |
| 30           | 11:46 | ■ PCT               | 70 | 14:17 | ■ PCT               | 110 | 16:01 | ■ PCT               |
| 31           | 11:50 | ■ PUL               | 71 | 14:18 | ■ PCT               | 111 | 16:04 | ■ PCT               |
| 32           | 11:51 | ■ PCT               | 72 | 14:19 | ■ PCT               | 112 | 16:07 | ■ PCT               |
| 33           | 11:56 | ■ PUL               | 73 | 14:20 | ■ PCT               | 113 | 16:13 | ■ PCT               |
| 34           | 12:03 | ■ PUL               | 74 | 14:26 | ■ PCT               | 114 | 16:40 | ■ PCT               |
| 35           | 12:09 | ■ PUL               | 75 | 14:27 | ■ PCT               | 115 | 16:42 | ■ PCT               |
| 36           | 12:12 | ■ PCT               | 76 | 14:28 | ■ PCT               | 116 | 16:43 | ■ PCT               |
| 37           | 12:16 | ■ PCT               | 77 | 14:29 | ■ PCT               | 117 | 16:46 | ■ PCT               |
| 38           | 12:23 | ■ PUL               | 78 | 14:31 | ■ PCT               | 118 | 16:58 | ■ PCT               |
| 39           | 12:24 | Troca de combatente | 79 | 14:32 | ■ PCT               | 119 | 17:19 | ■ JM                |
| 40           | 12:36 | ■ PUL               | 80 | 14:34 | ■ PCT               | 120 | 17:47 | ■ RES               |

■ PUL – Pulso; ■ PCT – Pacote; ■ JM – Jato Mole; ■ RES – Rescaldo

Tabela D8: Dados jatos d'água dos ensaios 01, 02, 03 e 04.

| Descrição         |                           |
|-------------------|---------------------------|
| <b>Combatente</b> | <b>20 Pulsos (litros)</b> |
| Dayse             | 6,30                      |
| Vinte             | 5,48                      |
| Vinícius          | 5,16                      |
| <b>Total</b>      | <b>16,94</b>              |
| <b>Média</b>      | <b>5,65</b>               |
| <b>1 pulso</b>    | <b>0,28</b>               |

**Pulso**  
 Pressão: 100psi ou 7ba  
 Vazão: 30 galões por minuto ou 120 litros por minuto.  
 Tempo de aplicação: 0,2 a 0,5 segundos.  
 Ângulo no esguicho: 60°

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| <b>Combatente</b> | <b>20 Pacotes (litros)</b> |
| Vinte             | 2,10                       |
| Vinícius          | 2,68                       |
| <b>Total</b>      | <b>4,78</b>                |
| <b>Média</b>      | <b>2,39</b>                |
| <b>1 pacote</b>   | <b>0,12</b>                |

**Pacote**  
 Pressão: 100psi ou 7ba.  
 Vazão: 30 galões ou 120 litros por minuto.  
 Tempo de aplicação: 1 segundo p/ 7,0 metros.  
 Ângulo no esguicho: 0°

Tabela D9: Dados jatos d'água dos ensaios 05, 06 e 07.

| Descrição  |                   |                           |                        |
|--|-------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Simulação</b>   | <b>Combatente</b> | <b>20 Pulsos (litros)</b> | <b>1 Pulso (litro)</b> |
| 01   | Otávio            | 9,60                      | 0,48                   |
| Observação: Aplicação de 2 pulsos.                                 |                   |                           |                        |
| 02   | Madureira         | 9,14                      | 0,46                   |
| Observação: Aplicação de pulsos mais longo.                        |                   |                           |                        |
| 03   | Felipe            | 20,28                     | 1,01                   |
| Observação: Aplicação simulando combate real com pulso mais longo. |                   |                           |                        |
|  | <b>Total</b>      | <b>18,74</b>              | <b>1,95</b>            |
|  | <b>Média</b>      | <b>9,37</b>               | <b>0,65</b>            |

**Pulso**  
 Pressão: 100psi ou 7ba  
 Vazão: 30 galões por minuto ou 120 litros por minuto.  
 Tempo de aplicação: 0,2 a 0,5 segundos.  
 Ângulo no esguicho: 60°

|                  |                   |                            |                         |
|------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Simulação</b> | <b>Combatente</b> | <b>20 Pacotes (litros)</b> | <b>1 Pacote (litro)</b> |
| 01               | Vieira            | 13,66                      | 0,68                    |
| 02               | Nogueira          | 18,62                      | 0,93                    |
| 03               | Felipe            | 8,34                       | 0,41                    |
|                  | <b>Total</b>      | <b>40,62</b>               | <b>2,02</b>             |
|                  | <b>Média</b>      | <b>13,54</b>               | <b>0,67</b>             |

**Pacote**  
 Pressão: 100psi ou 7ba.  
 Vazão: 30 galões ou 120 litros por minuto.  
 Tempo de aplicação do pulso normal: 1 segundo, pulso longo: 1,5 segundo p/ 7,0 metros.  
 Ângulo no esguicho: 0°

Observações: Nos ensaios 05, 06 e 07 foram aplicados jatos d'água mais longos.

