



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO
REVESTIMENTO ARGAMASSADO E DO
CARREGAMENTO NO COMPORTAMENTO DA
ALVENARIA FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS**

RODRIGO PÉRICO DE SOUZA

São Leopoldo, março de 2017.

RODRIGO PÉRICO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO
REVESTIMENTO ARGAMASSADO E DO CARREGAMENTO
NO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA FRENTE A ALTAS
TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian

Banca examinadora: Prof^a. Dra. Larissa Degliuomini
Kirchhof
Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva
Filho
Prof. Dr. Mauricio Mancio

São Leopoldo, março de 2017.

S729a Souza, Rodrigo Périco de
Avaliação da influência da espessura do revestimento
argamassado e do carregamento no comportamento da alvenaria
frente a altas temperaturas / por Rodrigo Périco de Souza. -- São
Leopoldo, 2017.

133 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos
Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São
Leopoldo, RS, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian, Escola
Politécnica.

1.Engenharia de estruturas. 2.Alvenaria. 3.Alvenaria – Teste de
resistência ao calor. 4.Construção à prova de fogo. I.Tutikian,
Bernardo Fonseca. II.Título.

CDU 624.01
693.1
69

Catálogo na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252


A dissertação de mestrado

**“AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO ARGAMASSADO E DO
CARREGAMENTO NO COMPORTAMENTO DE ALVENARIA FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS”**


apresentada por **Rodrigo Périco de Souza**

foi julgada e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de


MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL pela seguinte banca examinadora:




Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian
Orientador e Presidente da Banca Examinadora
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Profa. Dra. Larissa Degliuomini Kirchof
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
(participação por webconferência*)



Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Prof. Dr. Mauricio Mancio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

* Na presente sessão, fica o orientador autorizado a assinar pela professora que integra a banca via webconferência.

São Leopoldo, 28 de março de 2017.

Dedico este trabalho aos meus pais Beatriz e Carlos, e a meu irmão Filipe como forma de gratidão por todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar durante essa nova etapa, por me dar calma e sabedoria para que tomasse as decisões corretas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian que diante de tantos compromissos e obrigações aceitou a tarefa de me conduzir, reduzindo minhas dúvidas e encaminhando as soluções necessárias. Obrigado pela ajuda, paciência e confiança.

Aos meus familiares e amigos pela compreensão do tempo roubado e apoio, em especial, minha mãe, meu pai e meu irmão. Obrigado pelo incentivo e conselhos.

À família itt Performance, todos de uma forma ou outra contribuíram para que completasse com êxito mais essa etapa, em especial, Fernanda, Fabrício, Gustavo, Matheus Dilly e Roberto, pelos momentos de apoio na elaboração deste e em diversos outros momentos.

Ao Laboratório de Materiais de Construção, em especial aos laboratoristas, André, David, Ingrid, Júlio, Maurício e Tiago.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital, em especial ao laboratorista Gabriel e ao coordenador Maurício Veronez.

Um agradecimento em especial ao instituto itt Performance e a Construrohr pelo financiamento da pesquisa.

Á todos, meu muito obrigado!

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 JUSTIFICATIVA	25
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	26
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	26
1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	27
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	27
2 ASPECTOS RELACIONADOS AO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA.....	29
FRENTE ÀS ALTAS TEMPERATURAS	29
2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL	29
2.1.1 <i>Conceito</i>	29
2.1.2 <i>Vantagens e Desvantagens</i>	30
2.2 NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO	30
2.3 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO.....	35
2.3.1 <i>O fogo e o incêndio</i>	35
2.3.2 <i>Medidas de segurança contra incêndio</i>	38
2.3.3 <i>Compartimentação vertical e horizontal</i>	40
2.3.4 <i>Resistência ao fogo de Sistema Vertical de Vedação Interna e Externa (SVVIE)</i>	42
2.3.5 <i>Propriedades térmicas do SVVIE</i>	43
2.3.6 <i>Padronização de curvas de incêndio</i>	45
2.3.7 <i>Legislação de resistência ao fogo</i>	49
2.4 ENCURVAMENTO DA ALVENARIA	52
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	57
3.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO.....	57
3.1.1 <i>Produção das amostras</i>	58
3.1.2 <i>Níveis de controle</i>	59
3.1.3 <i>Parâmetros de controle fixo</i>	59
3.1.4 <i>Parâmetros não controláveis</i>	60
3.2 MÉTODOS	60
3.2.1 <i>Resistência ao fogo</i>	60
3.2.2 <i>Encurvamento</i>	62
3.2.3 <i>Gradiente térmico</i>	62
3.3 MATERIAIS.....	65
3.3.1 <i>Caracterização dos blocos cerâmicos</i>	66
3.3.2 <i>Caracterização da argamassa no estado fresco</i>	66
3.3.3 <i>Caracterização da argamassa no estado endurecido</i>	67
3.3.4 <i>Cimento</i>	68
3.3.5 <i>Agregado miúdo</i>	69
3.3.6 <i>Argamassa Industrializada</i>	71
3.3.7 <i>Blocos cerâmicos</i>	73
3.3.8 <i>Água</i>	74
3.4 INSTRUMENTAÇÃO	74
3.4.1 <i>Termopares</i>	74
3.4.2 <i>Câmera Termográfica</i>	74
3.4.3 <i>Estação Total</i>	75
3.4.4 <i>Software CloudCompare</i>	76
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	77
4.1 ETAPA I.....	77
4.2 ETAPA II.....	77
4.2.1 <i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P1</i>	78
4.2.2 <i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P2</i>	85
4.2.3 <i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P3</i>	91
4.2.4 <i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P4</i>	97
4.2.5 <i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P5</i>	105

4.2.6	<i>Ensaio de resistência ao fogo da parede P6</i>	112
5	CONCLUSÃO	119
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
	APÊNDICES	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos de vida útil da NBR 15575 (ABNT, 2013).....	34
Tabela 2 - Condutância térmica de blocos cerâmicos e de concreto	44
Tabela 3 - Elevação de temperatura no forno.....	47
Tabela 4 - Resistência ao fogo de paredes.....	51
Tabela 5 - Nomenclatura das amostras.....	58
Tabela 6 - Caracterização dos blocos cerâmicos	66
Tabela 7 - Argamassa estado fresco - Ensaio e respectivas normas	66
Tabela 8 - Argamassa estado endurecido - Ensaio e respectivas normas	67
Tabela 9 - Características químicas do cimento	69
Tabela 10 - Características físicas do cimento	69
Tabela 11 - Caracterização do agregado miúdo	69
Tabela 12 - Caracterização do agregado miúdo utilizado no chapisco	70
Tabela 13 - Caracterização do agregado miúdo utilizado na argamassa de assentamento.....	70
Tabela 14 - Caracterização do agregado miúdo utilizado no revestimento.....	71
Tabela 15 - Caracterização da argamassa de assentamento no estado fresco	72
Tabela 16 - Caracterização da argamassa de assentamento no estado endurecido	72
Tabela 17 - Caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco	72
Tabela 18 - Caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido	73
Tabela 19 - Caracterização dos blocos cerâmicos	73
Tabela 20 - Classificação das argamassas	77
Tabela 21 - Deslocamentos do plano - P1	82
Tabela 22 - Comparação da temperatura 30, 60 e 90 min entre P1 e P2.....	88
Tabela 23 – Deslocamentos do plano - P2	89
Tabela 24 – Deslocamentos do plano - P3	95
Tabela 25 - Deslocamentos do plano - P4	102
Tabela 26 - Deslocamentos do plano - P5	110
Tabela 27 - Deslocamentos do plano - P6	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturação da Norma de Desempenho NBR 15575	32
Figura 2 - Curva temperatura-tempo típica de desenvolvimento de incêndio.....	36
Figura 3 - Tetraedro do fogo.....	36
Figura 4 - Processo de transferência de calor através do bloco vazado	37
Figura 5 - Esquema básico de compartimentação	40
Figura 6 - Detalhes construtivos da compartimentação horizontal	41
Figura 7 - (a) Modelo de compartimentação vertical externa e (b) Modelo externa por aba...	42
Figura 8 - Distribuição de temperatura ao longo da espessura da parede	45
Figura 9 - Curva padrão para três cenários de incêndio	46
Figura 10 - Curvas de incêndio padrão.....	47
Figura 11 - Gráfico de elevação da temperatura.....	48
Figura 12 - Modelo de incêndio padrão (linha cheia) comparado ao incêndio real (pontilhado)	48
Figura 13 - Deslocamento da parede para fora do plano aos 42 min	53
Figura 14 - Condições de contorno para vinculação das paredes.....	54
Figura 15 - Leitura das deformações	54
Figura 16 - Configuração das amostras testadas, esquerda amostra sem carga e direita amostra com carga.....	55
Figura 17 - Representação das deformações de uma alvenaria exposta ao fogo (a) sem carrugamento e (b) com carrugamento	55
Figura 18 - Lascamento induzindo o efeito de 2ª ordem.....	56
Figura 19 - Fases de estudo do experimento	57
Figura 20 - Processo de confecção das amostras.....	59
Figura 21 - Processo de acoplamento do pórtico ao forno	61
Figura 22 - Forno vertical.....	61
Figura 23 - Locais de leitura dos deslocamentos (vermelho) e disposição dos termopares na face não exposta (preto).....	62
Figura 24 - Termopares na parte interna do forno.....	63
Figura 25 - Disposição dos termopares na face não exposta.....	63
Figura 26 - Disposição dos termopares ao longo da espessura da parede.....	64
Figura 27 - Instalação dos termopares na amostra	65
Figura 28 – Termopares Ø1,5 mm	74
Figura 29 - Câmera termográfica, marca FLIR	75
Figura 30 - Leituras na amostra com estação total	75
Figura 31 - Fissura vertical aos 5 min	78
Figura 32 - (a) Sinal de fumaça expelida e (b) Presença de gases quentes na fissura.....	79
Figura 33 - Fissura lateral esquerda inferior.....	79
Figura 34 - Perfil de temperatura aos 30 min - P1.....	80
Figura 35 - Perfil de temperatura aos 60 min - P1.....	80
Figura 36 - Perfil de temperatura aos 120min - P1.....	81
Figura 37 - Perfil de temperatura aos 240 min - P1.....	81
Figura 38 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min , (c) 120min e (d) 240min.....	82
Figura 39 – Deslocamento lateral do plano 30 min - P1	83
Figura 40 – Deslocamento lateral do plano 150 min - P1	84
Figura 41 - Fissura vertical no terço médio da parede	85

Figura 42 - Fissura oblíqua nas extremidades inferiores e vapor quente sendo expelido na fissura vertical	86
Figura 43 - (a) Fissura horizontal e (b) Estabilidade estrutural comprometida	86
Figura 44 - Perfil de temperatura aos 30 min - P2	87
Figura 45 - Perfil de temperatura aos 60 min - P2	87
Figura 46 - Perfil de temperatura aos 102 min - P2	87
Figura 47 - Deslocamento do plano 100 min - P2	89
Figura 48 - Deslocamento da parede ao longo do tempo.....	90
Figura 49 - Fissura vertical localizada no terço médio	91
Figura 50 - Fissura horizontal e oblíqua	91
Figura 51 - Perfil de temperatura aos 30 min - P3	92
Figura 52 - Perfil de temperatura aos 60 min - P3	92
Figura 53 - Perfil de temperatura aos 120 min - P3	93
Figura 54 - Perfil de temperatura aos 240 min - P3	93
Figura 55 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min , (c) 120min e (d) 240min	94
Figura 56 - Deslocamento do plano 30 min - P3	95
Figura 57 - Deslocamento do plano 240 min - P3	96
Figura 58 - Aparecimento de fissura vertical e oblíquas na amostra	97
Figura 59 - Fumaça expelida pela fissura vertical e seu entorno	98
Figura 60 - Perfil de temperatura aos 30 min - P4	98
Figura 61 - Perfil de temperatura aos 60 min - P4	99
Figura 62 - Perfil de temperatura aos 120 min - P4	99
Figura 63 - Perfil de temperatura aos 240 min - P4	99
Figura 64 - Sinal de deslocamento do revestimento argamassado do lado interno.....	100
Figura 65 - Amostra P4 após ensaio de resistência ao fogo.....	101
Figura 66 - Deslocamento do plano 90 min - P4	102
Figura 67 - Deslocamento do plano 240 min - P4	103
Figura 68 - Forma deformada de amostra obtida por simulação	104
Figura 69 - Surgimento de fissuras oblíquas.....	105
Figura 70 - Presença de machas de umidade da face externa	106
Figura 71 - Face externa observada pela câmara termográfica aos 120 min	106
Figura 72 - Perfil de temperatura aos 30 min - P5	107
Figura 73 - Perfil de temperatura aos 60 min - P5	107
Figura 74 - Perfil de temperatura aos 120 min - P5	108
Figura 75 - Perfil de temperatura aos 240 min - P5	108
Figura 76 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min , (c) 120min e (d) 240min	109
Figura 77 - Deslocamento do plano 30 min - P5	110
Figura 78 - Deslocamento do plano 240 min - P5	111
Figura 79 - Fissuras oblíquas nas extremidades inferiores	112
Figura 80 - Presença de machas de umidade da face externa	113
Figura 81 - Possível deslocamento do revestimento na parte interna 80 min	113
Figura 82 - Deslocamento do revestimento interno 180 min	114
Figura 83 - Perfil de temperatura aos 30 min - P6	114
Figura 84 - Perfil de temperatura aos 60 min - P6	115
Figura 85 - Perfil de temperatura aos 120 min - P6	115
Figura 86 - Perfil de temperatura aos 240 min - P6	115
Figura 87 - Deslocamento do plano 180 min - P6	117

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AS	Australian Standard
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards
CF	Corta-Fogo
CP	Corpo de Prova
ELU	Estado Limite Último
GSC	Gestão e Sustentabilidade na Construção
LC	Lei Complementar
ISO	International Organization for Standardization
IT/SP	Instrução Técnica do Estado de São Paulo
JIS	Japanese Industrial Standard
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire Protection Association
P.C.F 90	Porta corta-fogo 90 min
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
PPGEC	Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
SVVIE	Sistema de Vedação Vertical Interno e Externo
SVV	Sistema de Vedação Vertical
TRF	Tempo Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

LISTA DE SÍMBOLOS

T_{ext}	Temperatura externa
$T_{\text{incêndio}}$	Temperatura do incêndio
T_{int}	Temperatura interna

RESUMO

SOUZA, R. P. **Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento de alvenaria frente a altas temperaturas.** São Leopoldo, 2017. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2017.

A alvenaria é um dos sistemas construtivos com maior uso no Brasil, dada a disponibilidade dos materiais, conhecimento da técnica e baixo custo. Devido aos programas de aceleração do crescimento no país, foram construídos diversos edifícios habitacionais com o uso deste sistema, com função estrutural. Concomitantemente com esse crescimento, se deu a entrada em vigor da norma de desempenho das edificações habitacionais, a ABNT NBR 15575:2013, que fixa requisitos e critérios mínimos a serem atendidos pela edificação, sendo um deles a segurança contra incêndio nas construções. Nesse cenário, destacam-se algumas lacunas nos estudos técnicos: o comportamento da alvenaria estrutural quando submetida a elevadas temperaturas, a influência do carregamento nas deformações do plano verificadas no sistema vertical de vedação e a influência do revestimento argamassado no comportamento dos painéis frente ao fogo. Objetivando contribuir com esse segmento, este trabalho visou o desenvolvimento de estudo para identificar quais parâmetros afetam o comportamento das alvenarias frente a altas temperaturas. Para tal, foram avaliadas alvenarias constituídas de um mesmo tipo de bloco cerâmico, variando seu revestimento interno (0, 15 e 25 mm de espessura) e externo fixo de 25 mm, em ensaios com e sem aplicação de 10 tf/m. A norma utilizada foi a ABNT NBR 5628:2001, para análise com e sem carregamento, com o emprego de forno normatizado. Destaca-se que os ensaios foram realizados em sistemas de vedação estrutural em tamanho real, de modo que se possa verificar o isolamento térmico, a estanqueidade, a passagem de gases e fumaça, bem como a estabilidade estrutural. Por meio de análise dos resultados obtidos, percebeu-se que há influência da espessura do revestimento em argamassa e do carregamento no comportamento da alvenaria. As paredes com carregamento apresentaram menores deslocamentos horizontais quando comparadas às sem carregamento. Em relação as paredes sem revestimento interno, a redução foi de 25,7%. Nas paredes com 15 mm de revestimento na face exposta, essa redução foi de 58,1% e nas paredes com 25 mm, a redução foi de 41,0%, em relação as paredes sem aplicação de carregamento. Foi percebida, na medida em que se aumentou a espessura do revestimento, um decréscimo nos deslocamentos horizontais fora do plano, passando de 40 mm para 29 mm aos 240 min. Em relação ao revestimento em argamassa, houve uma melhora considerável nas propriedades de isolamento térmico das paredes. As paredes sem carregamento e com revestimento de 25 mm na face interna, apresentaram uma redução de 43,3% na temperatura externa. As paredes com carregamento e revestimento de 25 mm, houve um decréscimo de 23,8%, inclusive modificando seu Tempo de Resistência ao Fogo (TRF).

Palavras-chave: alvenaria estrutural, segurança contra incêndio, desempenho

ABSTRACT

SOUZA, R. P. **Evaluation of the influence of the mortar coating thickness and the loading on the behavior of masonry subject to high temperatures.** São Leopoldo, 2017. 133p. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo, 2017.

Masonry is one the most commonly used constructive systems in Brazil, granted the availability of materials, knowledge of the technique and low cost. Due to the growth acceleration programs of the country, several residential buildings were built under this system, with structural function. Concomitant to this movement came into force the housing performance standard, ABNT NBR 15575:2013, which sets requirements and criteria for buildings, among which resides fire safety within buildings. Under this scenario, the following gaps in technical studies are highlighted, the behavior of structural masonry when submitted to high temperatures, the influence of loading on plane deformations found on wall systems, and the influence of mortar coating on the behavior of panels subject to fire. Seeking to contribute to this segment, this study aimed to identify what parameters affect the behavior of masonry concerning high temperatures. For that, masonries constituted of a same ceramic block were evaluated, their internal coating was varied (0, 15 and 25 mm of thickness) and the external was fixed with 25 mm, through tests with and without application of loading of 10 tons force per meter. The standard ABNT NBR 5628:2001 was used for this analysis, with and without loading, using a standardized oven. It should be noted that the tests were performed on real scale structural wall systems, thus allowing for the verification of thermal insulation, leak-tightness, passing of gasses and smoke, as well as structural stability. From the results, it was noticed that there is influence of the thickness of mortar coating and the loading on the behavior of the masonry. The walls with loading presented smaller deformations in comparison with those without loading. Comparing the walls without internal coating, the reduction was of 27.5%. The walls with 15mm of coating on the external wall displayed a reduction of 58.1% and the walls with 25 mm, a reduction of 41.0%. It was observed that, as the coating thickness increased, the plane deformations decreased, passing from 40 mm to 29 mm by the 240 min. Regarding mortar coating, the thermal insulation properties of the walls were improved significantly. The walls without lading and with coating of 25 mm on the internal face presented a reduction of external temperature of 43.3%. The walls with loading and coating of 25 mm indicated a decrease of 23.8%, as well as a modification of their FRS.

Keywords: Structural masonry, Fire safety, Performance.

1 INTRODUÇÃO

Estudos referentes à proteção contra incêndio têm se intensificado no Brasil, assim como as exigências normativas, que apresentaram uma maior preocupação após a década 70, principalmente pelos eventos ocorridos em São Paulo, nos edifícios Andraus e Joelma (SILVA, 2012). O incêndio ocorrido no edifício Andraus, em 1972, culminou na morte de seis pessoas e deixou 329 feridos, já em 1974, no edifício Joelma, esse número foi de 189 vítimas fatais e 320 feridos (CBPMESP, 2004). O caso recente, de grande repercussão no Brasil, foi o evento ocorrido na Boate Kiss em Santa Maria / RS. Nesse evento, o número de vítimas foi de 242, com 630 pessoas feridas (Revista Incêndio, 2015).

A ocorrência do sinistro numa edificação coloca em risco tanto a estrutura física como a vida de seus ocupantes, principalmente quando o incêndio surge em edificações com sistema de alvenaria estrutural, pois a própria alvenaria desempenha a função de receber e distribuir os carregamentos que nela incidem (SEITO et al., 2008).

Pissarra (2014), no seu estudo sobre o risco de incêndio urbano, destacou que a principal ocorrência desse fenômeno pode estar atrelada a ineficiência de manutenção, bem como a degradação dos edifícios. Segundo Seito et al. (2008), na maioria das vezes, a segurança contra incêndio fica para um segundo plano, pois a aplicação de sistemas de prevenção e de proteção não apresentam resultados imediatos e perceptíveis.

A Instrução Técnica nº 08/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011) preconiza que é de extrema importância conhecer o comportamento da estrutura frente ao fogo, para que se possa compreender os riscos que os usuários da edificação estão sujeitos durante a evacuação e, ainda, como se dará a inserção da equipe responsável por combater o cenário de incêndio frente ao risco característico de colapso.

No Brasil, as principais normas prescritivas ou instruções técnicas que abordam o incêndio, seja ele na concepção de projeto ou de seus componentes são:

- Instrução Técnica nº 08/2011 (CBPMESP, 2011) - Segurança estrutural nas edificações - Resistência ao fogo dos elementos de construção;
- NBR 5628 (ABNT, 2001) - Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo;

- NBR 10636 (ABNT, 1989) - Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio;
- NBR 14323 (ABNT, 2013) - Dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio – Procedimento;
- NBR 14432 (ABNT, 2001) – Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações - Procedimento;
- NBR 15200 (ABNT, 2012) - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- NBR 15575-4 (ABNT, 2013) - Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas — SVVIE.

A norma de desempenho para edificações habitacionais, NBR 15575 (ABNT, 2013), aliada ao conceito de segurança contra incêndio, aponta as condições de segurança para o uso e a operação da edificação, incluindo a exposição a ações excepcionais, como às ações térmicas provenientes das altas temperaturas, comuns em situações de incêndio (GUO; SHI, 2011).

Para a ANICER (2016), o sistema de vedação vertical (SVV) mais empregado na construção civil no país é a alvenaria, constituídas por elementos cerâmicos revestidos por argamassa ou não. Ainda segundo ANICER (2016), no Rio Grande do Sul, o uso de sistemas aparentes tem se intensificado pela excelente qualidade da argila encontrada na região.

Existem diversas publicações sobre os efeitos de elevadas temperaturas em elementos estruturais (CORREIA; LIMA; BRITO, 2014), sendo que os efeitos em concreto armado podem ser determinados pelo grau de deslocamento, pela perda de resistência mecânica do concreto e do aço empregado (ROBERT; COLINA; DEBICKI, 2014).

Kirchhof (2010) afirma que o cobrimento de concreto das armaduras exerce uma função fundamental na resistência ao fogo, fazendo com que esse cobrimento retarde o aquecimento das barras de aço, aumentando o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) do elemento.

Em estruturas de aço, a expansão térmica é um dos pontos que são estudados, pois nem todo o perfil é aquecido da mesma forma, pode ocorrer uma instabilidade em pilares, por exemplo (FRANSSEN, 2000; RODRIGUES; NEVES; VALENTE, 2000). Em relação à

madeira, Leal (2010) menciona que, quando este material é submetido a gradientes térmicos, seja por curto ou longo tempo, sofre uma degradação capaz de influenciar, significativamente, suas propriedades mecânicas.

Nos últimos anos, como já citado, trabalhos têm sido desenvolvidos na área de segurança contra incêndio, principalmente se tratando de elementos estruturais (pilares, vigas,) e materiais (concreto armado, aço e madeira), porém, o meio acadêmico ainda desconhece quais são os riscos que os ocupantes de edifícios em alvenaria estrutural estão sujeitos. Nesse contexto, esta pesquisa buscou contribuir com a análise do efeito das altas temperaturas em sistemas verticais compostos em alvenaria com função estrutural, combinando o efeito das cargas e altas temperaturas, com vistas a avaliar a influência do carregamento quanto à estabilidade estrutural e ao gradiente térmico da alvenaria.

1.1 JUSTIFICATIVA

Uma das soluções encontradas para diminuir o déficit habitacional no Brasil é a utilização de sistemas construtivos racionais e econômicos para a execução das habitações de interesse social. A alvenaria estrutural pode ser apontada como uma das soluções para diminuir esse déficit. Esse sistema é formado pela junção de blocos unidos com uma argamassa de assentamento, tendo uso difundido em território nacional. Porém, conta com poucas referências com enfoque no desempenho quando submetido às situações de incêndio e há insuficiência quanto às normas técnicas para projetos, não havendo norma nacional que trate sobre este assunto. Araújo Neto (2006) verificou que houve um melhor desempenho de resistência à compressão em prismas com revestimento em argamassa, comparativamente aos sem revestimento, sendo o prisma com revestimento de espessura 15 mm, mais eficiente que o revestido com 30 mm. Segundo o próprio autor, esse fato se deu devido a má aderência do revestimento de 30 mm, por se tratar de uma espessura maior.

Silva, Oliveira e Sobrinho (2008) revelaram que a utilização de revestimento em argamassa de 30 mm, em ambas as faces de prismas, proporcionou um aumento de 335% na capacidade de carga vertical. Com base nesse estudo realizado em prismas, acredita-se que o revestimento em argamassa faz com que o encurvamento seja reduzido, quando comparados ao sem revestimento.

Afim de contribuir para o conhecimento científico nesta área, esta pesquisa analisou o comportamento de alvenarias estruturais em situação de incêndio, combinando os efeitos de carga e altas temperaturas, verificando o encurvamento da alvenaria, gradiente de

temperatura, estabilidade estrutural, bem como sua estanqueidade a gases quentes e fumaça e isolamento térmico.

Para verificação dos pontos citados, foram executadas 6 amostras nas dimensões de 3,15 x 2,80 m, variando a espessura do revestimento interno (0; 15 e 25 mm), e a carga de compressão axial na alvenaria durante o ensaio de resistência ao fogo.

Esta pesquisa apresenta abordagem holística, visando a determinação do comportamento de alvenaria estrutural quando submetida a situação de incêndio, enquadrando-se no grupo de pesquisa denominado GSC - Gestão e Sustentabilidade na Construção do PPGEC (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) e como parte integrante do grupo de estudos de segurança contra incêndio do itt Performance.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa foi desenvolvida de modo que pudessem ser alcançados o objetivo geral e os objetivos específicos a seguir descritos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o efeito do revestimento e do carregamento em sistemas verticais de vedação de alvenaria estrutural submetidas a altas temperaturas.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- determinar a variação do gradiente de temperatura, quando da modificação das espessuras do revestimento na face exposta a altas temperaturas, considerando uma mesma tipologia de sistema vertical de vedação (SVV);
- relacionar o encurvamento da alvenaria, com carregamento, com a variação de temperatura;
- investigar os critérios de isolamento térmico, estanqueidade à passagem de gases e fumaça de cada uma das amostras, de acordo com NBR 5628:2001;
- avaliar a estabilidade estrutural dos sistemas de vedação em alvenaria estrutural frente a altas temperaturas.

1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este projeto restringe-se, exclusivamente, a paredes de alvenaria executadas com blocos cerâmicos estruturais, assentados com juntas de argamassa horizontais e verticais e revestimento em argamassa em uma face ou de ambas as faces.

O intuito da pesquisa foi verificar a influência do carregamento e das altas temperaturas e a combinação dos dois efeitos em sistemas de vedação com função estrutural, e também a influência das diferentes espessuras no revestimento interno quanto ao gradiente de temperatura ao longo da espessura da alvenaria. Para isso cada configuração foi submetida em uma condição diferente. É sabido que, para se ter uma resposta estatisticamente representativa, seria necessário um número significativo de amostras, a fim de encontrar um comportamento mais fidedigno, as quais não foram realizadas devidas ao elevado custo do ensaio, o prazo de confecção e cura das amostras e dificuldade do ensaio proposto.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

De modo a apresentar o estudo desenvolvido, esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta o tema estudado, abordando sua relevância, de modo que justifique a proposição deste estudo, os objetivos geral e específicos e as delimitações da pesquisa. O segundo capítulo, denominado "Aspectos relacionados ao comportamento da alvenaria frente às altas temperaturas", aborda os conceitos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa, assim como uma contextualização dos estudos e normas relativas aos parâmetros básicos. O terceiro capítulo, intitulado "Programa Experimental", apresenta todos os procedimentos e ensaios realizados, o detalhamento de confecção das amostras, procedimentos para construção dos protótipos, características físicas e mecânicas dos materiais empregados e as variáveis da pesquisa. No quarto capítulo, análises e discussões oriundas dos resultados obtidos no programa experimental, são apresentadas. Por fim, o quinto capítulo expõe as conclusões obtidas no estudo, além de proposições para pesquisas futuras. Ainda, constam as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho, apresentando resultados e imagens dos experimentos.

2 ASPECTOS RELACIONADOS AO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA FRENTE ÀS ALTAS TEMPERATURAS

Neste capítulo é apresentada uma abordagem sobre alvenaria estrutural, desempenho das edificações, segurança contra incêndio, transferência de calor em paredes e propriedade dos materiais constituintes frente a altas temperaturas.

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

A problemática do déficit habitacional fez com que o Governo Federal, a partir de programas de incentivo como o "Programa Minha Casa Minha Vida" (PMCMV), procurasse por alternativas, a fim de reduzir esse déficit. Com isso, a utilização de alvenaria estrutural, por ser um método racionalizado e bastante difundido, tornou-se uma alternativa.

2.1.1 Conceito

Segundo Camacho (2006), a alvenaria estrutural é um processo construtivo no qual os elementos que desempenham função portante, são projetados, dimensionados e executados, de forma racional, em um sistema que visa a produtividade com economia de material.

De acordo com Figueiredo Filho (1989), para ser classificado como um sistema estrutural, o mesmo deve fornecer:

- segurança estrutural: o sistema deve suportar às ações quanto aos estados limites últimos (ELU) e de utilização (ELS);
- durabilidade: devem ser asseguradas ao longo de sua vida útil, as propriedades mecânicas, físico e química dos materiais, dos elementos e dos componentes existentes na edificação;
- compatibilidade: deve ser compatível com os outros sistemas estruturais já empregados, tais como concreto armado e estrutura metálica;
- facilidade, rapidez e qualidade na execução: o sistema deve ser de fácil execução, não necessitando de equipamentos ou técnicas avançadas; espera-se que na execução não haja perda quanto à qualidade e à segurança.

Para Bastos (1993), nas edificações cujo sistema utilizado é alvenaria estrutural, as paredes exercem outras funções, além de vedação interna/externa e suporte de carga, tais como: conforto acústico, térmico e resistência ao fogo.

2.1.2 Vantagens e Desvantagens

Camacho (2006) apresenta a alvenaria estrutural como um processo benéfico quando se trata de:

- redução nos custos: a redução pode chegar até 30%, quando se reduz a utilização de fôrmas e escoramentos;
- menor complexidade nos materiais empregados: havendo menor número de tipos de materiais sendo usados, há uma redução do risco de atraso no cronograma, já que o processo depende menos de empresas subcontratadas para execução das atividades;
- diminuição da diversidade de mão de obra especializada: requer especial mão de obra somente na fase de execução da alvenaria portante, diferente dos demais sistemas, onde há a necessidade de responsáveis pelo concreto armado e aço;
- rapidez na execução: como se trata de um sistema onde há simplificação das técnicas construtivas, o processo acaba se tornando mais viável economicamente, possibilitando também maior rapidez no retorno do valor investido.

Ainda, segundo o autor, a desvantagem de se utilizar a alvenaria estrutural é quanto à restrição para futuras modificações de projeto ou uso, limitando o uso ao projeto de concepção.

2.2 NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO

Desde julho de 2013, entrou em vigor no Brasil, a NBR 15575 - Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), ou Norma de Desempenho como é conhecida. Tal norma é tratada, por muitos, como o principal marco de mudanças na construção civil nacional. Kern, Silva e Kazmierczak (2014), ao realizarem contextualização do surgimento dos estudos e da preocupação acerca do desempenho no Brasil, citam o déficit habitacional ocorrido nos anos 80 e a aceleração do crescimento ocorrida em tal época como precursores

desta área. Ao se analisar o contexto atual, quando a norma foi criada e entrou em vigor no Brasil, se verifica cenário semelhante, com o setor da construção civil em alta, devido principalmente, aos programas de habitação social.

Quanto ao conteúdo apresentado pelo documento, Campos (2013) cita o grau de inovação da norma de desempenho brasileira, ao conter o conceito de desempenho e seus respectivos requisitos e critérios, se assemelhando às normas internacionais. Segundo o autor, esse é o diferencial da norma, que se relaciona diretamente com o comportamento de uma edificação em uso, não sendo alusiva apenas aos requisitos relacionados aos materiais e as etapas de execução. O autor crê ainda que o andamento esperado para a construção civil, caso não houvesse a norma de desempenho, seria manter os mesmos padrões construtivos e materiais empregados, dado que o caráter prescritivo das outras normas induz ao atendimento de requisitos e impõe barreira à inovação.

Marques (2015) afirma que tal flexibilidade é possível, pois a norma de desempenho não é direcionada a apenas um tipo de produto ou edificação e sim, apresenta caráter genérico, permitindo que inovações possam ser equivalentes aos métodos de construção convencionais. Por outro lado, Graziano (2013) aponta a ausência de critérios subjetivos ou da classificação dos materiais em níveis, exemplificando que paredes em concreto devem ser submetidas à mesma avaliação de sistemas leves de construção seca.

Como consequência do lançamento dessa norma, o mercado da construção civil tem-se voltado a uma maior qualificação da mão de obra, que precisa ter domínio multidisciplinar das necessidades existentes em uma edificação. Há de se destacar ainda o aspecto de inovação relacionado à prescrição das responsabilidades: a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta, de modo claro, as responsabilidades de cada um dos envolvidos na fase de projeto, construção, comercialização e uso das construções. Estas imposições são feitas através de requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos ou premissas). O desempenho é testado por análise de projeto ou vinculado à realização de ensaios. A Figura 1 sintetiza a estruturação da norma.

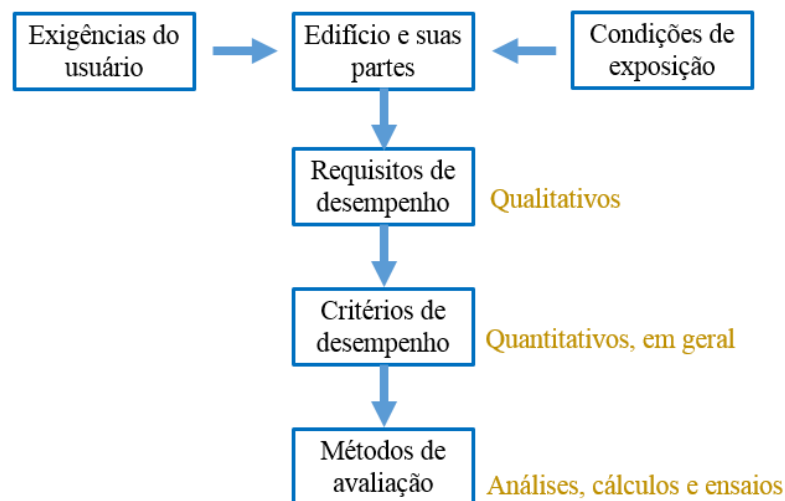


Figura 1 - Estruturação da Norma de Desempenho NBR 15575

Fonte: Campos (2013)

A norma se estrutura em três diferentes segmentos: habitabilidade, sustentabilidade e segurança.

Brandão (2007) informa que a habitabilidade é relacionada com o sentimento do cidadão do habitar, do ter e do ter-se no mundo, se identificar socialmente, culturalmente, abrigando seus hábitos e costumes. Por tal definição, se entende tal conceito como subjetivo e se faz necessário estabelecer parâmetros que possam nortear tal análise.

Habitabilidade, de modo geral, diz respeito às condições as quais os indivíduos interagem com uma edificação. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), os parâmetros que permitem aferir tais condições são:

- estanqueidade à água, ar e animais;
- funcionalidade e acessibilidade;
- conforto termo-acústico, lumínico, tátil e antropodinâmico;
- saúde, higiene e qualidade do ar.

Para Gomes (2015), as exigências de habitabilidade se dividem em: **conforto térmico**, onde o ambiente interno das edificações permite que os ocupantes, utilizando vestimentas adequadas, exerçam suas atividades normalmente, sem que haja desconforto, seja ele por calor ou frio excessivo; **conforto acústico**, está ligado diretamente ao bem-estar dos ocupantes da edificação, pois a concentração para as atividades diárias implica diretamente na sua produtividade; **impermeabilidade à água**, a estanqueidade está ligada diretamente à

durabilidade das edificações, pois muitas vezes é a água que faz com que acelere o processo de degradação, reduzindo a vida útil; **qualidade do ar**, o edifício deve possuir sistemas que permitam uma renovação do ar, seja ela por ventilação natural ou forçada, pois o ar possui um impacto sobre a saúde e o bem-estar dos ocupantes; **visuais**, aspectos e forma de espaços podem ser englobados nesta exigência (cor, textura, verticalidade, perpendicularidade).

O conceito de habitabilidade pode ser definido:

Entende-se por padrão de habitabilidade a adoção de tipologias em correspondência aos requisitos mínimos que garantam o morar com desfrute de saúde e bem-estar e propiciem a dignidade humana. Nesse sentido, promove o pleno exercício do ato de morar, ampliando e melhorando, respectivamente, a qualidade do espaço e da vida. Padrões que propiciem o convívio harmônico através da reflexão e do aprimoramento do lugar/objeto/habitação (COHEN *et al.*, 2004, p. 809).

Outro requisito é quanto à sustentabilidade. Segundo Keeler e Burke (2010), para que seja atendida a exigência de sustentabilidade no projeto, alguns critérios quanto às normas vigentes específicas dos materiais e da NBR 15575 (ABNT, 2013) devem ser adotados, tais como: o uso de projeto apropriado ao clima; uso de sistemas de vedação capazes de criar separação térmica entre os ambientes da edificação, lado externo e interno; meios que possibilitem o controle da ventilação na edificação e fazer uso, sempre que possível, de energias renováveis. O autor salienta para que se atente aos fatores climáticos específicos de cada região, onde o projeto será implantado.

Ainda dentro da dimensão sustentabilidade, os requisitos de durabilidade são impostos de modo que as edificações apresentem uma vida útil mínima. Pensando nas fases de construção, uso e demolição, uma maior vida útil das edificações é relacionada com menor geração de resíduos, menor necessidade de materiais e impacto ambiental, dada a grande utilização de insumos para a construção de uma edificação. Este é um dos pontos impactantes da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a imposição de períodos duráveis para os diferentes componentes de uma edificação.

A Tabela 1 apresenta fragmento de tabela da referida norma, exemplificando a imposição de vida útil.

Tabela 1: Requisitos de vida útil da NBR 15575 (ABNT, 2013)

Parte da edificação	Exemplos	VUP (anos)		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥50	≥63	≥75
Estruturas auxiliares	Muros divisórios, estruturas de escadas externas	≥20	≥25	≥30
Vedação externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥40	≥50	≥60
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas, escadas internas, guarda-corpos	≥20	≥25	≥30
Cobertura	Estrutura da cobertura e coletores de águas pluviais embutidos	≥20	≥25	≥30
	Telhamento	≥13	≥17	≥20
	Calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, subcoberturas facilmente substituíveis	≥4	≥5	≥6
	Rufos, calhas internas e demais complementos (de ventilação, iluminação, vedação)	≥8	≥10	≥12
Revestimento interno aderido	Revestimento de piso, parede e teto: de argamassa de gesso, cerâmico, pétreo, de tacos e assoalhos sintéticos	≥13	≥17	≥20
Revestimento interno não aderido	Revestimento de piso: têxteis, laminados, elevados; lambris, forros falsos	≥8	≥10	≥12

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Os requisitos de segurança são focados nos riscos que podem ocorrer no uso e na operação de um imóvel. Marques (2015) aponta que podem ser citados os requisitos relacionados ao sistema estrutural, de resistência ao fogo e de segurança durante sua utilização.

Cada uma dessas divisões apresenta seus subcapítulos de análise de desempenho, sendo estes:

- a) habitabilidade,
- b) sustentabilidade,
- c) segurança.

Ainda, cada um desses capítulos e itens são apresentados em diferentes partes da norma, que recebem a seguinte numeração e distinção de elementos avaliados:

Parte 1: Requisitos gerais

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Segundo CBIC (2013): “A segurança contra incêndio baseia-se em fundamentos de projetos (implantação adequada para que o incêndio não se propague para outras edificações, compartimentação, rotas de fuga, acesso para os bombeiros etc), propriedades dos materiais e dos elementos da construção (ignitibilidade, resistência ao fogo etc), dispositivos de detecção e combate ao fogo, principalmente na sua fase inicial”.

2.3 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

2.3.1 O fogo e o incêndio

Os conceitos que abordam o tema fogo e incêndio ainda não são bem definidos para a população. Para a NBR 13860 (ABNT, 1997), o fogo é o “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”. Mundialmente, o fogo é estabelecido como o “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos” (ISO, 1987; BSI, 2005).

De acordo com Silva (2012), medidas devem ser tomadas a fim de facilitar a evacuação da edificação em situação de incêndio, sejam elas para seus ocupantes ou para a entrada da equipe que irá combater o incêndio, visto que sua estrutura deve suportar um tempo necessário sem que entre em colapso.

Claret (2006) e Seito (2008) afirmam que o incêndio pode ser definido como uma combustão que se propaga de forma rápida e violenta sem o controle humano, tendo como produtos resultantes da combustão o calor, a fumaça e a chama.

Segundo a *National Fire Protection Association - 921* (NFPA, 2011), o fogo é a oxidação rápida autossustentada, acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz. De forma simplificada, o fogo é uma reação exotérmica com liberação de luz e calor. A Instrução Técnica N° 02/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011) dispõe que esse fenômeno só é possível com a presença de quatro componentes: o combustível, o comburente, a chama (fonte de calor) e a reação em cadeia (apresentado em 2.3.1.1).

O desenvolvimento de incêndio geralmente apresenta quatro pontos distintos: incipiente, crescimento, combustão generalizada e resfriamento e obedecem a curva temperatura-tempo típica em seu processo de desenvolvimento (Figura 2), (BUCHANAN, 2001 apud ROSEMANN, 2011).

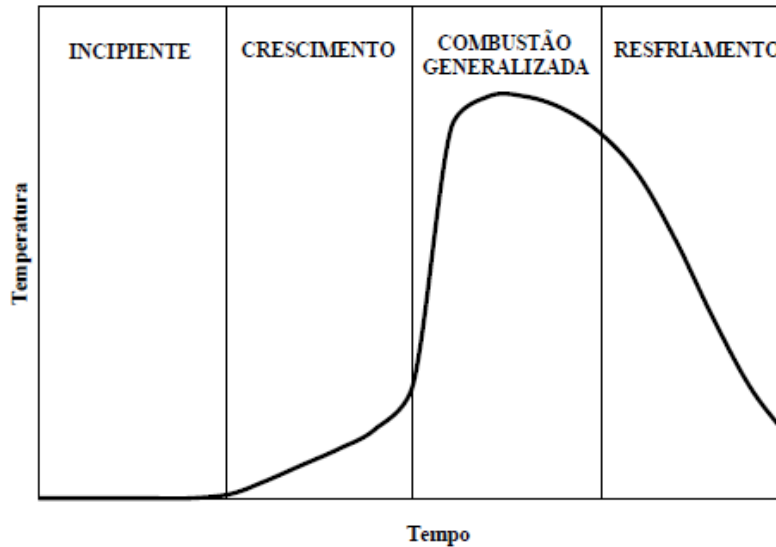


Figura 2 - Curva temperatura-tempo típica de desenvolvimento de incêndio

Fonte: Buchanan (2001) apud Rosemann (2011)

A ISO 8421-1 (ISO, 1987) conceitua o incêndio como combustão rápida, se disseminando de forma descontrolada no tempo e espaço.

2.3.1.1 Representação do fogo

A combustão só acontece quando há combustível e oxigênio em quantidades adequadas, juntamente com um agente de calor para iniciar o processo da mistura. O tetraedro do fogo representa as partes constituintes (Figura 3). Retirando qualquer um desses componentes constituintes, o fogo é extinguido. (LIMA, 2005; SEITO et al., 2008; BRITZ, 2011).



Figura 3 - Tetraedro do fogo

Fonte: Britz (2011) adaptado de Seito et al. (2008)

O combustível pode ser caracterizado como toda matéria suscetível à queima, podendo ser sólida, líquida ou gasosa. O comburente é representado como agente oxidante, normalmente caracterizado como oxigênio, o que inicia e conserva a reação de combustão, sendo o elemento que se combina com os vapores dos combustíveis, possibilitando a expansão do fogo. O calor pode ser apresentado como elemento ativante e que, em associação com o comburente, reage com o combustível. A reação em cadeia é a transferência de calor que se processa para as moléculas vizinhas, ativando a reação nessas que, por sua vez, repetem o processo para as demais moléculas (BRITTEZ, 2011).

2.3.1.2 Calor e métodos de propagação

Segundo Silva (2004), a ação térmica oriunda da situação de incêndio é descrita pelos fluxos de calor por radiação e por convecção. O calor proveniente do fogo pode se propagar de três formas diferentes em uma edificação, através de condução, convecção e radiação. Para melhor entendimento, o processo de transferência de calor em blocos cerâmicos vazados é apresentado na Figura 4.

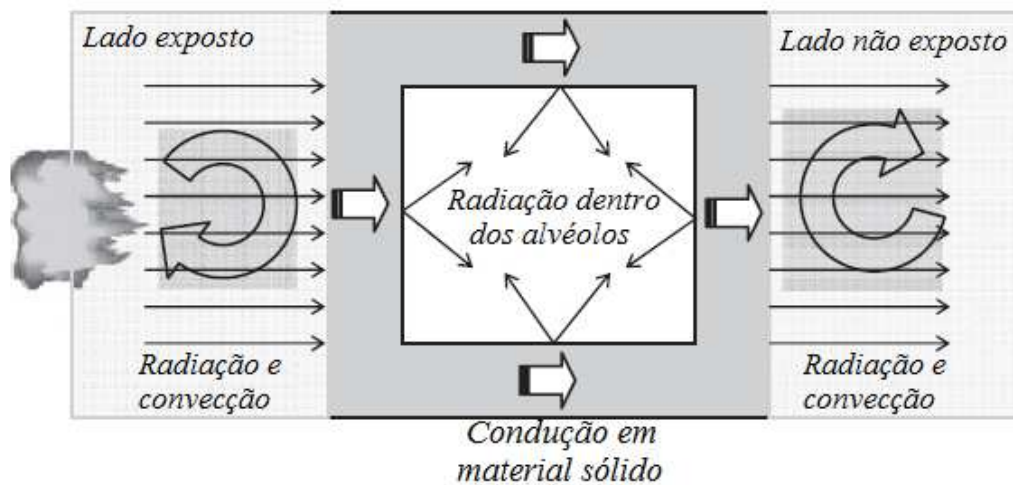


Figura 4 - Processo de transferência de calor através do bloco vazado

Fonte: Adaptada pelo autor de Nguyen e Meftah (2014)

A transferência de calor para um elemento se dá através da transferência de calor de um elemento entre as chamas e a borda do material. Ocorre através da confluência de convecção e da radiação. Posteriormente, essa transferência de calor ocorre por condução (SILVA, 2004).

De acordo com Lima (2005), a condução se dá através da transferência de calor entre os materiais sólidos, principalmente quando esses materiais são vistos como bons condutores. A interação de transferência de calor também se dá em materiais pouco

condutores, segundo o autor, porém essa transferência ocorre pela agitação mecânica das moléculas.