Tabela D10: Média (litros) da quantidade de água dos jatos d'água, por ensaio.

| <b>Ensaio</b>                     | <b>01</b> | <b>02</b> | <b>03</b> | <b>04</b> | <b>05</b> | <b>06</b> | <b>07</b> |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Quantidade</b>                 |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Pulsos</b>                     | 37        | 45        | 29        | 30        | 47        | 54        | 37        |
| <b>Pacotes</b>                    | 64        | 40        | 54        | 67        | 67        | 93        | 80        |
| <b>Média (litros/treinamento)</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Pulsos</b>                     | 10,4      | 12,6      | 8,1       | 8,4       | 22,6      | 24,7      | 37,52     |
| <b>Pacotes</b>                    | 7,7       | 4,8       | 6,5       | 8,0       | 45,8      | 86,6      | 33,4      |

## ANEXO A

Tabela 1: Relação de Normas Brasileiras sobre Segurança Contra Incêndios (Seito *et al.*, 2008).

| <b>Normalizações Brasileiras sobre Segurança Contra Incêndios</b> |             |   |
|---|-------------|---|
| <b>Norma</b>  | <b>Data</b> | <b>Título da Norma</b>  |
| NBR 5419  | 30/03/2001  | Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.   |
| NBR 5667:1  | 28/02/2006  | Hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil - Parte 1 - Hidrante de coluna.   |
| NBR 5667:2  | 28/02/2006  | Hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil - Parte 1 - Hidrante subterrâneos.  |
| NBR 5667:3  | 28/02/2006  | Hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil - Parte 1 - Hidrante de coluna com obturação própria.   |
| NBR 6125  | 01/04/1992  | Chuveiro automático para extinção de incêndio.  |
| NBR 6135  | 30/04/1992  | Chuveiro automático para extinção de incêndio.  |
| NBR 6479  | 02/04/1992  | Portas e vedadores - Determinação da resistência ao fogo.   |
| NBR 7505-1  | 29/09/2000  | Armazém de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1 - Armazenagem em tanques estacionários.  |
| NBR 8222  | 29/07/2005  | Execução de sistemas de prevenção contra as explosões de incêndio, por impedimento de sobrepressões decorrentes de arcos elétricos internos em transformadores e reatores de potência.          |
| NBR 8660  | 30/11/1984  | Revestimento ao piso - Determinação da densidade crítica de fluxo de energia térmica.   |
| NBR 8674  | 29/07/2005  | Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com água nebulizada para transformadores e reatores de potência.   |
| NBR 9441  | 30/03/1998  | Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio.  |
| NBR 9442  | 01/08/1986  | Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante.   |
| NBR 9443  | 01/05/2002  | Extintor de incêndio classe A - Ensaio de fogo em engradado de madeira.   |
| NBR 9444  | 02/10/2006  | Extintor de incêndio classe B - Ensaio de fogo em líquido inflamável.   |
| NBR 9654  | 01/04/1997  | Indicador de pressão para extintores de incêndio.   |
| NBR 9695  | 28/08/2006  | Pó para extinção de incêndio.   |
| NBR 10636   | 01/03/1989  | Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo.   |
| NBR 10720   | 01/08/1989  | Prevenção contra incêndio em instalações aeroportuárias.  |
| NBR 10721   | 30/09/2001  | Extintores de incêndio com carga de pó.   |
| NBR 10897   | 30/01/1990  | Proteção contra incêndio por chuveiro automático.   |
| NBR 10898   | 01/11/1999  | Sistema de iluminação de emergência.  |
| NBR 11711   | 01/06/2003  | Porta e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de risco em ambientes comerciais e industriais.  |
| NBR 11715   | 30/07/1999  | Extintores de incêndio com carga d'água.  |
| NBR 11716   | 30/11/2000  | Extintores de incêndio com carga de dióxido de carbono (gás carbônico).   |
| NBR 11742   | 28/02/1997  | Porta corta-fogo para saída de emergência – especificação.  |
| NBR 11751   | 30/07/1999  | Extintores de incêndio com carga para espuma mecânica.  |
| NBR 11762   | 30/05/2001  | Extintores de incêndio portáteis com carga de halogenado.   |
| NBR 11785   | 30/06/1997  | Barra antipânico – Requisitos.  |
| NBR 11830   | 30/07/1995  | Líquido gerador de espuma de película aquosa (AFFF) a 6% para uso aeronáutico.  |
| NBR 11836   | 03/04/1992  | Detectores automáticos de fumaça para proteção contra incêndio.   |
| NBR 11861   | 30/11/1998  | Mangueira de incêndio - requisitos e métodos de ensaio.   |
| NBR 12232   | 19/07/2005  | Execução de sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) por inundação total para transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante. |
| NBR 12252   | 01/04/1992  | Tática de salvamento e combate a incêndios em aeroportos.   |
| NBR 12285   | 01/04/1992  | Proteção contra incêndio em depósitos combustíveis de aviação.  |
| NBR 12615   | 01/05/1992  | Sistema de combate a incêndio por espuma.   |
| NBR 12693   | 29/04/1993  | Sistema de proteção por extintores de incêndio.   |