Para Souza (2010), na condução, o efeito da ação térmica se desenvolve pelo aquecimento dos elementos estruturais. O calor gerado pelo incêndio é transferido à estrutura, fazendo com que se tenha uma diferença de temperatura entre a face exposta e a não exposta. Dependendo do tempo de exposição ao aquecimento, as temperaturas entram em equilíbrio, findando a transferência de calor no elemento estrutural.

A condução envolve o fluxo de calor entre dois meios (sólidos, líquidos ou gasosos). A condução é o único processo que pode ser transmitido em materiais sólidos. A transferência de calor pode acontecer em diferentes direções: em regime permanente ou regime transiente (BARBOSA, 2014).

Lima (2005), direcionando o fenômeno em relação ao incêndio, relata que o calor transferido por convecção é um fator importante na propagação da chama e no transporte da fumaça e dos gases quentes, sendo que o processo surge no momento em que há contato entre a superfície do sólido aquecido e os fluídos do entorno. A taxa de aquecimento ou resfriamento depende da velocidade de reposição do fluído na superfície.

De acordo com Souza (2010), no mecanismo de transferência por convecção, o fluxo de calor é gerado pela diferença de densidade entre os gases do ambiente em chamas. Os gases quentes são menos densos e tendem a ocupar a atmosfera superior, enquanto os gases frios, de densidade maior, tendem a se movimentar para a atmosfera inferior do ambiente.

A radiação, diferente da condução e da convecção, se dá através da transferência de energia por ondas eletromagnéticas, sendo que essas ondas se propagam através do vácuo e dos sólidos e líquidos transparentes às ondas. O incêndio é caracterizado por esse mecanismo, pois existe interação das chamas com os materiais combustíveis, bem como a edificação afetada e as edificações do seu entorno, pois não necessita de um meio material para a sua propagação (LIMA, 2005; SOUZA, 2010).

2.3.2 Medidas de segurança contra incêndio

Para que um edifício possa ser considerado seguro contra incêndios, ele deve conferir segurança aos seus moradores e, também, deve proporcionar, a todos os ocupantes, a chance de saírem do local, sem ferimento ou dano material.

Segundo Mitidieri (2008), há requisitos funcionais, os quais uma edificação deve atender, para que a mesma apresente segurança, quando submetida a um incêndio: prevenção

do início do incêndio; limitar seu crescimento, extinguir o incêndio no ambiente de origem, delimitar a propagação para outras áreas, possibilitar a evacuação segura dos usuários, dificultar a propagação do incêndio para edifícios adjacentes, mantê-lo íntegro, sem danos e sem ruína e possibilitar o acesso seguro das equipes de socorro e de combate.

De acordo com Vasconcelos e Ventura (2010), estratégias devem ser adotadas como medidas de segurança contra incêndio, sendo elas:

- reduzir a probabilidade de início do incêndio;
- limitar o desenvolvimento/propagação do incêndio;
- facilitar a evacuação do edifício;
- permitir o combate ao incêndio e o salvamento;
- reduzir os efeitos dos produtos extintores no edifício ou ambiente; e
- limitar os efeitos dos produtos resultantes do incêndio.

O objetivo das medidas de segurança contra incêndio é manter o desempenho estrutural de uma edificação por um determinado tempo mínimo para que o desenvolvimento e propagação do fogo e da fumaça sejam reduzidos, possibilitando aos ocupantes o livre acesso para abandonar a edificação, permitindo com segurança o acesso das equipes de resgate (HAHN, 1994 apud ROSEMANN, 2011).

Para Ono (2007), as medidas de segurança contra incêndio podem ser classificadas em medidas de prevenção e proteção. As medidas de prevenção se destinam a impedir a ocorrência do início do incêndio, já as medidas de proteção, se destinam a resguardar os ocupantes e os bens materiais. A proteção contra incêndio pode ser representada por proteção passiva e ativa.

A proteção do tipo ativa visa controlar o fogo ou seus efeitos mediante ação tomada por uma pessoa ou equipamento, ou seja, depende de uma ação externa, podendo ser de extinção ativa, como hidrante e mangote, ou extinção automática, como chuveiros automáticos, extintores, sistemas de alarme e detecção. Os sistemas de sinalização e iluminação de emergência também fazem parte dos sistemas ativos (ONO, 2007; TONELLI, 2011).

Como características das medidas de proteção do tipo passiva, integram-se o controle do fogo ou de seus efeitos por sistemas construídos dentro dos elementos de um edifício, não requerendo uma operação específica dos mesmos, em caso de incêndio (BUCHANAN, 2001 apud ROSEMANN, 2011). O papel da compartimentação pode ser

definido sob diversos aspectos, por estar relacionado a vários fatores, tais como: medidas urbanísticas, arquitetônicas, função dos espaços compartimentados e projeto estrutural em situação de incêndio (COSTA; ONO; SILVA, 2005).

As medidas de proteção passiva abrangem o controle dos materiais combustíveis, meios de escape (saídas de emergência), compartimentação horizontal e vertical (ONO, 2007).

2.3.3 Compartimentação vertical e horizontal

De acordo com Neto (1995), o conceito de compartimentação é visto como uma divisão de um edifício em setores de incêndio. Segundo o autor, a compartimentação é a criação de volumes construtivos estanques ao fogo, impedindo que a ocorrência de inflamação generalizada se propague verticalmente e horizontalmente para áreas adjacentes.

Para Marcatti, Coelho Filho e Berquó Filho (2008), a compartimentação consiste na técnica de interpor elementos de construção resistentes ao fogo, cujo papel fundamental é o de impedir o crescimento do incêndio, criando uma barreira física resistente ao fogo, capaz de proporcionar segurança nas ações de abandono do edifício pelos ocupantes, como se observa na Figura 5.

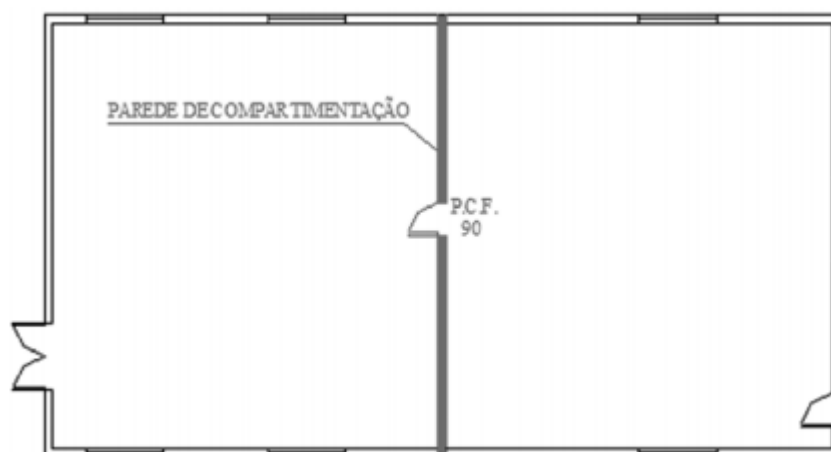


Figura 5 - Esquema básico de compartimentação

Fonte: Marcatti, Coelho Filho e Berquó Filho (2008)

A compartimentação pode ser vertical e horizontal. A compartimentação horizontal é uma medida que evita a propagação do incêndio no plano horizontal, limitando-o somente ao local de origem (Figura 6) (MARCATTI; COELHO FILHO; BERQUÓ FILHO, 2008).

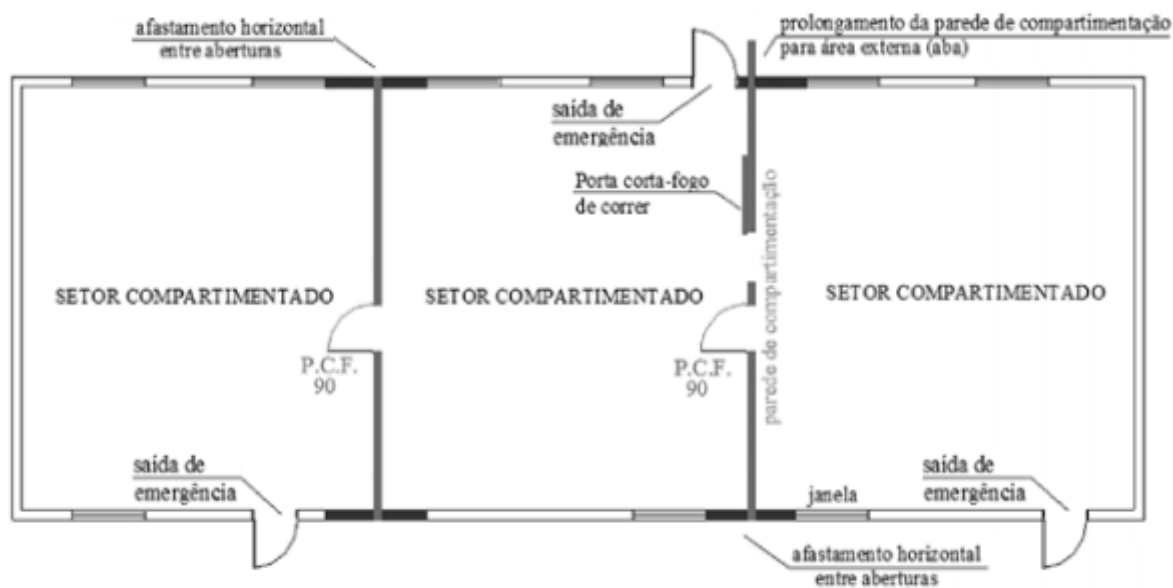


Figura 6 - Detalhes construtivos da compartimentação horizontal

Fonte: Adaptado pelo autor de IT/SP – 09:2011

Segundo Al-Hadhrami e Ahmad (2009), as paredes de alvenaria confeccionadas com blocos cerâmicos podem ser utilizadas como elemento de compartimentação, como a parede corta-fogo (CF), quando essas apresentarem as dimensões mínimas para garantir o isolamento térmico e a estanqueidade. Dessa maneira, a parede construída de bloco cerâmico pode desempenhar, de forma satisfatória, a função de compartimento horizontal das edificações. O formato e a distribuição dos vazios do bloco influenciam diretamente no isolamento térmico.

O compartimento vertical é destinado a evitar o incêndio no plano vertical, para pavimentos adjacentes, formada por elementos resistentes ao fogo. O compartimento vertical tem desempenhado função principalmente em lajes de edificações, atentando para a estanqueidade das mesmas. O fogo pode se propagar para o exterior da edificação, entre os pavimentos através das janelas. Nesse sentido, a compartimentação vertical é obtida com a utilização de abas, como marquises e platibandas, de maneira a impedir a propagação do fogo (Figura 7) (ROSEMANN, 2011).

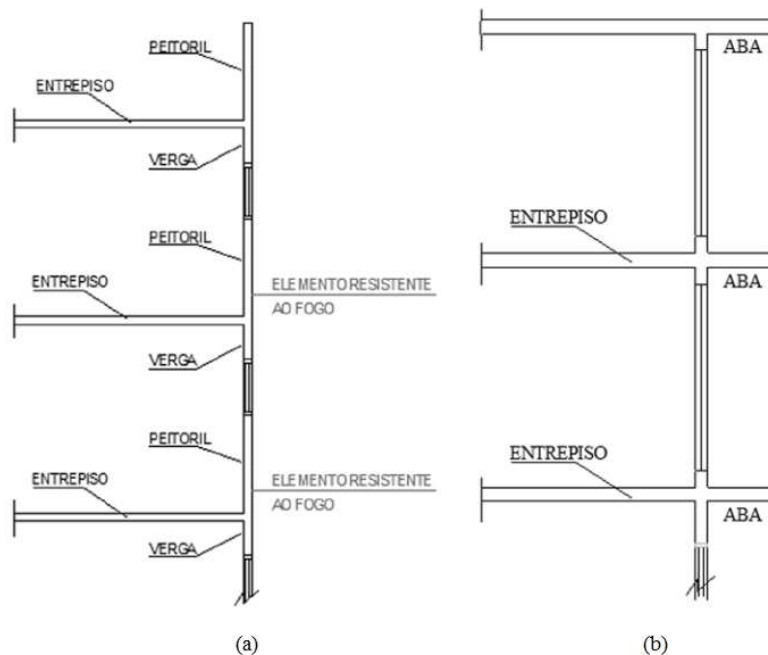


Figura 7 - (a) Modelo de compartimentação vertical externa e (b) Modelo externa por aba

Fonte: Adaptado pelo autor de IT/SP – 09:2011

Para a Instrução Técnica n° 09/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011), as paredes com função de compartimentação devem ter a propriedade CF, sendo construída entre o piso e o teto devidamente vinculada à estrutura da edificação. Entende-se como parede CF, o elemento que, por um determinado tempo, apresente integridade mecânica a impactos; impeça a passagem de gases quentes, chamas e fumaça; e, por fim, impeça a passagem de calor excessivo para a face não exposta.

2.3.4 Resistência ao fogo de Sistema Vertical de Vedação Interna e Externa (SVVIE)

De acordo com Bonitese (2007), o desempenho de um elemento estrutural exposto ao fogo está ligado diretamente às propriedades mecânicas e térmicas dos materiais constituintes. Segundo o próprio autor, a fase de aquecimento presente no incêndio, faz com que se tenha uma modificação na sua microestrutura, podendo fragilizar o elemento ao ponto de entrar em colapso.

Para Nguyen e Meftah (2012), a resistência ao fogo de paredes de alvenaria pode ser determinada através de ensaios em laboratório ou por métodos semi-empíricos, por sua vez, mais conservadores. Segundo os autores, resultados oriundos de ensaios de caracterização dos materiais são insuficientes para validar uma simulação numérica. Com base nos seus estudos, os autores relatam que paredes estruturais com espessura variando entre 12 e 14 cm podem apresentar lascamentos do tipo explosivo, fazendo com que se tenha

uma redução na espessura da parede ensaiada, porém não interferindo na estabilidade estrutural, apenas no critério de isolamento térmico.

Quando se trata de uma parede de alvenaria, a resistência ao fogo abrange três níveis de segurança, sendo representados por estabilidade estrutural, estanqueidade a gases e fumaça e isolamento térmico (THINK BRICK AUSTRALIA, 2006). Esses requisitos são apresentados nas principais normas nacionais e internacionais, quando há a realização do ensaio para determinação da resistência ao fogo, como na NBR 5628 (ABNT, 2001), na NBR 10636 (ABNT, 1989), na NBR 14323 (ABNT, 2013), na NBR 15200 (ABNT, 2012), na JIS A 1304 (JSA, 1994), na ASTM E119 (ASTM, 2016) e na ISO 834-1 (ISO, 1999).

Os níveis de segurança de uma parede de alvenaria apresentam estabilidade estrutural, através da habilidade da parede preservar sua resistência mecânica, durante o período de resistência ao fogo. Essa propriedade é importante em alvenaria estrutural, pois as paredes de uma edificação, com essas características de alvenaria, são responsáveis pela distribuição das cargas até o solo (ROSEMANN, 2011).

A estanqueidade de uma alvenaria está ligada à capacidade da parede de prevenir a passagem de chamas e gases quentes, através de fissuras que possam surgir. Com a estanqueidade não prejudicada, uma parede de alvenaria pode controlar o espalhamento de fumaça no interior de uma edificação (SEITO, 2008).

Para Ono (2007), o isolamento térmico é o critério que avalia se o calor que incide na superfície do elemento construtivo, seja por radiação e condução, põe em risco os ocupantes ou objetos nas áreas adjacentes à face não exposta ao fogo.

2.3.5 Propriedades térmicas do SVVIE

De acordo com Buchanan (2001), ocorre em um SVVIE em situação de incêndio a transferência de calor, que pode ser definida como o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura num meio. Nesse caso, enquanto que uma das faces do sistema está exposto ao calor gerado pelo incêndio, com a superfície exposta aquecida, a outra face se encontra com menor temperatura, na superfície da parede não exposta, iniciando a transferência de calor.

A resistência térmica dos blocos cerâmicos depende da massa específica de seus materiais constituintes. Ainda, a alvenaria, por possuir núcleos vazios, dificulta a transferência

de calor. As características térmicas de alguns tipos de blocos estão listadas na Tabela 2 (ROSEMANN, 2011).

Alternativas são utilizadas para melhorar o desempenho térmico dos SVVIE, como a utilização de materiais granulares de reduzida massa específica para preenchimento das cavidades, como vermiculita e perlita.

Vermiculita é um mineral, que quando aquecido a 500°C, sofre um processo no qual se torna leve, o diâmetro de suas partículas está entre 0,075 e 4,8 mm, e sua massa unitária é em torno de 1,6 kN/m³. Sua principal característica é de ser um agregado leve, poroso e com elevada resistência térmica (AMBROZEWICZ, 2012).

Tabela 2 - Condutância térmica de blocos cerâmicos e de concreto

Material (tijolo vazado)	Massa específica (kg/m ³)	Condutância (C) (kcal/h.m ² .°C)
não preenchido		
10 cm (62,9% sólido)	1297	6,64
15 cm (67,3% sólido)	1377	5,22
20 cm (61,2% sólido)	1249	4,59
25 cm (60,9% sólido)	1249	4,05
preenchido com vermiculita		
10 cm (62,9% sólido)	1329	4,44
15 cm (67,3% sólido)	1409	3,22
20 cm (61,2% sólido)	1281	2,54
25 cm (60,9% sólido)	1281	2,05

Fonte: Adaptado pelo autor de Beall (1997)

Segundo a *Brick Industry Association* (BIA, 2008), as cavidades presentes nos blocos cerâmicos faz com que a transferência de calor seja pelo mecanismo de convecção e radiação, porém a alvenaria estrutural pode melhorar seu desempenho mecânico quando essas cavidades são preenchidas com graute, também apresentando um benefício na transmissão de calor, pois o mecanismo de transferência passa a ser por condução.

O perfil de distribuição da temperatura interna no SVVIE em ensaios de resistência ao fogo realizados por outros autores, denotam que a curva de distribuição da temperatura não é linear (Figura 8). Ainda, o perfil gerado pela temperatura está diretamente relacionado com a espessura da parede e a taxa de aquecimento que incide sobre o elemento (NADJAI et al., 2006; NGUYEN et al., 2009).

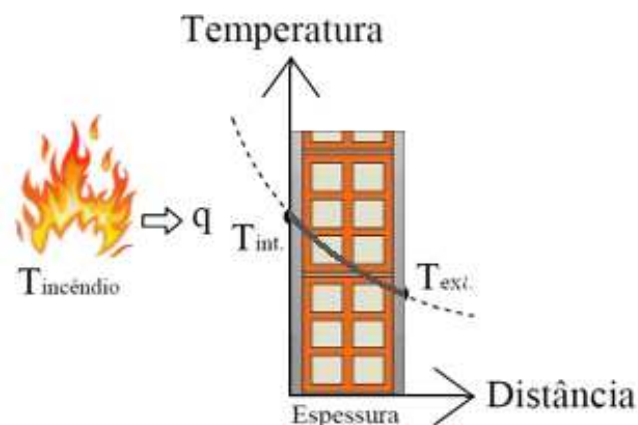


Figura 8 - Distribuição de temperatura ao longo da espessura da parede

Fonte: Adaptado pelo autor de Rosemann (2011)

De acordo com Nadjai et al. (2006), a concavidade da curva gerada pela transferência de calor é maior proporcionalmente ao aumento da espessura da parede e da taxa de aquecimento.

Segundo Rosemann (2011), o processo capaz de armazenar e dissipar calor de um material é chamado de inércia térmica. A transmissão térmica através dos materiais sólidos é caracterizada por não ser imediata, há variação do tempo entre o recebimento de calor pela parede e o aumento real da sua temperatura. A inércia térmica é caracterizada pela velocidade com que uma parede aquece ou resfria. Paredes com alta densidade e grandes massas causam absorção mais lenta, e, por consequência, retenção mais longa de calor (BEALL, 1997).

Para Costa (2008), o conceito de inércia térmica pode, erroneamente, associar a qualidade de retardante térmico dos materiais. Deve-se avaliar a condutividade térmica para se concluir sobre a propriedade de isolamento térmico, não somente a inércia térmica isoladamente.

Os principais fatores que podem influenciar a inércia térmica de uma parede são: a espessura da parede, a densidade, o calor específico e a condutibilidade térmica dos materiais, sendo que, de acordo com Beall (1997), esse fenômeno contribui para a segurança ao fogo em alvenarias, retardando a transferência de calor.

2.3.6 Padronização de curvas de incêndio

Para que se possa comparar resultados, se tratando de resistência ao fogo em laboratório, é preciso que se adote uma situação de incêndio padrão. A padronização de ensaios permite que seja possível comparar os resultados obtidos, avaliando, de forma

padronizada, o comportamento das amostras segundo classes de resistência ao fogo (COSTA, 2008).

O cenário de incêndio padrão em que a estrutura será submetida deve ser considerada na concepção do estudo. Este é reproduzido em função das possíveis cargas de incêndio que serão adotadas em cada curva, considerando a evolução de temperatura em função do tempo. Por norma, os três perfis que são utilizados em programas experimentais são: incêndios em túneis, descritos pelas *Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln* (RABT) e pelo *Rijkswaterstaat* (RWS); incêndios ocasionados por materiais a base de hidrocarbonetos, como produtos oriundos da indústria de petroquímicos, teste desenvolvido por uma empresa petrolífera dos Estados Unidos (*Mobil Oil Company*); e incêndios considerados como padrão (base de materiais celulósicos). A Figura 9 apresenta os perfis.

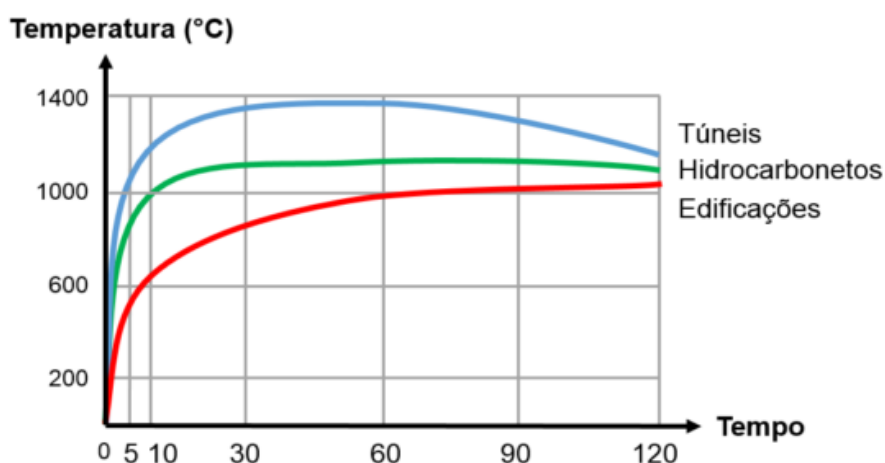


Figura 9 - Curva padrão para três cenários de incêndio

Fonte: *The Concrete Centre* (2004)

A curva de incêndio adotada para os métodos de ensaio avaliados no presente estudo condiz com a curva parametrizada para edificações. Ainda, é preciso que fique claro que em todos os métodos de ensaio o objetivo final é obter o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) de cada amostra ensaiada.

No meio técnico, as três curvas padronizadas mais difundidas utilizadas para estudos experimentais que envolvem cenários de incêndios reproduzindo materiais celulósicos são as curvas da ISO 834-1 (ISO,1999), ASTM E119 (ASTM, 2016) e JIS A 1304 (JSA, 1994) (PHAN, 1996). Para melhor entendimento, as três curvas estão apresentadas na Figura 10.

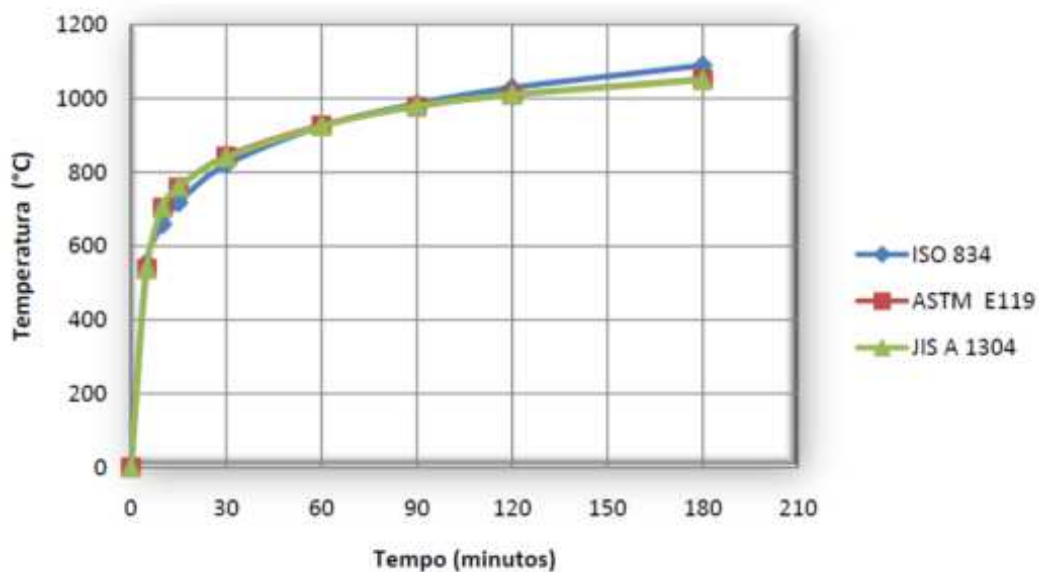


Figura 10 - Curvas de incêndio padrão

Fonte: Adaptado pelo autor de Phan (1996)

A ASTM E119 (ASTM, 2015) utiliza padrões aplicáveis a ampla variedade de materiais, estabelecendo requisitos de exposição ao fogo de forma controlada, fixando exigências para TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), com base no primeiro ponto crítico de comportamento do material observado durante o período de ensaio. Os resultados são expressos em horas pela presente norma, denominados de "testes de incêndio padrão", através das notações 2-H (2 horas); 6-H (6 horas); 1/2-H (30 minutos). Em geral, os métodos são utilizados para ensaios em alvenaria e sistemas compostos, como paredes e divisórias, colunas, vigas, lajes, pisos e telhados. Assim como a ASTM E119 (ASTM, 2015), a ISO 834-1 (ISO, 1999) estabelece uma curva padrão de crescimento de temperatura pelo tempo, ao qual os materiais deveriam estar sujeitos. A Tabela 3 apresenta o padrão de elevação de temperatura no forno, conforme ISO 834-1 (ISO, 1999).

Tabela 3 - Elevação de temperatura no forno

Tempo	Temperatura (°C)
30 min	841,8
1 h	945,3
2 h	1049,0
3 h	1109,7
4 h	1152,8

Fonte: Adaptado pelo autor de Zago, Moreno Junior e Marin (2015)

É imprescindível que se mantenha o aquecimento controlado para a obtenção de dados comparativos entre diferentes materiais e sistemas, sendo possível a previsão de

comportamento destes, em caso de um incêndio real. A Figura 11 elucida de forma gráfica os valores apresentados na Tabela 3 .

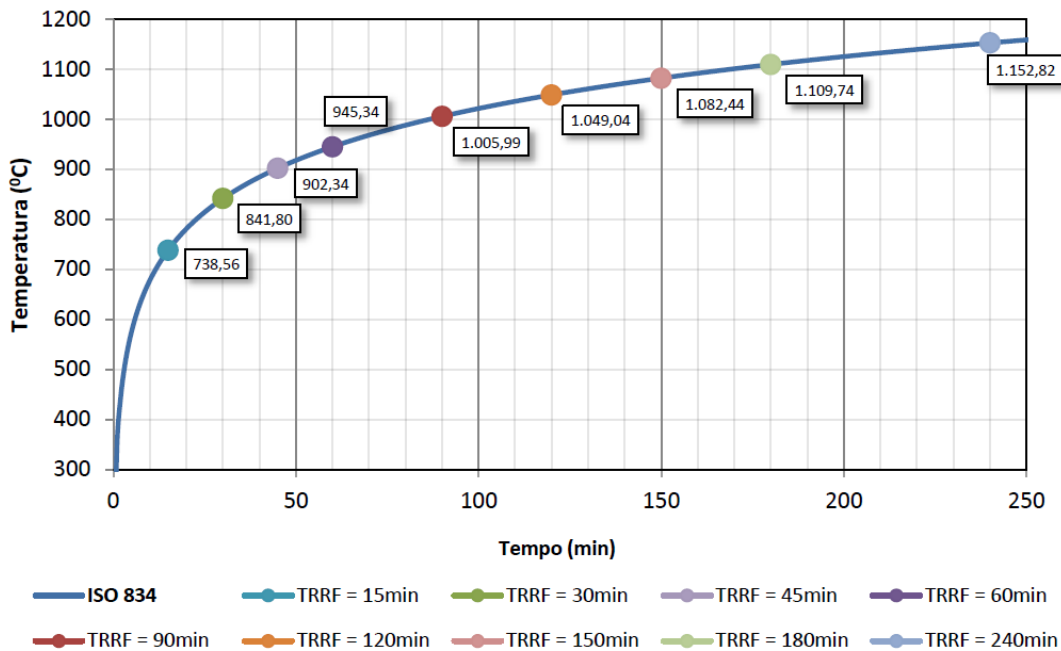


Figura 11 - Gráfico de elevação da temperatura

Fonte: Zago, Moreno Junior e Marin (2015)

É preciso salientar que em uma situação real de incêndio, a taxa de evolução de temperatura é diferente das adotadas nos ensaios. A Figura 12 demonstra a equação fundamentada pelo acréscimo de temperatura do forno de ensaio em função do tempo, juntamente com o comportamento de um incêndio real, quando comparado ao do ensaio, de acordo com a ISO 834-1 (ISO, 1999).

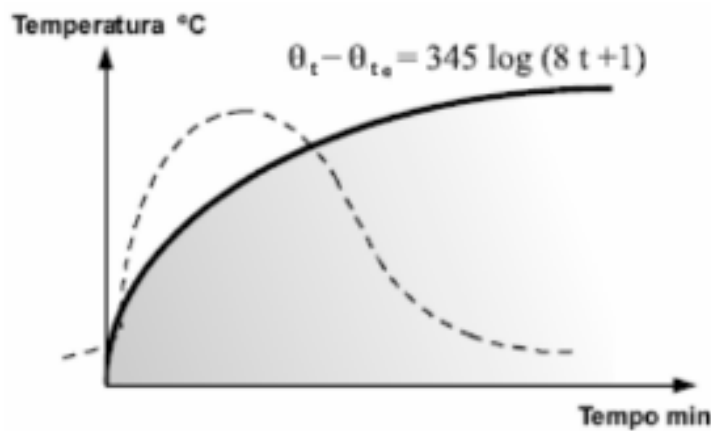


Figura 12 - Modelo de incêndio padrão (linha cheia) comparado ao incêndio real (pontilhado)

Fonte: Adaptado pelo autor de Costa e Silva (2003)

Onde:

θ_t : é a temperatura dos gases atmosféricos no compartimento no instante t, em °C;

θ_{t0} : é a temperatura dos gases atmosféricos no compartimento no início do incêndio, em °C;

t: é a duração total do incêndio, em minutos.

2.3.7 Legislação de resistência ao fogo

A constante preocupação da regulamentação brasileira em assegurar a proteção dos ocupantes de uma edificação tem proporcionado a aplicação de medidas que possam combater o fogo no seu estágio inicial, como é o caso dos extintores e equipamentos hidráulicos, já citados.

As características que devem ser apresentadas pelos elementos construtivos de uma edificação são determinadas por meio de códigos de edificações e normas técnicas. Estas são definidas com base nos princípios de segurança contra incêndio e visam à proteção da vida humana e dos bens materiais (MITIDIARI, 2008).

Para a Instrução Técnica N° 08/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP, 2011), quando se trata de paredes de alvenaria, os códigos de edificações estabelecem um determinado nível de resistência ao fogo, proporcionando a proteção dos ocupantes da edificação e provendo meios de escape e resgate.

O TRRF pode ser entendido como o tempo mínimo que as paredes de alvenaria devem resistir a uma ação térmica padronizada, em um ensaio laboratorial, continuando a apresentar características de integridade, estanqueidade e isolamento (BONITESE, 2007; OLIVEIRA, 1998; SILVA; OLIVEIRA; SOBRINHO, 2008).

As normas e os códigos determinam o TRRF considerando fatores ligados às características construtivas e ao tipo de utilização da edificação. A NBR 14432 (ABNT, 2001) fixa os critérios de resistência ao fogo com base no tipo de ocupação, área, profundidade do subsolo, altura da edificação e facilidade de acesso para combate ao incêndio. Os tempos são estabelecidos entre 30 e 120 minutos, com intervalos de 30 minutos. Outros códigos ainda levam em consideração outros fatores, tais como a quantidade de materiais combustíveis e a presença de sistemas de extinção de fogo (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2008; MITIDIARI, 2008).

A NBR 9077 (ABNT, 2001), fixa um tempo mínimo de duas ou quatro horas, de acordo com as características e uso da edificação, quando se trata de paredes de rotas de fuga e paredes que isolam unidades autônomas. A norma citada apresenta que, na ausência de alguma norma brasileira específica, paredes de tijolos maciços com espessura de 15 cm e de 25 cm devem ser resistentes à resistência ao fogo por duas horas e quatro horas, respectivamente.

A definição de espessuras e do tipo de parede, para a resistência ao fogo, de acordo com a definição da Lei Complementar 420/1998 de Porto Alegre (art. 18), torna-se semelhante aos conceitos estipulados na NBR 9077 (ABNT, 2001). Os tijolos maciços revestidos em ambas as faces, com 13 e 23 cm, são suficientes para a resistência ao fogo de duas horas e quatro horas, respectivamente. Essa mesma lei permite a substituição da alvenaria por parede de concreto armado, desde que as espessuras definidas sejam mantidas.

A Instrução Técnica nº 08/2011 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo aborda assuntos adotados para garantir a segurança de uma edificação. “A IT do Corpo de Bombeiros de São Paulo, revisada, é comparável com as normas brasileiras” (CASONATO, 2007). Esta instrução utiliza o TRRF para definir os níveis de proteção para os elementos estruturais, de vedação e de compartimentação das construções. A Instrução Técnica dos Corpos de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo aceita que a comprovação do TRRF seja feita através de ensaios específicos em laboratório; através de tabelas comprovadas em laboratório; ou através de modelos matemáticos (analíticos) normatizados ou reconhecidos internacionalmente.

Esta legislação apresenta, em seu Anexo B, dados que mostram a resistência ao fogo de alvenarias cerâmicas maciças e vazadas com e sem revestimento argamassado (Tabela 4). Conforme preconizado pelo documento, em ensaios laboratoriais, o traço da argamassa de assentamento utilizado para os tijolos cerâmicos maciços, deve ser de 1:5 (cimento:areia), para os blocos vazados de concreto de 1:1:8 (cimento:cal:areia) e para os tijolos vazados cerâmicos de 1:4 (cimento:areia). Nas paredes revestidas ensaiadas, o traço do emboço utilizado deve ser de 1:2:9 (cimento:cal:areia). Salienta-se ainda que os dados apresentados, foram obtidos a partir do ensaio de paredes de dimensões 2,8 x 2,8 m, com uma das faces totalmente exposta ao fogo, sem função estrutural.

Tabela 4 - Resistência ao fogo de paredes

Paredes ensaiadas	Espessura da parede (cm)	Atendimento aos critérios de avaliação (h)			Resistência ao fogo (h)
		Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Tijolos maciços dimensões: (5x10x20) massa: 1,5kg/unid (revestimento 2,5 cm)	Meio tijolo sem revestimento	10	≥2	≥2	1¼
	Um tijolo sem revestimento	20	≥6	≥6	≥6
	Meio tijolo com revestimento	15	≥4	≥4	4
	Um tijolo com revestimento	25	≥6	≥6	≥6
Blocos vazados de concreto (2 furos) dimensões: (14x19x39) e (19x19x39) massa: 13 e 17kg/unid (revestimento 1,5 cm)	Bloco de 14 cm sem revestimento	14	≥1¼	≥1¼	1¼
	Bloco de 19 cm sem revestimento	19	≥2	≥2	1¼
	Bloco de 14 cm com revestimento	17	≥2	≥2	2
	Bloco de 19 cm com revestimento	22	≥3	≥3	3
Tijolos cerâmicos de oito furos dimensões: (10x20x20) massa: 2,9kg/unid (revestimento 1,5 cm)	Meio tijolo com revestimento	13	≥2	≥2	2
	Um tijolo com revestimento	23	≥4	≥4	≥4
Paredes de concreto armado monolítico sem revestimento	11,5	2	2	1	1¼
	16	3	3	3	3

Fonte: Adaptado pelo autor de IT/SP- 08:2011 Anexo B

A norma australiana AS 3700 - *Masonry Structures* (SA, 2011) especifica níveis de resistência ao fogo para as alvenarias, em função de critérios ligados à adequabilidade estrutural (estabilidade contra o colapso), integridade/estanqueidade (capacidade resistente à fissuração excessiva e passagem de gases quentes e/ou chamas) e o isolamento térmico (resistência à passagem de calor).

A ACI/TMS 216.1 – *Code requirements for determining fire resistance of concrete and masonry Construction assemblies* (ACI/TMS, 2014) apresenta procedimentos de dimensionamento de estruturas de concreto e de alvenaria em situação de incêndio, com a verificação das paredes se dando em função da garantia de valores mínimos para a espessura

efetiva das paredes. A espessura equivalente mínima é determinada em função do tipo de elemento de alvenaria (bloco) e do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

A parte 2 do *Eurocode 6 – Structural fire design* (CEN, 2005) especifica as exigências necessárias a serem cumpridas no dimensionamento de estruturas em alvenaria em situação de incêndio. Semelhante a norma americana, para determinar o TRRF é necessário conhecer as características dos materiais empregados: blocos, argamassa de revestimento, dentre outros. Além dos critérios já conhecidos de estabilidade estrutural, estanqueidade e isolamento térmico, a norma ainda preconiza o critério de impacto mecânico. A avaliação, segundo o Eurocode 6, pode ser feita através de ensaios de laboratório, por métodos analíticos simplificados, tabulares ou por modelos numéricos.

2.4 ENCURVAMENTO DA ALVENARIA

A estabilidade estrutural da alvenaria é comprometida quando submetida a elevadas temperaturas, pois a alvenaria tende a se encurvar em direção ao fogo. Segundo Ono (2007), a estabilidade tem uma maior relevância quando a alvenaria está exercendo função portante, pois a mesma deve resistir aos carregamentos.

Em paredes de alvenaria, em uma situação de incêndio, onde o fogo se encontra somente em uma das faces, a parede se encurva, devido à expansão térmica diferencial. A degradação dos materiais expostos a altas temperaturas, somada com a expansão térmica diferencial, pode resultar no colapso do elemento, dependendo do grau de deterioração (NADJAI et al., 2006).

De acordo com Meyer (2006) apud Rosemann (2011), outros fatores são importantes para que se mantenha a estabilidade, como a degradação dos materiais quando expostos a elevadas temperaturas, o encurvamento devido à dilatação térmica, as restrições e a geometria da parede e a presença de excentricidades provocadas pela perda de resistência na face exposta.

Quando a alvenaria é submetida a um gradiente de temperatura, as diversas camadas que compõem essa parede, ao longo da espessura, se deformam de maneira desigual, tendendo a formar um arqueamento para o lado de maior temperatura. A Figura 13 mostra o comportamento encontrado por Nguyen et al. (2009).

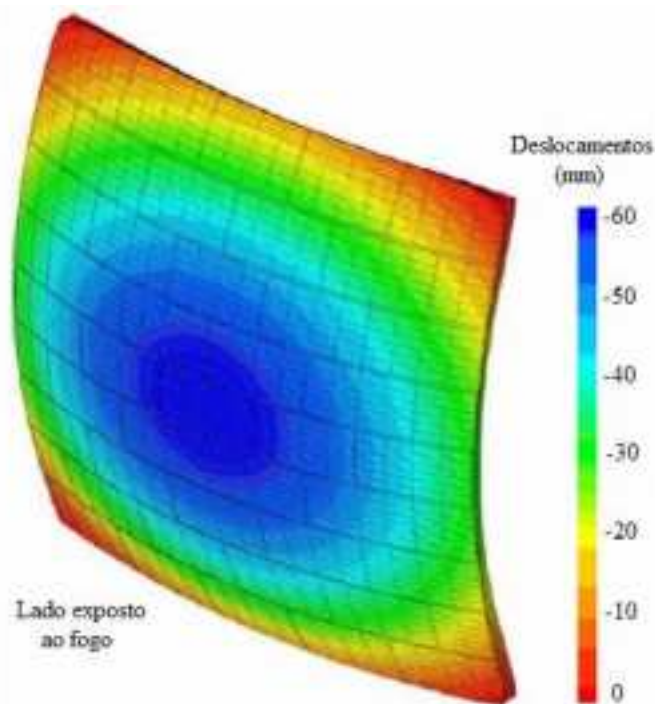


Figura 13 - Deslocamento da parede para fora do plano aos 42 min

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen et al. (2009)

Uma parede submetida a esforço de compressão axial resultará em efeito de 2ª ordem, podendo ser reduzido nos estágios iniciais, havendo carregamentos aplicados. O carregamento vertical tende a causar problemas após um longo período de exposição, quando o elemento tende a se tornar lateralmente instável, produzindo altas tensões devido ao surgimento de momentos induzidos pela deformação lateral (RIGÃO, 2012).

Nadjai, O’Gara e Ali (2003), através de estudo feito com simulação numérica de uma parede de alvenaria, analisaram a influência da excentricidade de aplicação da carga, a esbeltez da parede e o tipo de vinculação. Em relação ao tipo de vinculação foram propostos três tipos de condições de contorno, conforme Figura 14. Segundo os autores, em relação à condição de esbeltez da parede, quanto maior for a sua razão, menor será a temperatura de falha obtida nas paredes, apesar de a parede C não seguir a mesma tendência. Quando observada a aplicação de carregamento excêntrico na face oposta ao lado aquecido, nas paredes A e B, houve um aumento da deflexão e redução da temperatura, enquanto na parede C, não houve modificação significativa nestes parâmetros.

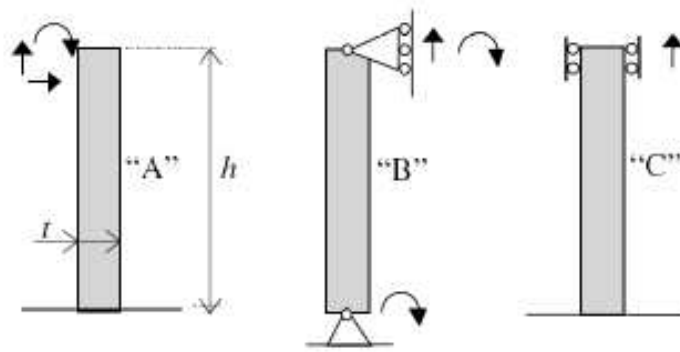


Figura 14 - Condições de contorno para vinculação das paredes

Fonte: Nadjai *et al.* (2003)

Para Gairns (2008), a determinação das deformações se inicia com a colocação uniforme de pontos em torno da superfície a ser estudada, a fim de obter uma cobertura completa, produzindo uma descrição mais precisa. O resultado dessa análise pode ser utilizada para detectar possíveis deformações da estrutura, por comparação dos valores obtidos, a partir das leituras (Figura 15).

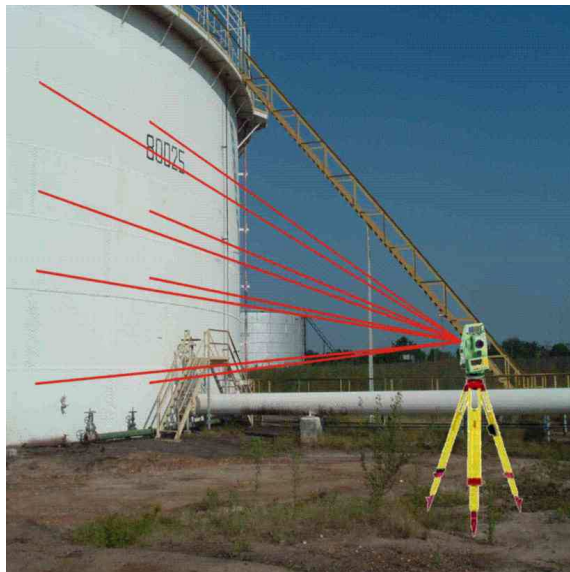


Figura 15 - Leitura das deformações

Fonte: Gairns (2008)

De acordo com Nguyen e Meftah (2012), a alvenaria sem carga apresentou um comportamento diferente da alvenaria com função estrutural. A alvenaria sem carregamento apresentou um deslocamento nos dois eixos em todo seu entorno, com maior valor encontrado no centro da amostra, a amostra se comporta como se estivesse fixa somente nos 4 cantos. Porém, na alvenaria com carga, os deslocamentos foram de menor magnitude, havendo uma restrição no topo e na base da alvenaria, conforme se verifica na Figura 17. Com isso, percebe-se que o carregamento interfere diretamente na deformação global da alvenaria. As

amostras não possuíam vinculação com o suporte, somente com o carregamento, que, através de uma viga superior, foi distribuído uniformemente nos elementos (Figura 16).

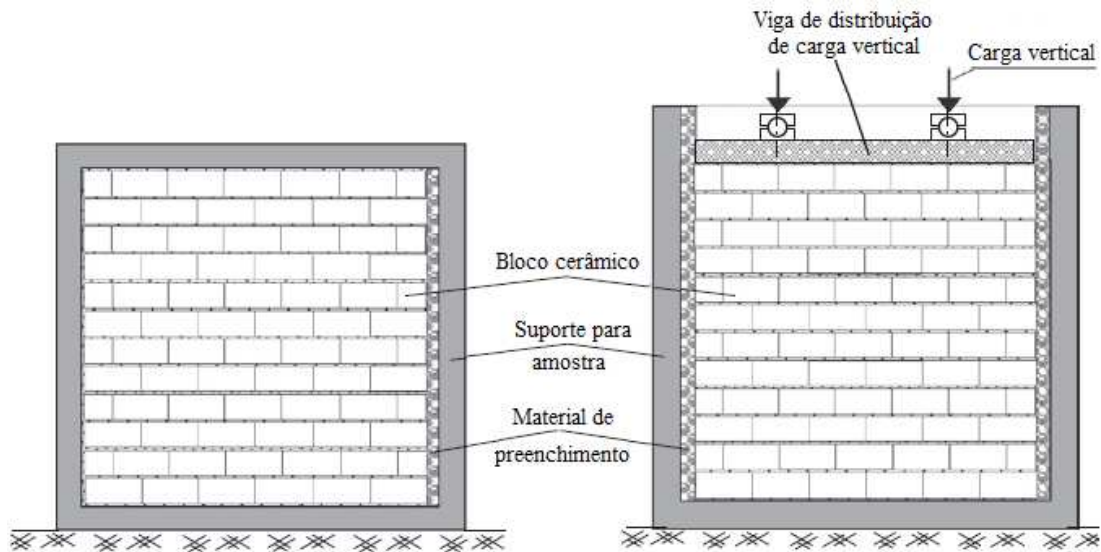


Figura 16 - Configuração das amostras testadas, esquerda amostra sem carga e direita amostra com carga

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen e Mefteh (2012)

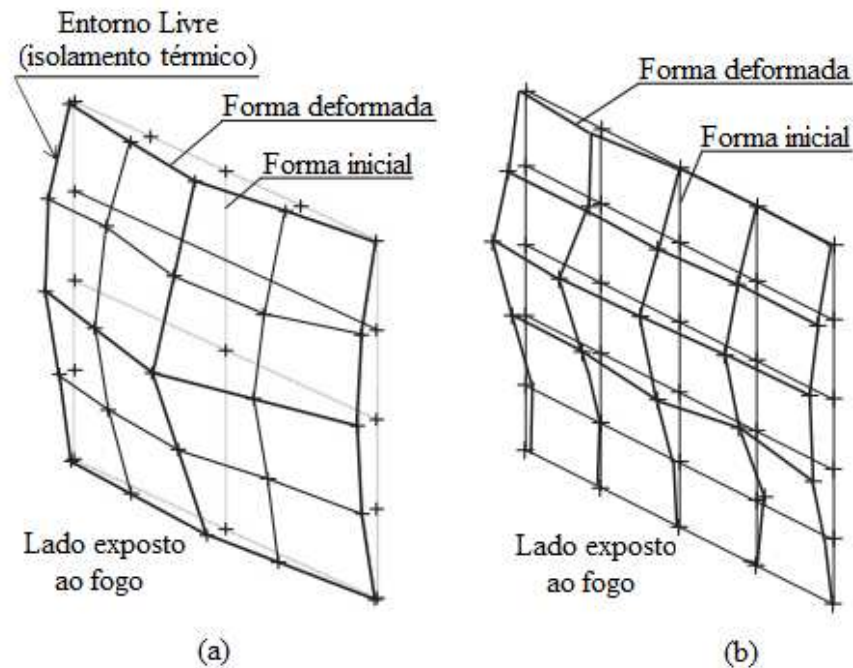


Figura 17 - Representação das deformações de uma alvenaria exposta ao fogo (a) sem carregamento e (b) com carregamento

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen e Mefteh (2012)

Para Nguyen e Mefteh (2012), a ocorrência simultânea do spalling e aplicação das cargas verticais, aumenta o momento fletor, devida a excentricidade da carga aplicada induzida pelo spalling (Figura 18).