|             |            |  |
|-------------|------------|--|
| NBR 12779   | 01/03/1993 | Inspeção, manutenção e cuidados em mangueiras de incêndio.   |
| NBR 12962   | 30/03/1998 | Inspeção, manutenção e recarga em extintores de incêndio.  |
| NBR 12992   | 01/11/1993 | Extintor de incêndio classe C - Ensaio de condutividade elétrica.  |
| NBR 13231   | 30/12/1994 | Proteção contra incêndio em subestações elétricas convencionais, atendidas e não-atendidas, de sistemas de transmissão.          |
| NBR 13434:1 | 31/03/2004 | Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - Parte 1: Princípios de projetos.   |
| NBR 13434:2 | 31/03/2004 | Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - Parte 2: Símbolos e suas formas, dimensões e cores.                          |
| NBR 13434:3 | 29/07/2005 | Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - Parte 3: requisitos e métodos de ensaio.                                     |
| NBR 13435   | 30/08/1995 | Sinalização de segurança contra incêndio e pânico.   |
| NBR 13436   | 30/07/1995 | Líquido gerador de espuma de película aquosa (AFFF) a 3% para uso aeronáutico.   |
| NBR 13437   | 30/08/1995 | Símbolos gráficos para sinalização contra incêndio e pânico.   |
| NBR 13485   | 30/06/1999 | Manutenção de terceiro nível (vistoria) com extintores de incêndio.  |
| NBR 13523   | 30/11/1995 | Central predial de gás liquefeito de petróleo.   |
| NBR 13714   | 29/02/2000 | Sistema de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio.   |
| NBR 13768   | 28/02/1997 | Acessórios destinados à porta corta-fogo para saída de emergência – requisitos.  |
| NBR 13792   | 30/04/1997 | Proteção contra incêndio por sistema de chuveiros automáticos para áreas de armazenamento em geral – procedimentos.              |
| NBR 13848   | 30/06/1997 | Acionador manual para utilização em sistemas de detecção e alarme de incêndios.  |
| NBR 13859   | 30/06/1997 | Proteção contra incêndios em subestações elétricas de distribuição.  |
| NBR 13860   | 30/06/1997 | Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio.  |
| NBR 13932   | 29/09/1997 | Instalações internas de gás liquefeito de petróleo (GLP) - projeto e execução.   |
| NBR 14023   | 01/12/1997 | Registro de atividades de bombeiros.   |
| NBR 14024   | 20/01/2001 | Centrais prediais e industriais de gás liquefeito de petróleo (GLP) - sistemas de abastecimento a granel.                        |
| NBR 14096   | 29/06/1998 | Viaturas de combate a incêndio.  |
| NBR 14100   | 29/06/1998 | Proteção contra incêndio - símbolos gráficos para projeto.   |
| NBR 14276   | 01/03/1999 | Programa de brigada de incêndio.   |
| NBR 14277   | 01/03/1999 | Campo para treinamento de combate a incêndio.  |
| NBR 14323   | 30/07/1999 | Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio.   |
| NBR 14349   | 30/07/1999 | União para mangueira de incêndio - requisitos e métodos de ensaio.   |
| NBR 14432   | 31/12/2001 | Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações-procedimento.   |
| NBR 14561   | 31/08/2000 | Veículos para atendimento a emergência médicas e resgate.  |
| NBR 14608   | 30/11/2000 | Bombeiro profissional civil.   |
| NBR 14870   | 01/08/2002 | Esguichos de jato regulável para combate a incêndio.   |
| NBR 14880   | 01/08/2002 | Saídas de emergência em edifícios - escadas de segurança - controle de fumaça por pressurização.                                 |
| NBR 14925   | 01/02/2003 | Unidades envidraçadas resistentes ao fogo para uso em edificações.   |
| NBR 15219   | 31/05/2005 | Plano de emergência contra incêndio – requisitos.  |
| NBR 15247   | 31/12/2004 | Unidades de armazenamento segura - Salas-cofre e cofre para hardware - Classificação e métodos de ensaio de resistência ao fogo. |
| NBR 15281   | 31/10/2005 | Porta corta-fogo para entrada de unidades autônomas e de compartimentos específicos de edificações.                              |
| NBR 15511   | 25/03/2008 | Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos.                           |
| NBR 15661   | 26/08/2012 | Proteção contra incêndios em túneis.   |