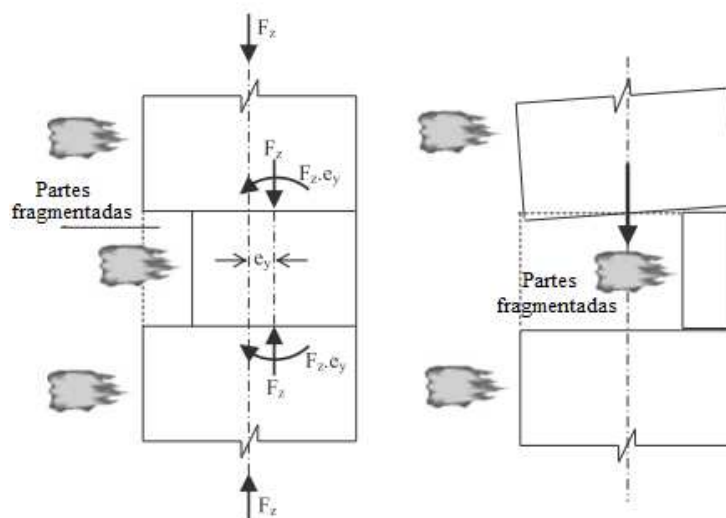


Figura 18 - Lascamento induzindo o efeito de 2ª ordem

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen e Meftah (2012)

Em alvenarias, onde pode ocorrer o lascamento explosivo, a ruptura local é um fator importante que governa o comportamento ao fogo da alvenaria e, portanto, não deve ser desprezada em simulações numéricas (NGUYEN; MEFTAH, 2014).

De acordo com Ingham (2009), uma parede de alvenaria estrutural sofre uma redução progressiva em sua resistência à compressão, principalmente, devido a deterioração da argamassa de assentamento.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com base nos objetivos propostos, foi realizado o programa experimental descrito neste capítulo, com variáveis de análise, materiais e métodos. Este capítulo apresenta as fases que constituíram o desenvolvimento do estudo.

3.1 ETAPAS DO EXPERIMENTO

Inicialmente, propôs-se a divisão do programa experimental em fases de estudo, conforme apresenta a Figura 19.

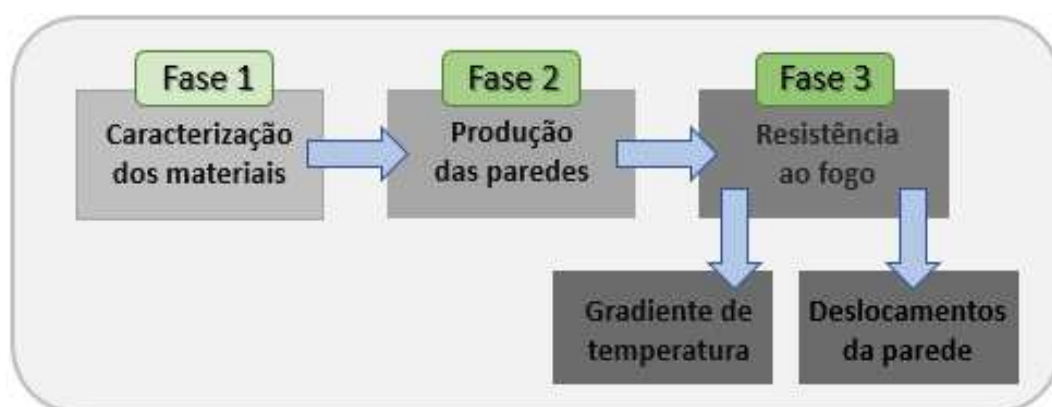


Figura 19 - Fases de estudo do experimento

Fonte: Elaborada pelo autor

Na primeira fase, realizada em laboratório, deu-se início a caracterização dos blocos cerâmicos estruturais, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento. Foi nesta fase que se iniciou a caracterização dos materiais no estado fresco e preparação dos corpos de prova para caracterização no estado endurecido.

A segunda fase consistiu na montagem das amostras para os ensaios de resistência ao fogo, respeitando os intervalos de cura estabelecidos pelo manual de revestimentos de argamassa (ABCP, 2002), para execução do chapisco e revestimento das paredes e instalação dos termopares para aquisição dos dados de temperatura, durante o ensaio de resistência ao fogo.

A terceira fase foi conduzida, na qual foram realizados os ensaios de resistência ao fogo das seis amostras, juntamente com a leitura das temperaturas dos termopares distribuídos ao longo da espessura das paredes e medição dos deslocamentos da amostra durante o ensaio, com a utilização de estação total. Após a execução dos ensaios de resistência ao fogo, os dados dos experimentos foram coletados para posterior análise e conclusões.

3.1.1 Produção das amostras

A nomenclatura das paredes ensaiadas são apresentadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Nomenclatura das amostras

Amostras	Lado interno (face exposta ao fogo)		Lado externo (face não exposta ao fogo)		Carregamento (tf/m)
	Chapisco	Revestimento (mm)	Chapisco	Revestimento (mm)	
Parede 1 (P1)	Não	Não	Sim	25	Não
Parede 2 (P2)	Não	Não	Sim	25	10
Parede 3 (P3)	Sim	15	Sim	25	Não
Parede 4 (P4)	Sim	15	Sim	25	10
Parede 5 (P5)	Sim	25	Sim	25	Não
Parede 6 (P6)	Sim	25	Sim	25	10

Fonte: Elaborada pelo autor

A produção das amostras se iniciou com o assentamento dos blocos cerâmicos com juntas parciais vertical e horizontal. As juntas são parciais quando o preenchimento argamassado não é em toda a superfície. O assentamento foi feito em pórticos metálicos de 3,15 x 3,00 m, para facilitar a movimentação da mesma até o forno vertical, para posterior realização dos ensaios de resistência ao fogo, sendo que as amostras foram movimentadas após 55 dias de cura e os ensaios foram realizados no 56º dia de cura. Após 24h da execução da amostra estar concluída, fez-se o chapisco no traço 1:3 (cimento: areia grossa, em volume), e transcorridas 72h, aplicou-se o revestimento com argamassa estabilizada nas amostras. A carga de 10 tf/m foi definida pela limitação do equipamento. Na Figura 20 está representado todo o processo de confecção das seis amostras.



Figura 20 - Processo de confecção das amostras

Fonte: O autor

3.1.2 Níveis de controle

Foram dois os níveis de controle: o carregamento em que a amostra foi submetida e a variação da espessura do revestimento na face exposta ao fogo, ou seja, no revestimento interno da edificação, conforme Tabela 5.

3.1.3 Parâmetros de controle fixo

Os parâmetros de controle fixos adotados na pesquisa foram:

- tipo de cimento: CP IIF - 40;

- tipo de agregado miúdo: areia de origem quartzosa de leito de rio;
- tipo de bloco cerâmico : nas dimensões de 14x19x29 cm, utilizado em obras de alvenaria estrutural e vedação, para paredes externas, internas, divisórias e paredes corta-fogo;
- traço da argamassa estabilizada para assentamento, de resistência à compressão de 4MPa: 1:0,43:6 (cimento:cal:areia, em volume), utilizando 0,25% de aditivo aerador, 0,85% de aditivo estabilizador de pega e 0,3% de aditivo retentor, sobre a massa do cimento;
- traço da argamassa estabilizada para revestimento com tempo de estabilização de 36 horas: 1:5 (cimento: areia, em volume), utilizando 0,35% de aditivo aerador e 1% de aditivo estabilizador de pega, sobre a massa do cimento;
- curva de aquecimento padrão ISO 834-1 (ISO, 1999).

3.1.4 Parâmetros não controláveis

Na confecção das amostras, a umidade e temperatura foram os parâmetros não controláveis, já que o laboratório não dispõe de local com umidade e temperatura controlada para realização das amostras e cura das mesmas.

3.2 MÉTODOS

São apresentados nos itens a seguir os métodos adotados para execução do programa proposto.

3.2.1 Resistência ao fogo

O ensaio de resistência ao fogo, foi realizado no Laboratório de Resistência ao Fogo, nas dependências do itt Performance - Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil. As amostras possuem 3,15 x 2,80 m (largura e altura, respectivamente), estando essas assentadas em pórticos metálicos e sob um esforço de compressão axial de 10 tf/m (P2, P4 e P6) ou sem carregamento (P1, P3 e P5). A área efetiva exposta a ação do fogo foi de 6,25 m² e a aplicação do carregamento se deu no início do ensaio até o término, mantendo o carregamento constante. Na Figura 21 está representado o acoplamento do pórtico metálico com as amostras no forno vertical.

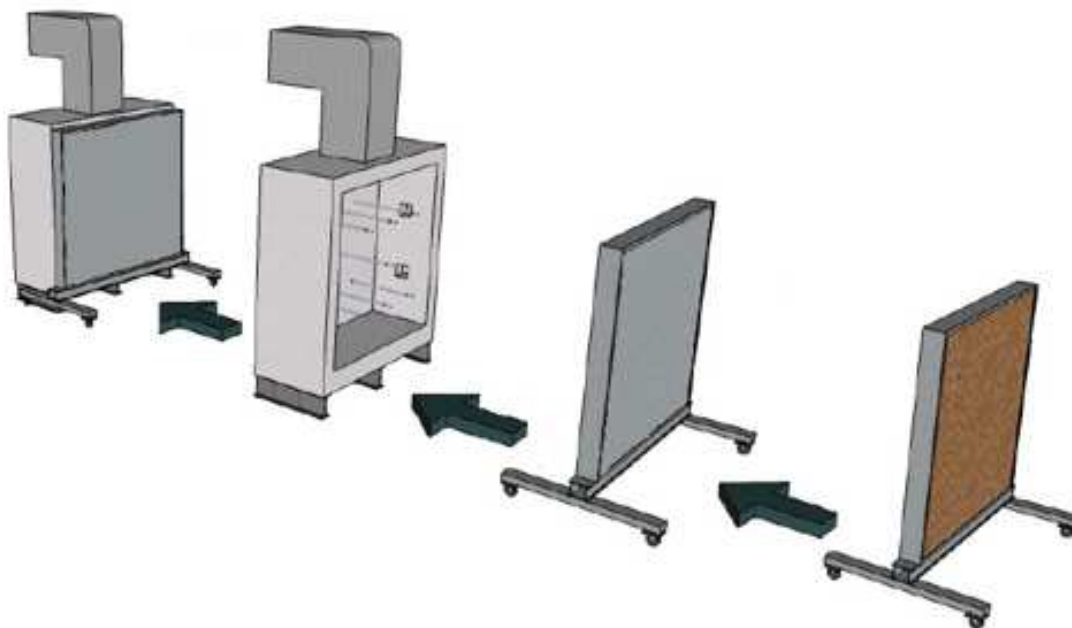


Figura 21 - Processo de acoplamento do pórtico ao forno

Fonte: Elaborada pelo autor

A curva de aquecimento padrão seguiu os preceitos da ISO 834-1 (ISO, 1999). Foram verificados os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), quanto à estabilidade estrutural, estanqueidade a gases e fumaça e isolamento térmico. O forno vertical (Figura 22) possui quatro queimadores, dois de cada lado, não permitindo que as chamas incidam diretamente na amostra, somente o calor gerado. Os queimadores utilizam GLP e possuem capacidade térmica de 1200°C, de marca Grefortec e modelo GFT 03276 FG.



Figura 22 - Forno vertical

Fonte: Acervo itt Performance

3.2.2 Encurvamento

O deslocamento horizontal para fora do plano, foi medido através de uma malha de pontos, com espaçamentos de, aproximadamente, 50 cm entre cada ponto, totalizando 49 pontos e abrangendo uma área de, aproximadamente, 9,5 m². Conforme Figura 23, cada ponto foi mensurado para determinar os possíveis deslocamentos fora do plano da parede quando expostas a altas temperaturas. As medidas foram realizadas a cada 10 minutos, com a utilização de estação total da marca Leica, mais detalhes são apresentados no item 3.4.

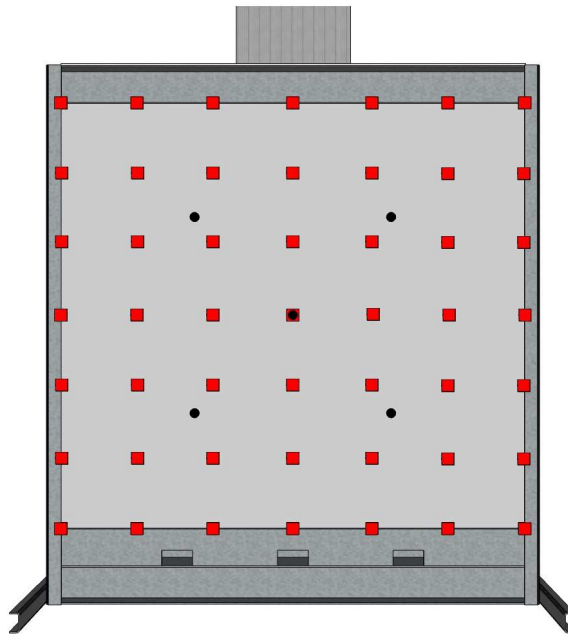


Figura 23 - Locais de leitura dos deslocamentos (vermelho) e disposição dos termopares na face não exposta (preto)

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.3 Gradiente térmico

A análise do gradiente térmico foi realizada nas seis amostras (P1 a P6). Os termopares ficam na parte interna do forno em cinco pontos, conforme Figura 24, e na face não exposta foram dispostos cinco termopares, conforme Figura 25.

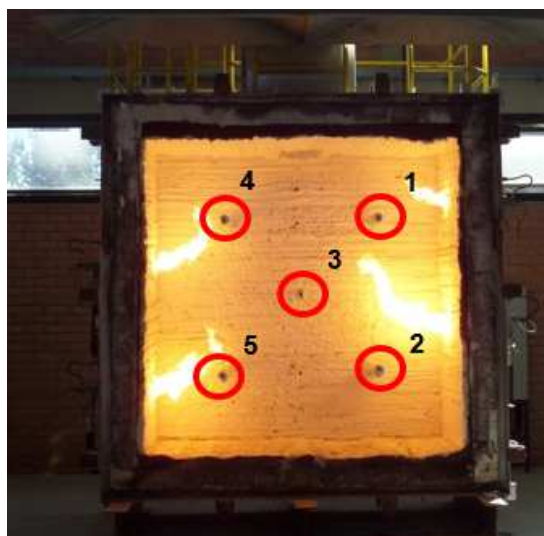


Figura 24 - Termopares na parte interna do forno

Fonte: Acervo itt Performance

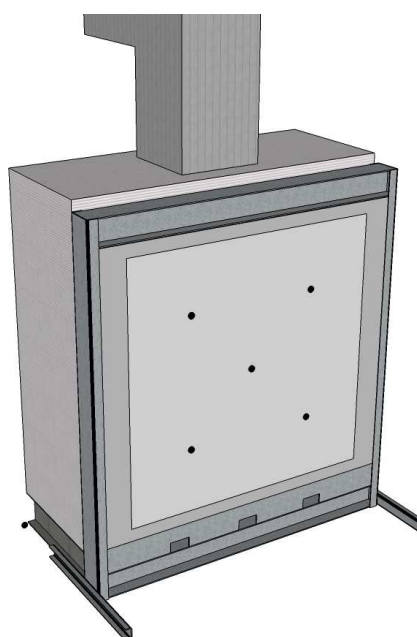


Figura 25 - Disposição dos termopares na face não exposta

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram colocados, além dos termopares internos do forno e dos externos à amostra, ao longo da espessura na parte central do elemento, 10 termopares, conforme Figura 26, totalizando 20 termopares. Com os dados obtidos, foi possível traçar um perfil de temperatura, verificando a influência da espessura do revestimento e inércia térmica quando a alvenaria foi exposta a elevadas temperaturas.

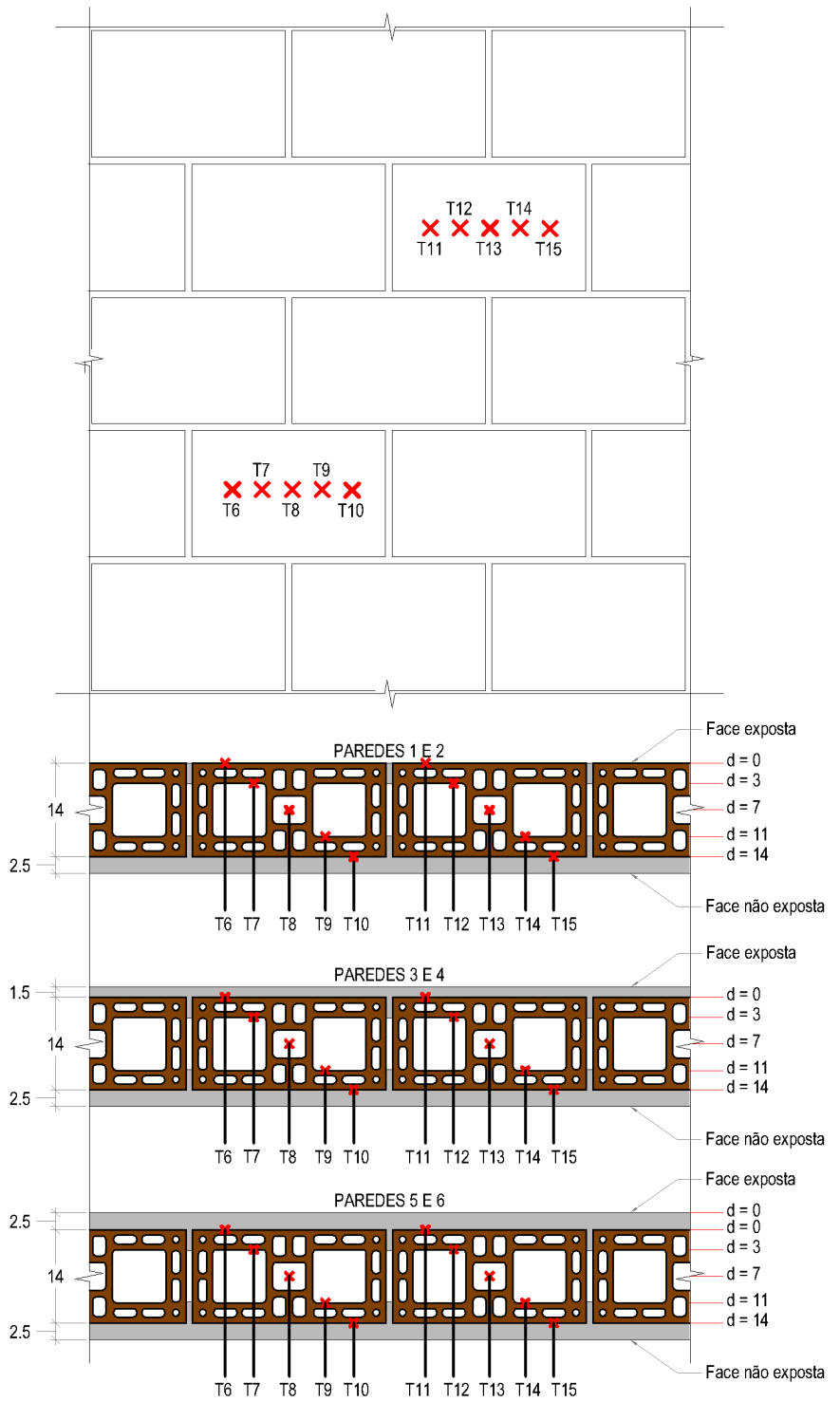


Figura 26 - Disposição dos termopares ao longo da espessura da parede

Fonte: Elaborado pelo autor

A instalação dos termopares na amostra para aquisição das temperaturas, foi realizada no 55º dia de cura (Figura 27). Para esta tarefa, foi utilizada broca de aço com ponta de vídea de Ø 2,5 mm. Os termopares foram dispostos ao longo da espessura da parede, na parte central da amostra e no centro de dois blocos, conforme as seguintes distâncias:

- Primeira posição ($d= 0$ cm), face do bloco exposta ao fogo;
- Segunda posição ($d= 3$ cm), distante 3 cm da face exposta;
- Terceira posição ($d= 7$ cm), eixo do bloco;
- Quarta posição ($d= 11$ cm), distante 4 cm do eixo do bloco;
- Quinta posição ($d= 14$ cm), distante 7cm do eixo do bloco, face externa do bloco.

As posições respeitaram as profundidades e espaçamentos descritos na Figura 26.

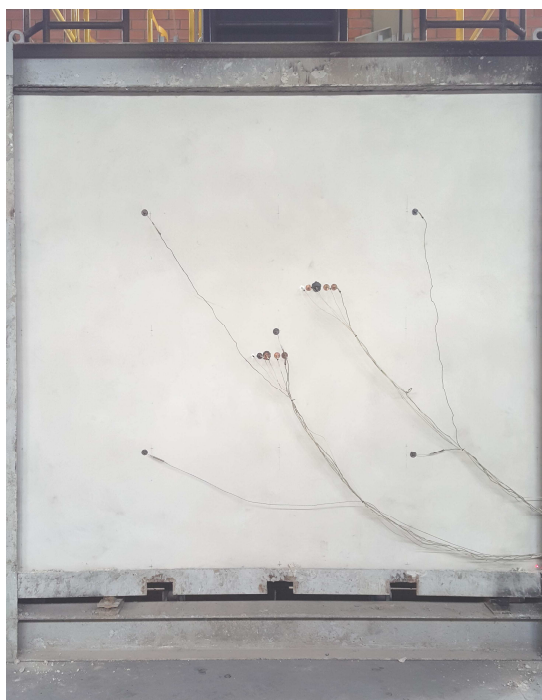


Figura 27 - Instalação dos termopares na amostra

Fonte: O autor

3.3 MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa foram definidos e os mesmos foram listados a seguir:

- Cimento Portland: CP II F - 40;
- Agregado miúdo: areia quartzosa de leito de rio;
- Bloco cerâmico estrutural: nas dimensões de 14x19x29 cm;

- Argamassa estabilizada de assentamento: ARGAMASSA A.E. 4MPa
- Argamassa estabilizada de revestimento: ARG. EXPRESS R/A 36H

3.3.1 Caracterização dos blocos cerâmicos

A Tabela 6 descreve os ensaios realizados nos blocos cerâmicos.

Tabela 6 - Caracterização dos blocos cerâmicos

Ensaio de Caracterização		Metodologia
Caracterização geométrica	Dimensões	NBR 15270 (ABNT, 2005)
	Planeza das faces	
	Desvio em relação ao esquadro	
	Área líquida	
	Área bruta	
Índice de absorção	Inicial	Face de Assentamento
		Face de Revestimento
		Total
Resistência mecânica à compressão		

Fonte: Elaborada pelo autor

Os ensaios para determinação das características dos blocos cerâmicos estruturais foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 15270 (ABNT, 2005).

3.3.2 Caracterização da argamassa no estado fresco

A Tabela 7 descreve os ensaios realizados a cada lote recebido nas argamassas de assentamento e de revestimento em seu estado fresco. Os ensaios foram realizados nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da UNISINOS, cujos procedimentos são descritos em seguida:

Tabela 7 - Argamassa estado fresco - Ensaio e respectivas normas

Ensaio de Caracterização	Metodologia
Índice de consistência por espalhamento	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Teor de ar incorporado	NBR NM 47 (ABNT, 2002)
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.2.1 Índice de consistência por espalhamento

Os ensaios para determinação do índice de consistência foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 13276 (ABNT, 2016), com três repetições.

3.3.2.2 Teor de ar incorporado

Os ensaios para determinação do teor de ar incorporado foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 47 (NM, 2002) com adaptação, com o equipamento SOLOTEST (tipo B - conforme a Norma Mercosur), para três repetições.

3.3.2.3 Densidade de massa

Os ensaios para determinação da densidade de massa foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 13278 (ABNT, 2005). Esta determinação se resume à pesagem da amostra de argamassa acondicionada em um molde cilíndrico com volume de 429 cm³, sendo o resultado expresso em kg/m³, com três repetições.

3.3.3 Caracterização da argamassa no estado endurecido

A Tabela 8 descreve os ensaios que foram realizados nas argamassas de assentamento e de revestimento em seu estado endurecido. Todos os corpos de prova foram desmoldados quarenta e oito horas após a moldagem e mantidos até a execução dos ensaios em ambiente de laboratório com umidade ($70 \pm 10\%$) e temperatura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Os ensaios foram realizados na idade de 28 dias nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS, cujos procedimentos são descritos em seguida:

Tabela 8 - Argamassa estado endurecido - Ensaio e respectivas normas

Ensaio de Caracterização	Metodologia
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005)
Absorção capilar e Coeficiente de capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005)
Absorção total e Índice de vazios	NBR 9778 (ABNT, 2009)

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3.1 Resistência à Compressão

Os ensaios para determinação da resistência à compressão foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 13279 (ABNT, 2005), com seis corpos de prova de 40x40x40 mm, em uma máquina universal de ensaio da marca EMIC,

modelo DL200, Classe I de calibração e com uma velocidade de carregamento de 500 ± 50 N/s.

3.3.3.2 Resistência à Tração na Flexão

Os ensaios para determinação da resistência à tração na flexão foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Para este ensaio foram utilizados três corpos de prova de 40x40x160 mm, em uma máquina universal de ensaio da marca EMIC, modelo DL200, Classe I de calibração e com uma velocidade de carregamento de 50 ± 10 N/s.

3.3.3.3 Densidade de Massa

Os ensaios para determinação da densidade de massa foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 13280 (ABNT, 2005). Nessa análise, foram utilizados três corpos de prova de 40x40x160 mm, sendo que a densidade de massa foi obtida através da medida da altura, largura e do comprimento de cada corpo de prova, em centímetros, e a suas respectivas massas em gramas.

3.3.3.4 Absorção Capilar e Coeficiente de Capilaridade

Os ensaios para determinação da absorção capilar e coeficiente de capilaridade foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 15259 (ABNT, 2005), com três corpos de prova de 40x40x160 mm. O coeficiente de capilaridade é definido como o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas, a raiz quadrada dos tempos de t_{10} e t_{90} minutos e o eixo das ordenadas, as absorções de água correspondentes a esses tempos m_{10} e m_{90} .

3.3.3.5 Absorção Total e Índice de Vazios

Os ensaios para determinação da absorção total e índice de vazios foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 9778 (ABNT, 2005), com três corpos de prova de 40x40x160 mm.

3.3.4 Cimento

A caracterização do cimento utilizado para o chapisco e para a argamassa foi realizada através de suas propriedades químicas e físicas, disponibilizada pelo fabricante. As características químicas do cimento estão apresentadas na Tabela 9. Na Tabela 10 está apresentada a caracterização física do cimento empregado na pesquisa.

Tabela 9 - Características químicas do cimento

Parâmetro	Metodologia	Lote	Limites de Norma
MgO (%)	NBR 14656 (ABNT, 2001)	6,0	≤ 6,5
SO ₃ (%)	NBR 14656 (ABNT, 2001)	3,2	≤ 4,0
Perda ao fogo (%)	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	4,8	≤ 6,5
Resíduo insolúvel (%)	NBR NM 15 (ABNT, 2012)	1,0	≤ 2,5

Fonte: Fabricante

Tabela 10 - Características físicas do cimento

Parâmetro	Metodologia	Lote	Limites de norma
Finura # 200 (%)	NBR 11579 (ABNT, 2012)	0,0	≤ 10,0
Finura # 325 (%)	NBR 12826 (ABNT, 2014)	0,36	-
Blaine (g/cm ²)	NBR 16372 (ABNT, 2015)	4651	≥ 2800
Consistência normal (%)	NBR NM 43 (ABNT, 2003)	30,2	-
Tempo de início de pega (min)	NBR NM 65 (ABNT, 2003)	206	≥ 60
Tempo de fim de pega (min)	NBR NM 65 (ABNT, 2003)	268	≤ 600
Expansão a quente (mm)	NBR 11582 (ABNT, 2016)	0,6	≤ 5,0
Resistência à compressão a 1 dia (MPa)	NBR 7215 (ABNT, 1997)	26,0	-
Resistência à compressão aos 3 dias (MPa)	NBR 7215 (ABNT, 1997)	35,5	≥ 15,0
Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)	NBR 7215 (ABNT, 1997)	40,5	≥ 25,0
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	NBR 7215 (ABNT, 1997)	47,3	≥ 40,0

Fonte: Fabricante

3.3.5 Agregado miúdo

O agregado miúdo natural é de origem quartzosa, extraído do leito do Rio Jacuí, na região da grande Porto Alegre-RS. Os ensaios de caracterização do agregado miúdo foram realizados de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Metodologia
Distribuição granulométrica da areia	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Dimensão máxima característica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária no estado solto	NBR NM 45 (ABNT, 2006)

Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 12 apresenta a caracterização do agregado miúdo utilizado para a realização do chapisco.

Tabela 12 - Caracterização do agregado miúdo utilizado no chapisco

Peneira (mm)	Retida (%)	Acumulada (%)
4,8	4	4
2,4	6	10
1,2	11	21
0,6	13	34
0,3	36	70
0,15	28	98
<0,15	2	100
Total	100	-
Dimensão máxima característica (mm)		4,8
Módulo de finura		2,37
Massa específica (g/cm ³)		2,61
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)		1,48

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 13 estão apresentadas as características do agregado miúdo utilizados na produção da argamassa de assentamento estabilizada.

Tabela 13 - Caracterização do agregado miúdo utilizado na argamassa de assentamento

Peneira (mm)	Retida (%)	Acumulada (%)
0,6	13	13
0,3	44	57
0,15	32	89
<0,15	11	100
Total	100	-
Dimensão máxima característica (mm)		1,2
Módulo de finura		1,58
Massa específica (g/cm ³)		2,63
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)		1,55

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Tabela 14 estão apresentadas as características do agregado miúdo utilizados na produção da argamassa de revestimento.

Tabela 14 - Caracterização do agregado miúdo utilizado no revestimento

Peneira (mm)	Retida (%)	Acumulada (%)
0,6	7	7
0,3	30	37
0,15	54	91
<0,15	9	100
Total	100	-
Dimensão máxima característica (mm)		1,2
Módulo de finura		1,35
Massa específica (g/cm ³)		2,63
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)		1,55

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.6 Argamassa Industrializada

A argamassa que foi utilizada é do tipo industrializada estabilizada. O traço para argamassa de assentamento foi de 1:0,43:6 (cimento:cal:areia, em volume) constituído por cimento, cal, areia, aditivos e água. O traço para argamassa de revestimento foi de 1:5 (cimento:areia, em volume) constituído por cimento, areia, aditivo e água. Essas argamassas do tipo estabilizada possuem aditivos aeradores e estabilizadores de pega, para ambas as argamassas, e aditivo retentor somente para a de assentamento, permitindo obter uma maior trabalhabilidade e trazendo maior benefício quanto ao seu tempo de utilização.

A mistura para a argamassa foi realizada em usina de dosagem e a distribuição através de caminhões betoneiras, pois as quantidades vieram em três etapas de, aproximadamente, 1 m³, para assentamento, e 1,5 m³, para revestimento.

3.3.6.1 Argamassa de assentamento no estado fresco

Na Tabela 15 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco.

Tabela 15 - Caracterização da argamassa de assentamento no estado fresco

Ensaio de Caracterização	Metodologia	Resultado
Índice de consistência por espalhamento (mm)	NBR 13276 (ABNT, 2016)	265
Teor de ar incorporado (%)	NBR NM 47 (ABNT, 2002)	3,5
Densidade de massa (kg/m ³)	NBR 13278 (ABNT, 2005)	1855,5

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.6.2 Argamassa de assentamento no estado endurecido

Na Tabela 16 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de assentamento no estado endurecido.

Tabela 16 - Caracterização da argamassa de assentamento no estado endurecido

Ensaio de Caracterização	Resultado
Resistência à compressão (MPa)	4,70
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,84
Densidade de massa (kg/m ³)	1709,0
Absorção capilar 10 min (g/cm ²)	0,23
Absorção capilar 90 min (g/cm ²)	0,59
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	5,8
Índice de vazios (%)	28,76
Absorção total (%)	16,80

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.6.3 Argamassa de revestimento no estado fresco

Na Tabela 17 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco.

Tabela 17 - Caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco

Ensaio de Caracterização	Metodologia	Resultado
Índice de consistência por espalhamento (mm)	NBR 13276 (ABNT, 2016)	235
Teor de ar incorporado (%)	NBR NM 47 (ABNT, 2002)	3,8
Densidade de massa (kg/m ³)	NBR 13278 (ABNT, 2005)	1808,4

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.6.4 Argamassa de revestimento no estado endurecido

Os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido

Ensaio de Caracterização	Resultado
Resistência à compressão (MPa)	7,51
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,11
Densidade de massa (kg/m ³)	1729,5
Absorção capilar 10 min (g/cm ²)	0,16
Absorção capilar 90 min (g/cm ²)	0,36
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	3,2
Índice de vazios (%)	17,88
Absorção total (%)	10,34

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.7 Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos foram caracterizados de acordo com a NBR 15270-2 (ABNT, 2005) e seus resultados médios estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Caracterização dos blocos cerâmicos

Ensaio	Valores	
Comprimento (mm)	291	
Largura (mm)	139	
Altura (mm)	191	
Planeza das faces (mm)	0,5	
Desvio em relação ao esquadro (mm)	0,5	
Índice de Absorção	Inicial (face de assentamento) ((g/193,55cm ²)/min)	65
	Inicial (face de revestimento) ((g/193,55cm ²)/min)	26
	Total (%)	18
Resistência Mecânica	Compressão (MPa)	8,65

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.8 Água

Para a produção do chapisco, foi utilizada água proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de São Leopoldo; e para produção da argamassa de assentamento e de revestimento a água foi proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Campo Bom, ambas no Rio Grande do Sul.

3.4 INSTRUMENTAÇÃO

3.4.1 Termopares

Os termopares utilizados foram de dois tipos: os do tipo K, de Ø6 mm, para medição da temperatura na parte interna do forno e na face exposta ao fogo; e os termopares que foram dispostos ao longo da espessura, para medição do gradiente de temperatura e os colocados na face não exposta, do tipo K, de Ø1,5 mm (Figura 28). Os termopares dispostos na face externa foram acoplados em discos de cobre de Ø 30 mm, com 0,2 mm de espessura.



Figura 28 – Termopares Ø1,5 mm

Fonte: O autor

3.4.2 Câmera Termográfica

A câmera termográfica utilizada é da marca Flir (Figura 29), modelo A320, com resolução de 320 x 240 pixels, com sensibilidade ao comprimento de onda de 7,5 a 13 μm , temperatura de 0°C a 350°C, e resolução térmica de $\pm 2^\circ\text{C}$, utilizada para analisar a distribuição da temperatura no interior do forno, bem como facilitar o operador na hora de verificar a estanqueidade de gases e fumaça da amostra durante o ensaio.



Figura 29 - Câmera termográfica, marca FLIR

Fonte: O autor

3.4.3 Estação Total

O levantamento dos dados de deslocamento da amostra foram realizados utilizando uma estação total, marca Leica, modelo TS 15, de precisão angular de $\pm 3''$, e linear de $\pm(1 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm km}^{-1})$ e foi posicionada em um tripé metálico, a 6 m da face não exposta, como mostra na Figura 30.



Figura 30 - Leituras na amostra com estação total

Fonte: O autor

3.4.4 Software *CloudCompare*

O *CloudCompare* é um software de processamento de nuvem de pontos 3D. O *CloudCompare* foi originalmente projetado para realizar a comparação entre duas nuvens densas de pontos 3D, como as adquiridas com uso da estação total, ou entre uma nuvem de pontos e uma malha triangular (CLOUD COMPARE, 2015).

De acordo com Georgantas, Bredif e Pierrot-Desseilligny (2012), o *CloudCompare* é um software que oferece várias medições de distâncias entre duas nuvens de pontos, duas malhas ou entre uma nuvem e uma malha. No caso dessa pesquisa, foi medida a distância entre duas nuvens pontuais (referência 0 minutos e os demais tempos, comparativamente). Neste caso, o software calculou um modelo local para a nuvem de ponto referência, oferecendo uma precisão mais local e global sobre a distância calculada entre as duas nuvens de pontos, para assim poder mensurar os deslocamentos durante a realização do ensaio.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O capítulo 4 apresenta a análise e discussão de resultados obtidos a partir das avaliações realizadas.

4.1 ETAPA I

Os resultados apresentados nesta etapa se referem aos ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos e das argamassas de assentamento e revestimento.

Com base nos dados mencionados na Tabela 19 e correlacionando-os com as tolerâncias estabelecidas na NBR 15270-2 (ABNT, 2005), pode-se concluir que os blocos cerâmicos utilizados na confecção das amostras atendem as tolerâncias estipuladas pela respectiva norma. De acordo com NBR 13281 (ABNT, 2005), a Tabela 20 apresenta as classificações das argamassas através dos resultados obtidos.

Tabela 20 - Classificação das argamassas

Caracterização	Argamassa de assentamento		Argamassa de revestimento	
	Resultados	NBR 13281:2005	Resultados	NBR 13281:2005
Resistência à compressão	4,70 MPa	P4	7,51 MPa	P5
Densidade de massa	1709,0 kg/cm ³	M4	1729,5 kg/cm ³	M5
Resistência à tração na flexão	1,84 MPa	R3	3,11 MPa	R4
Coefficiente de capilaridade	5,8 g/dm ² .min ^{1/2}	C4	3,2 g/dm ² .min ^{1/2}	C3
Densidade de massa aparente	1855,5 kg/m ³	D5	1808,4 kg/m ³	D4

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos resultados, se conclui que as argamassas de assentamento e revestimento, utilizadas na confecção das amostras, são condizentes com as características fornecidas pelo fabricante.

4.2 ETAPA II

Nesta etapa, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de resistência ao fogo, perfil de temperatura e deslocamentos fora do plano.

Todos os ensaios de resistência ao fogo tiveram duração de 240 minutos, exceto a alvenaria com carregamento de 10 tf/m, sem revestimento na face interna, denominada P2,

que entrou em colapso aos 102,5 minutos de ensaio. As análises seguiram os critérios estabelecidos pela NBR 5628 (ABNT, 2001) quanto à estabilidade estrutural, estanqueidade e isolamento térmico.

4.2.1 Ensaio de resistência ao fogo da parede P1

A amostra P1, possui revestimento somente na face não exposta, de 25mm e não possui carregamento.

4.2.1.1 Estanqueidade

Nos primeiros cinco minutos, a amostra não apresentou ocorrência alguma, aos cinco minutos, a amostra apresentou uma fissura vertical no centro, com início na parte inferior e seguindo até parte superior (Figura 31).

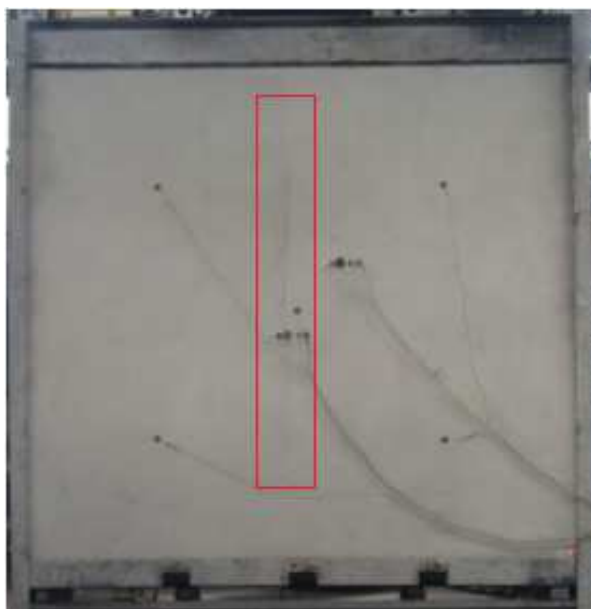


Figura 31 - Fissura vertical aos 5 min

Fonte: O autor

No oitavo minuto, surgiram os primeiros sinais de fumaça na fissura vertical (presença de marca escura na lateral da fissura) vistos na Figura 32a, através da câmera termográfica. Percebeu-se que a temperatura dos gases expelidos era de 70,2°C (Figura 32b) e, de acordo com a curva padrão da ISO 834-1 (ISO, 1999), a temperatura do forno estava na ordem de 650°C.

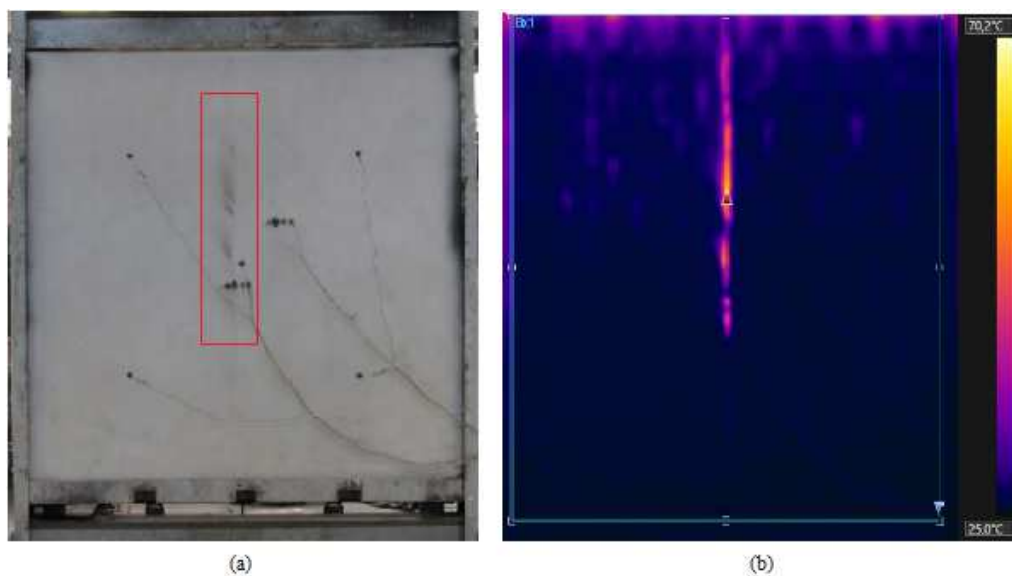


Figura 32 - (a) Sinal de fumaça expelida e (b) Presença de gases quentes na fissura

Fonte: O autor

O local com coloração em tom avermelhado indica pontos com temperaturas mais elevadas, quando comparadas a áreas mais escuras (azuladas). Nestes locais, percebeu-se um ponto de fuga de temperaturas quentes da face interna da amostra para a face externa. Após realizado o ensaio de estanqueidade, notou-se que a amostra permanecia estanque a passagem de gases quentes. A última ocorrência encontrada foi aos 11 minutos, sendo uma fissura do lado esquerdo inferior da amostra (Figura 33). Após essa ocorrência, a parede permaneceu íntegra até as 4h de ensaio.



Figura 33 - Fissura lateral esquerda inferior

Fonte: O autor

4.2.1.2 Isolamento térmico

Durante o ensaio de resistência ao fogo, foi medida a temperatura da parede em diferentes posições, separando a espessura da parede em faixas (Figura 26).

A evolução da temperatura medida pelos termopares na parede P1 está apresentada nas Figura 34 à Figura 37, correspondendo aos 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, respectivamente.

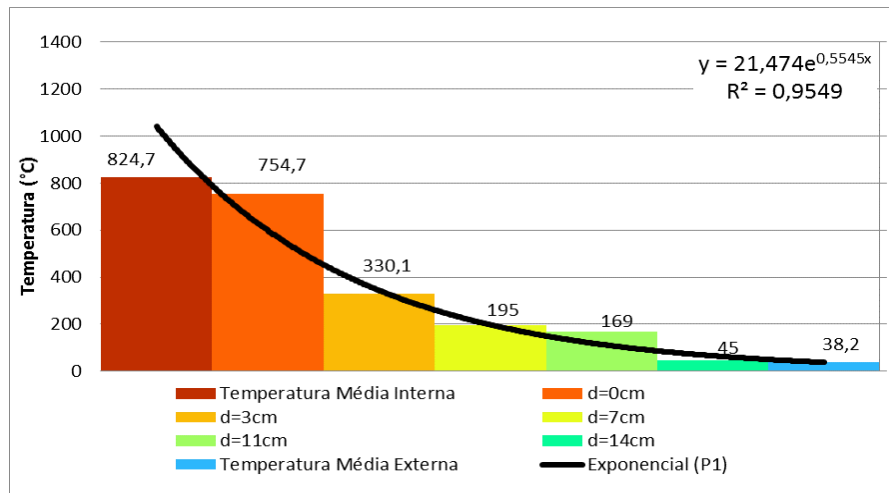


Figura 34 - Perfil de temperatura aos 30 min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

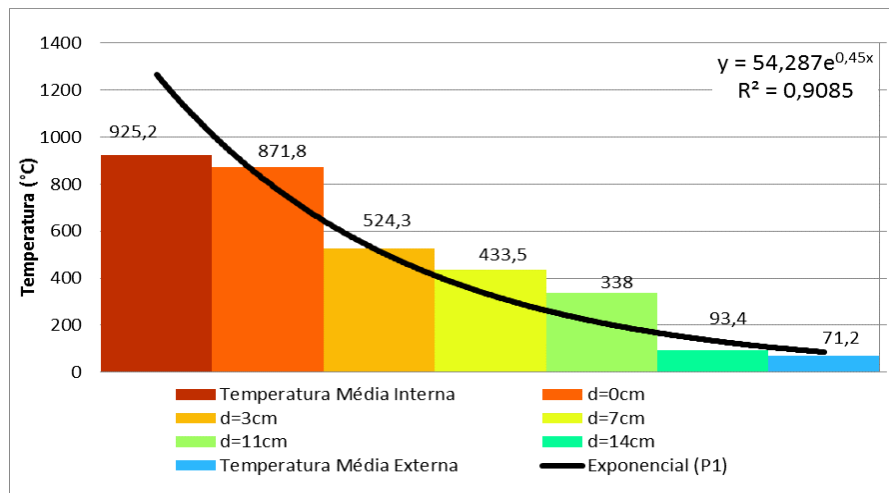


Figura 35 - Perfil de temperatura aos 60 min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

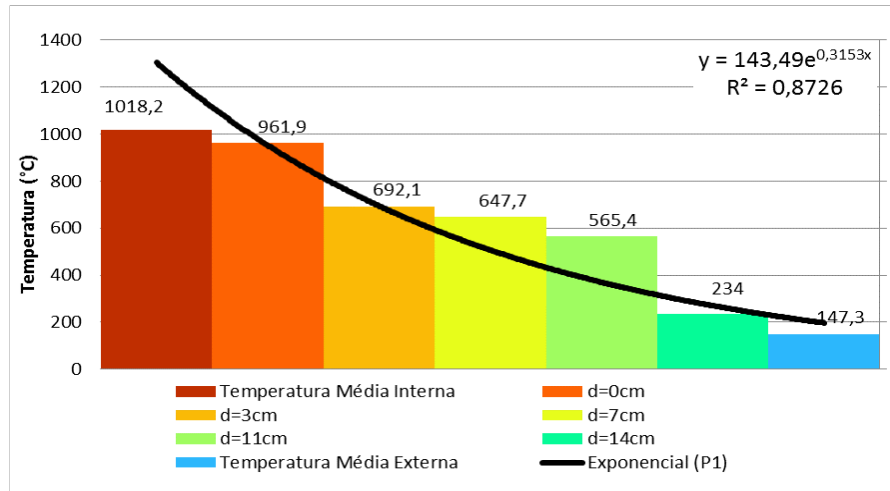


Figura 36 - Perfil de temperatura aos 120min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

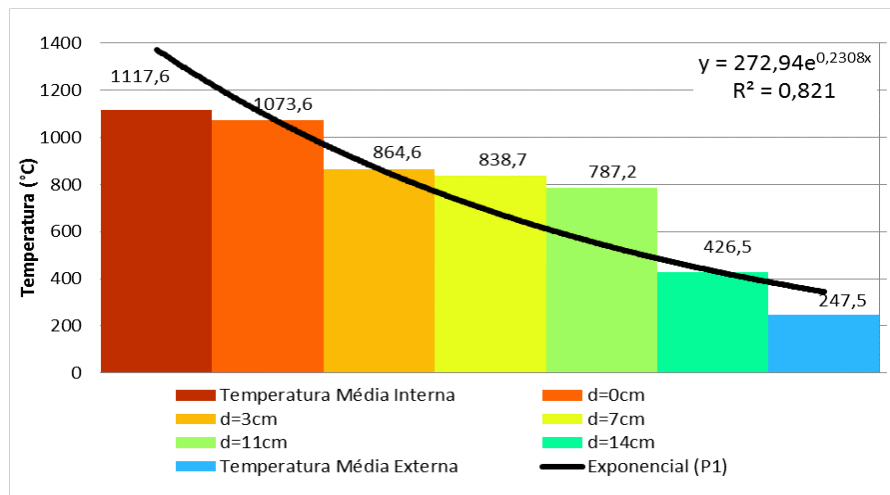


Figura 37 - Perfil de temperatura aos 240 min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

Nota-se, através da linha exponencial nos gráficos da amostra P1, a distribuição da temperatura ao longo da espessura da parede, que no decorrer do ensaio, o comportamento da linha passa a diminuir sua curvatura. Com base nos dados obtidos, foi possível representar graficamente a evolução da temperatura no bloco cerâmico revestido (Figura 38).

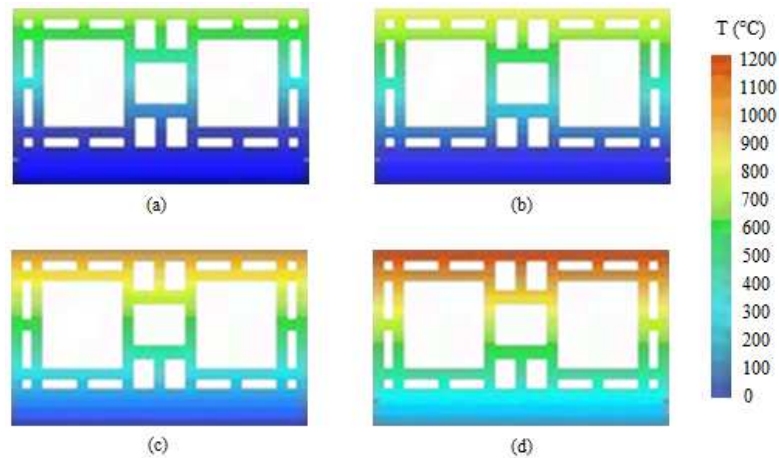


Figura 38 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min , (c) 120min e (d) 240min

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.1.3 Deslocamento lateral da parede

Com auxílio de uma estação total, foi possível mensurar os deslocamentos da parede durante o ensaio de resistência ao fogo. Com base nos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, que posteriormente foi lançada no software *CloudCompare*, avaliando os deslocamentos do plano da parede até os 240 minutos (Tabela 21).

Tabela 21 - Deslocamentos do plano - P1

Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	5	-15
30	41	-35
60	27	-40
90	23	-37
120	19	-38
150	19	-41
180	19	-39
210	19	-41
240	19	-40

Fonte: Elaborada pelo autor

Percebe-se, através da Tabela 21, que a parede teve um deslocamento máximo durante o período de ensaio, de 41 mm, na face exposta ao fogo, ocorrido aos 150 minutos. Após este período, houve estabilização em seu deslocamento, variando 2 mm até atingir o

término do ensaio aos 240 minutos. É possível notar que o deslocamento máximo encontrado ocorreu no centro do plano ensaiado, em tom azulado (Figura 39), com o valor de 35 mm.

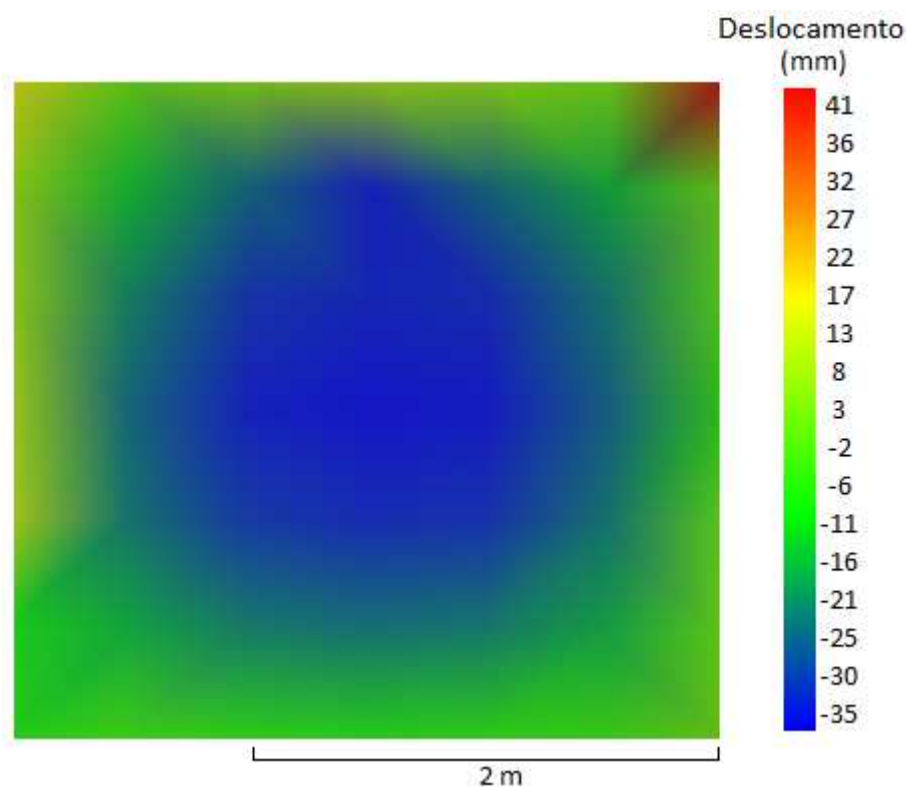


Figura 39 – Deslocamento lateral do plano 30 min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

Para Nguyen e Meftah (2014), no estudo utilizando blocos cerâmicos com resistência à compressão de 8 MPa e sem carregamento, foi encontrado um deslocamento de 40 mm em direção ao lado exposto, aos 30 minutos. Segundo os autores, a dupla curvatura observada na face externa se deve à expansão térmica diferencial, onde ocorre um esforço de tração do lado exposto, tendendo a se curvar em direção ao fogo (Figura 17a).

No instante de 150 minutos, as laterais da amostra apresentaram deslocamentos laterais (fora do plano de referência) (Figura 40), com valores entre -41 e 19 mm no decorrer de todo ensaio.

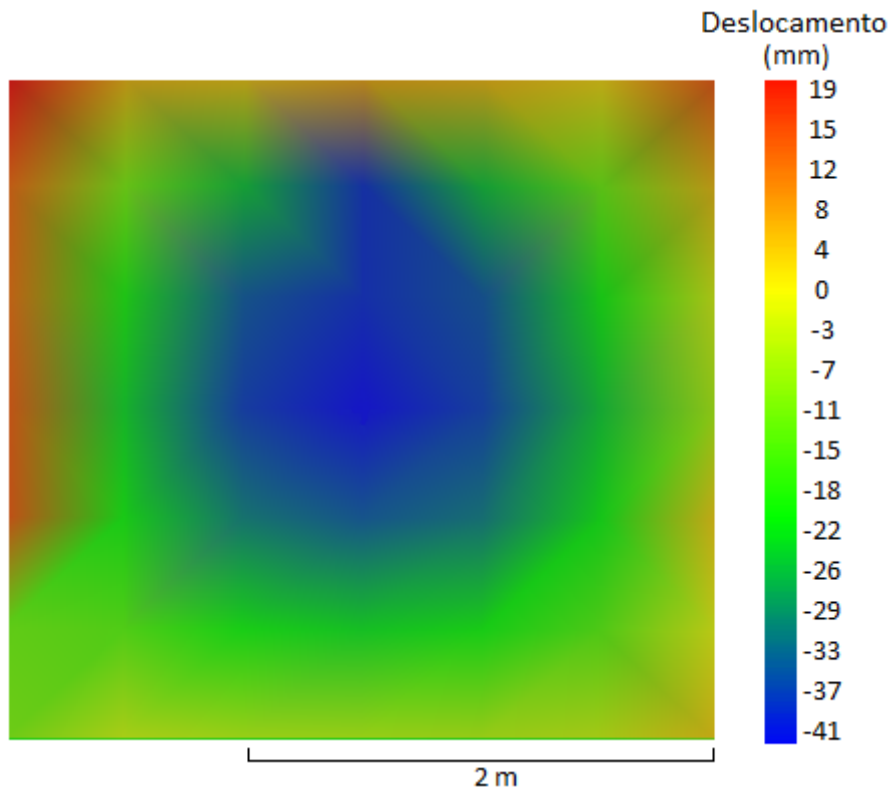


Figura 40 – Deslocamento lateral do plano 150 min - P1

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.1.4 Classificação do TRF

Durante os 240 minutos decorridos do ensaio, mesmo com deslocamento horizontal de 41 mm, a amostra apresentou comportamento estável, preservando sua estabilidade estrutural. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que houve a passagem de gases quentes e fumaça ao lado não exposto ao fogo, pela presença de fissuras, todavia, sem que houvesse a inflamação do chumaço de algodão, procedimento na qual a NBR 5628 (ABNT, 2001) determina. No isolamento térmico, percebeu-se que houve um acréscimo da temperatura externa, chegando a média aritmética de 247,5°C, com máxima temperatura pontual de 288,1°C, extrapolando os limites estabelecidos de média máxima, nesse caso de 165°C (140+25°C) e pontual de 205°C (180+25°C).

Com base nos dados obtidos, foi possível caracterizar que a amostra possui um TRF de 131 minutos. Conforme tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011), o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) até classe P₆ (edificação com altura de até 120 m) e ocupação como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₅ (edificação com altura de até 80 m). De acordo com Anexo A.1, da NBR 14432 (ABNT, 2001), o sistema

pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) e como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₅ (edificação com altura maior que 30 m).

4.2.2 Ensaio de resistência ao fogo da parede P2

A amostra P2, possui revestimento somente na face não exposta de 25mm, e carregamento de 10tf/m.

4.2.2.1 Estanqueidade

Nos primeiros cinco minutos, a amostra não apresentou ocorrência alguma, porém, transcorrido esse tempo inicial, a amostra apresentou uma fissura vertical no centro, no terço médio da altura (Figura 41).

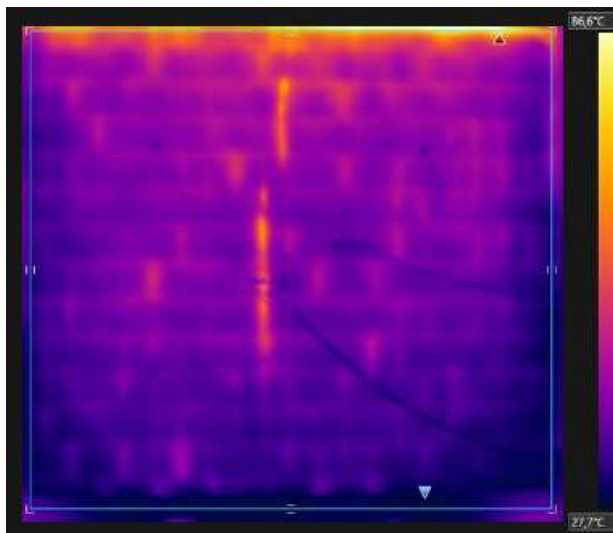


Figura 41 - Fissura vertical no terço médio da parede

Fonte: O autor

No sétimo minuto, surgiram os primeiros sinais de fumaça na fissura vertical e fissura oblíqua nos cantos inferiores, como apresentado na Figura 42. Percebeu-se que a temperatura dos gases expelidos era de 101,8°C, inferior aos 639°C no interior do forno, de acordo com a curva padrão da ISO 834-1 (ISO, 1999). A diferença da face exposta para a não exposta é de 11°C.

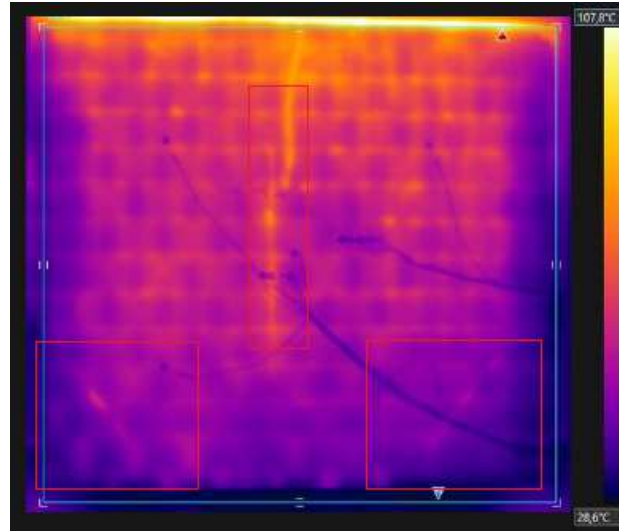


Figura 42 - Fissura oblua nas extremidades inferiores e vapor quente sendo expelido na fissura vertical

Fonte: O autor

Aos 52 minutos, surgiu uma fissura horizontal na amostra, como se percebe na Figura 43a e, transcorridos 50 minutos do surgimento da fissura, a parede perdeu sua estabilidade estrutural (Figura 43b).

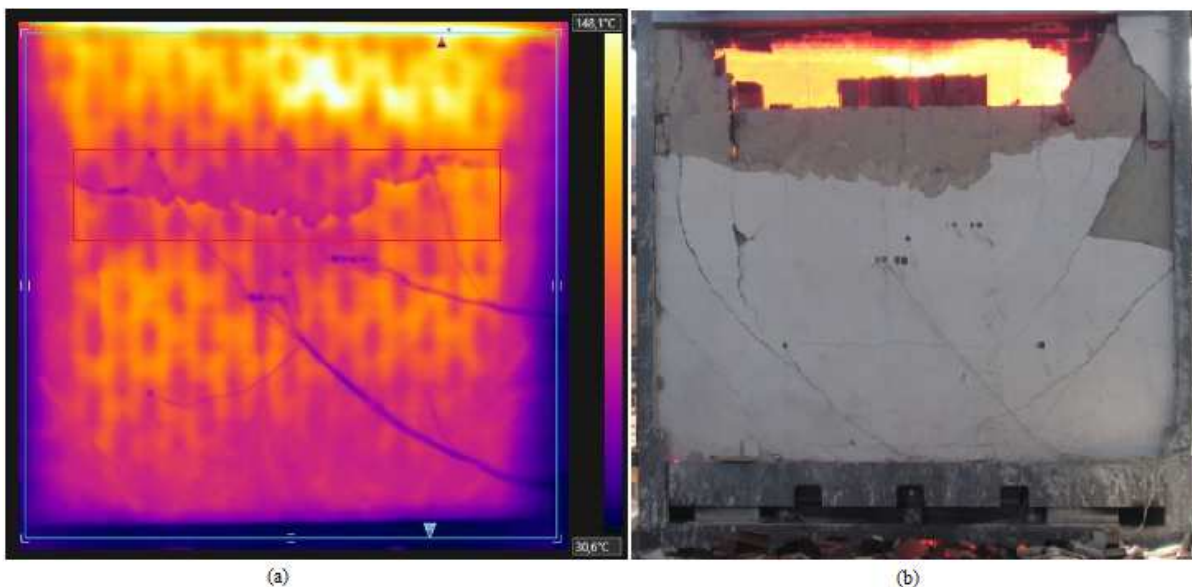


Figura 43 - (a) Fissura horizontal e (b) Estabilidade estrutural comprometida

Fonte: O autor

4.2.2.2 Isolamento termico

Durante o ensaio de resistncia ao fogo, foi medida a temperatura da parede em diferentes posioes, separando a espessura da parede em faixas, conforme apresentado na Figura 26. A evoluao da temperatura medida pelos termopares na P2 est apresentada nas Figura 44  Figura 46, com os valores aos 30, 60 e 102 minutos de ensaio, respectivamente.

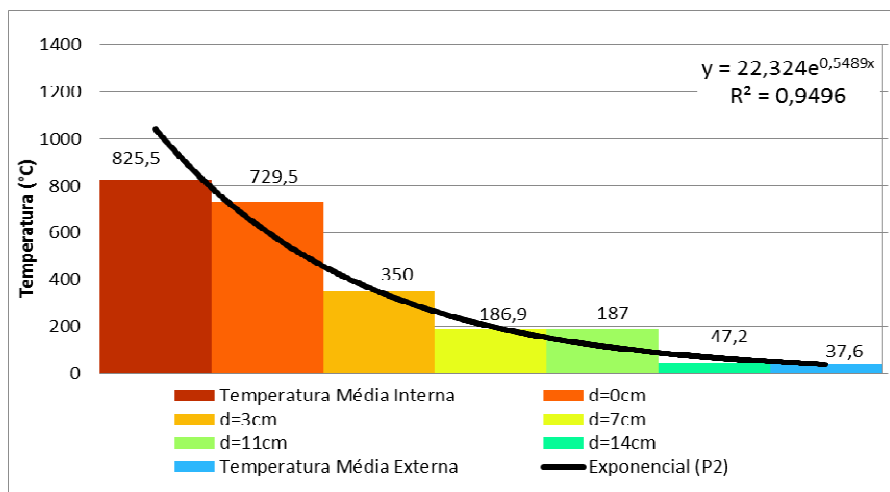


Figura 44 - Perfil de temperatura aos 30 min - P2

Fonte: Elaborada pelo autor

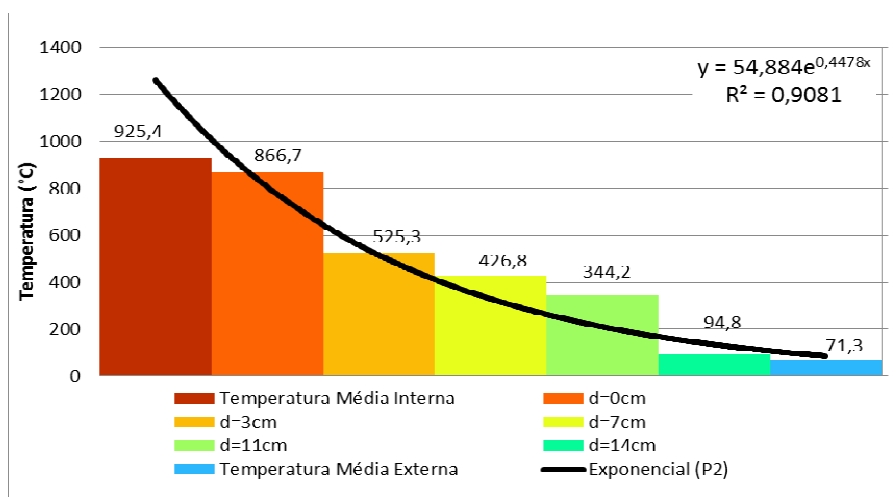


Figura 45 - Perfil de temperatura aos 60 min - P2

Fonte: Elaborada pelo autor

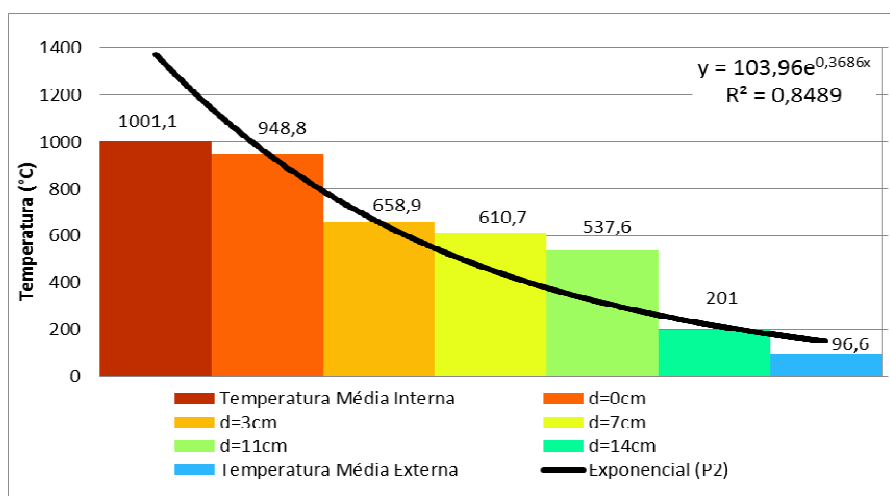


Figura 46 - Perfil de temperatura aos 102 min - P2

Fonte: Elaborada pelo autor

A tendência da linha exponencial, se assemelha a encontrada em P1, pelo fato das paredes possuírem a mesma tipologia, mesmo bloco cerâmico e revestimento do lado não exposto, diferindo apenas no carregamento, pois a P2 está sobre efeito de carga.

Não houve diferença expressiva nas temperaturas entre a P1 e P2, conforme visto na Tabela 22, em razão das duas amostras não possuírem chapisco na face exposta ao fogo. O carregamento não influenciou no gradiente térmico até os 100 min.

Tabela 22 - Comparação da temperatura 30, 60 e 90 min entre P1 e P2

Localização do termopar	30 min		60 min		90 min	
	P1 (°C)	P2 (°C)	P1 (°C)	P2 (°C)	P1 (°C)	P2 (°C)
Média interna do forno	824,7	825,5	925,2	925,4	983,7	981,2
d=0cm	754,7	729,5	871,8	866,7	926,1	927,9
d=3cm	330,1	350,0	524,3	525,3	623,0	625,3
d=7cm	195,0	186,9	433,4	426,8	567,1	571,0
d=11cm	169,0	187,0	338,0	344,2	463,3	495,4
d=14cm	45,0	47,2	93,4	94,8	148,5	165,7
Média externa do forno	38,2	37,2	71,2	71,3	99,5	83,8

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.2.3 Deslocamento lateral da parede

Foi possível mensurar o deslocamento da parede P2 somente até os 100 minutos de ensaio de resistência ao fogo, pois, aos 102 minutos, a parede entrou em colapso estrutural. Com base nos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, que posteriormente foi lançada no software *CloudCompare*, avaliando a deformação do plano da parede até os 100 minutos (Tabela 23).

Tabela 23 – Deslocamentos do plano - P2

Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	2	-10
30	6	-26
60	7	-28
90	6	-30
100	6	-32

Fonte: Elaborada pelo autor

Com base nos dados dos deslocamentos da P2, foi possível analisar que a parede sofreu maior deformação em direção ao forno de 32 mm, aos 100 minutos (Figura 47). Os deslocamentos ao longo do tempo foram inferiores quando comparada com a P1, portanto, é possível inferir que o carregamento de 10 tf/m fez com que a parede apresentasse uma menor curvatura, devido a maior vinculação com o pórtico de ensaio.

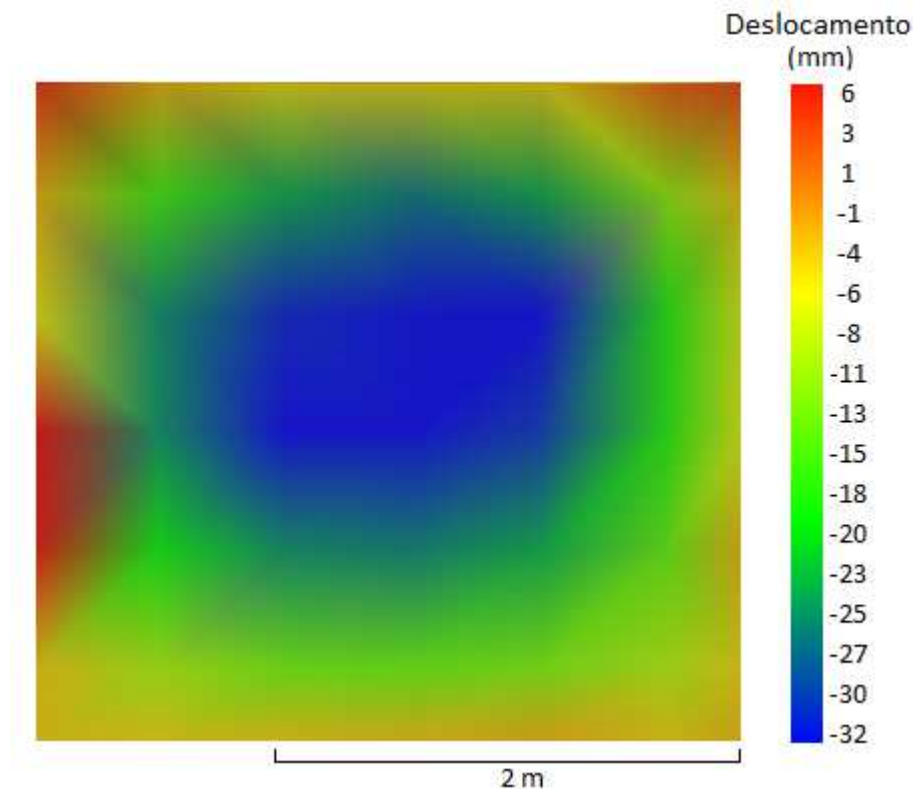


Figura 47 - Deslocamento do plano 100 min - P2

Fonte: Elaborada pelo autor

Nguyen e Meftah (2014) encontraram deslocamentos laterais do plano de 23 mm, aos 30 minutos de ensaio, 3 mm menos que neste trabalho, e 28 mm aos 60 minutos,

exatamente o mesmo valor (Figura 48). Sua amostra não possuía revestimento em nenhuma das faces e foi aplicada uma carga de 13,2 tf/m.

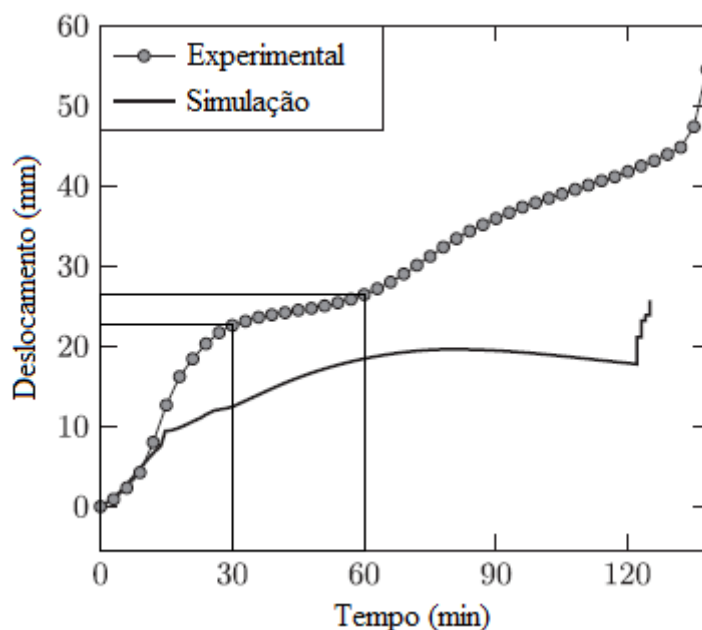


Figura 48 - Deslocamento da parede ao longo do tempo

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen e Meftah (2014)

4.2.2.4 Classificação do TRF

A amostra apresentou comportamento instável nos 102 minutos de ensaio, vindo a colapsar. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que houve a passagem de gases quentes e fumaça para o lado externo da parede pela fissura aos cinco minutos, todavia, sem que houvesse a inflamação do chumaço de algodão. No isolamento térmico medido até o momento do colapso, percebeu-se que a temperatura externa chegou na média aritmética de 96,6°C e máxima pontual de 105°C, não extrapolando os limites estabelecidos de média máxima até o rompimento, de 173,1°C (140+33,1°C) e pontual de 213,1°C (180+33,1°C).

Portanto, a P2 é caracterizada como TRF 81 minutos. Conforme a tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011) e Anexo A.1 da NBR 14432 (ABNT, 2001), o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial e como serviço de hospedagem até classe P₄ (edificação com altura até 30 m).

4.2.3 Ensaio de resistência ao fogo da parede P3

A amostra P3, possui revestimento na face exposta ao fogo de 15mm e na face não exposta de 25mm, não possuindo carregamento.

4.2.3.1 Estanqueidade

A amostra P3 apresentou uma fissura vertical na parte central da alvenaria, localizada no terço médio, conforme é destacada na Figura 49, aos 5 minutos de ensaio.

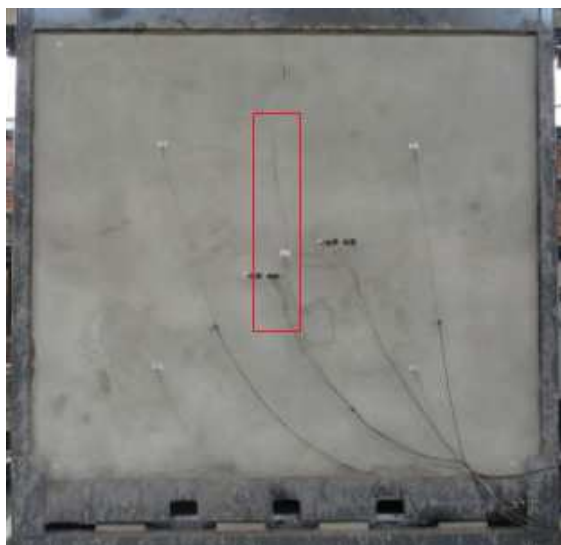


Figura 49 - Fissura vertical localizada no terço médio

Fonte: O autor

No sexto e nono minutos surgiu, respectivamente, uma fissura horizontal à esquerda da amostra e uma fissura oblíqua nas extremidades inferiores, como pode ser visto na Figura 50.



Figura 50 - Fissura horizontal e oblíqua

Fonte: O autor

Na verificação de estanqueidade a gases quentes, o resultado foi satisfatório, atendendo o critério estabelecido pela NBR 5628 (ABNT, 2001). A amostra não apresentou ocorrência alguma até o término do ensaio, mantendo sua estabilidade estrutural e estanqueidade pelos 240 minutos.

4.2.3.2 Isolamento térmico

Durante o ensaio de resistência ao fogo, foi mensurada a temperatura da parede em diferentes posições.

A evolução da temperatura medida pelos termopares na parede P3, está apresentada nas Figura 51 à Figura 54, com valores aos 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, respectivamente.

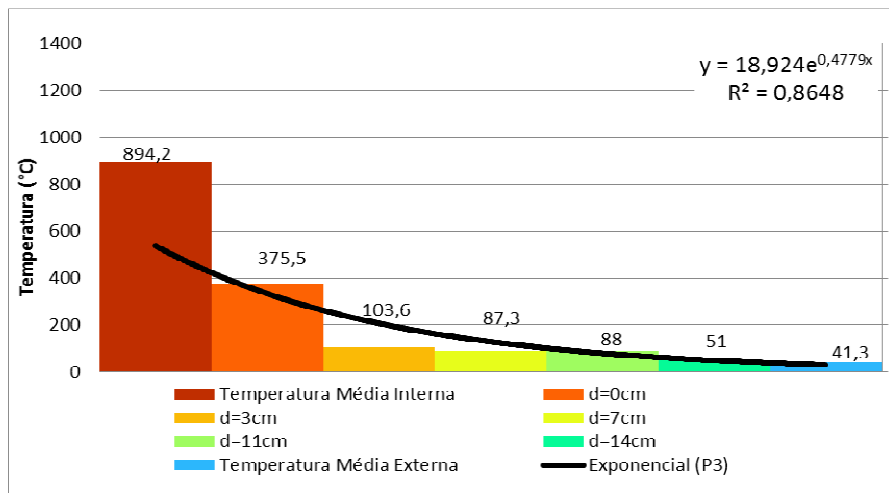


Figura 51 - Perfil de temperatura aos 30 min - P3

Fonte: Elaborada pelo autor

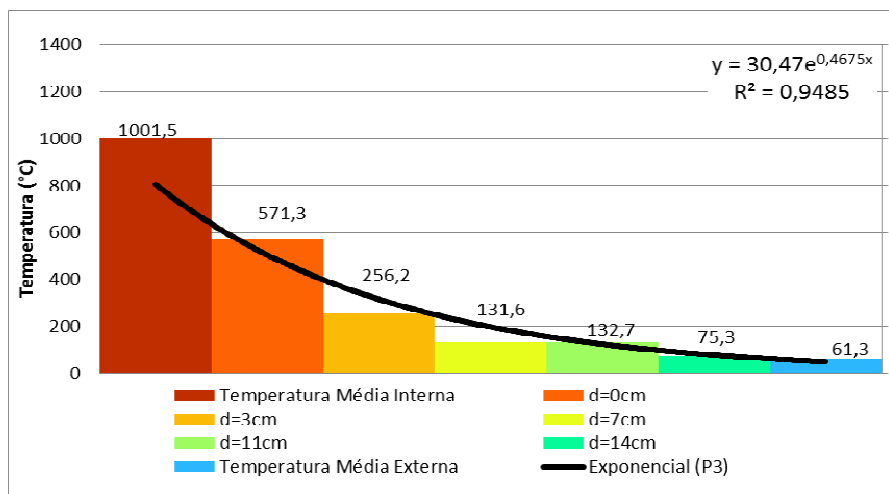


Figura 52 - Perfil de temperatura aos 60 min - P3

Fonte: Elaborada pelo autor

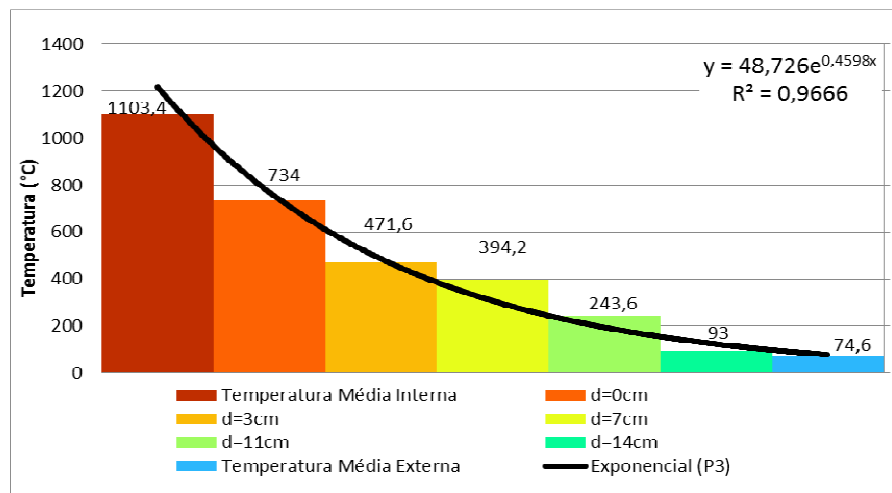


Figura 53 - Perfil de temperatura aos 120 min - P3

Fonte: Elaborada pelo autor

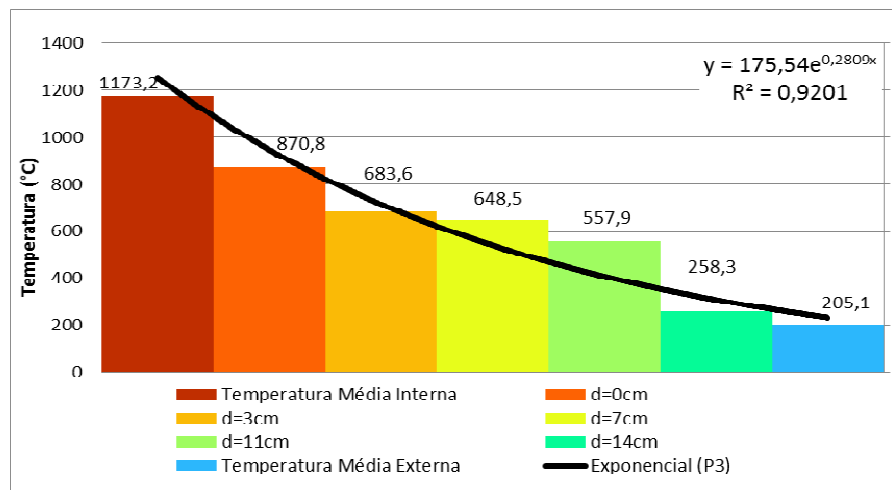


Figura 54 - Perfil de temperatura aos 240 min - P3

Fonte: Elaborada pelo autor

Nota-se que, à medida que o tempo passa, há um gradiente de temperatura mais acentuado, em razão do revestimento interno de 15 mm, única diferença entre a P1 e a P3. Com base nos dados obtidos, foi possível representar graficamente a evolução da temperatura no bloco cerâmico revestido, conforme pode ser visto na Figura 55.

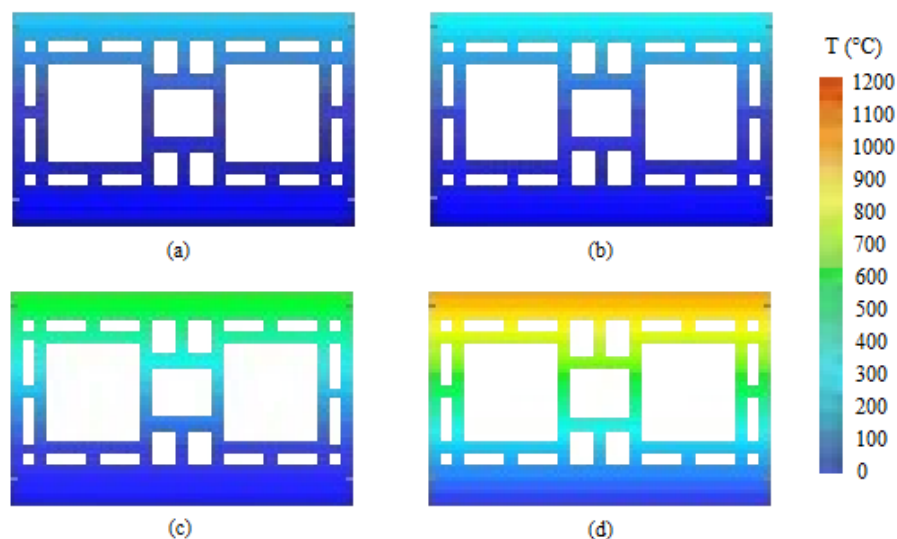


Figura 55 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min , (c) 120min e (d) 240min

Fonte: Elaborada pelo autor

Avaliando a evolução da temperatura ao longo da espessura da parede entre a P1 e a P3, pode-se concluir que o revestimento argamassado de 15 mm na face exposta retardou o aquecimento do bloco. Nos primeiros 60 minutos, não houve diferença significativa na face não exposta, visto que a variação de temperatura com 15 mm de revestimento foi de 9,9°C. A diferença foi mais representativa aos 120 e 240 minutos, pois apresentaram uma redução na temperatura de 72,7 e 42,4°C, respectivamente. Nos 120 minutos, a redução foi de 49,35% e aos 240 minutos houve uma redução de 17,13% na temperatura da face não exposta.

4.2.3.3 Deslocamento lateral da parede

Foi possível mensurar o deslocamento da parede P3 durante os 240 minutos de ensaio de resistência ao fogo. Com base nos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, lançada no software *CloudCompare*.

Percebe-se, através da Tabela 24, que a parede teve um deslocamento máximo durante o ensaio de 43 mm na face exposta, aos 30 minutos. Houve estabilização na deformação fora do plano aos 120 minutos, variando 2 mm, até atingir os 240 minutos.

Tabela 24 – Deslocamentos do plano - P3

Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	2	-10
30	15	-43
60	10	-35
90	10	-39
120	9	-33
150	10	-32
180	10	-32
210	10	-31
240	9	-30

Fonte: Elaborada pelo autor

A parede, inicialmente, se curvou para parte interior do forno, e no decorrer do ensaio, se afastou, sem atingir a posição de origem. Transcorridos os 240 minutos, o deslocamento final do plano foi de 30 mm na face exposta.

Utilizando software, foi possível notar que o deslocamento máximo encontrado se estabeleceu no centro do plano, representado pelo tom azulado (Figura 56).

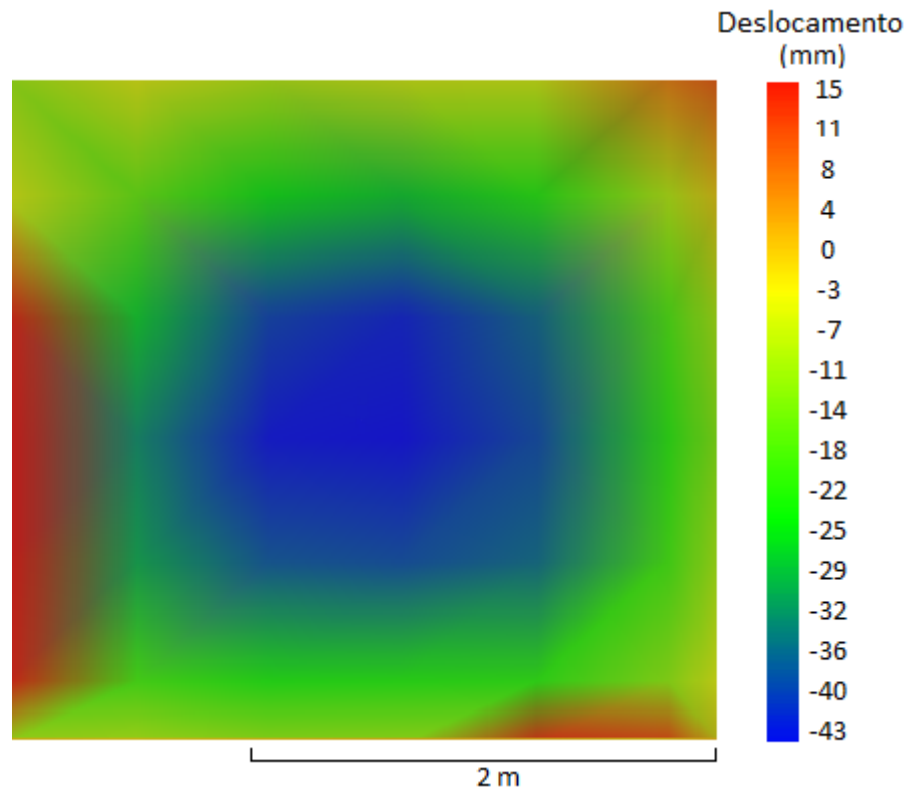


Figura 56 - Deslocamento do plano 30 min - P3

Fonte: O autor

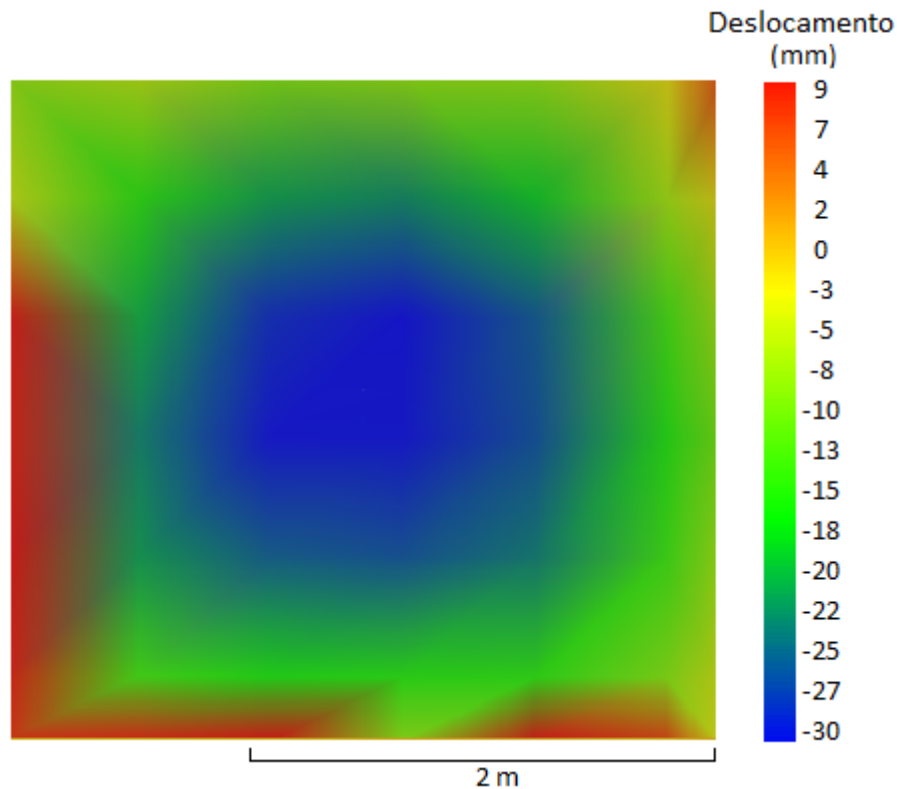


Figura 57 - Deslocamento do plano 240 min - P3

Fonte: O autor

Comparando-se os deslocamentos (Figura 57), foi possível compreender que o comportamento encontrado na P3 é semelhante ao encontrado na P1, onde o maior deslocamento fora do plano se deu na parte central da parede, porém com valores inferiores, atribuídos a presença de revestimento na face exposta, de 15 mm. A presença de revestimento fez com que a parede tivesse uma redução de 10 mm no deslocamento lateral final (240 min), passando de 40 mm para 30 mm.

4.2.3.4 Classificação do TRF

Durante o ensaio, a amostra apresentou comportamento estável, preservando a estabilidade estrutural. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que houve a passagem de gases quentes e fumaça para o lado externo da parede através das fissuras, todavia, sem que houvesse a inflamação do chumaço de algodão. No critério de isolamento térmico, houve um acréscimo da temperatura externa, chegando a média aritmética de 205,1°C, com máxima pontual de 228,8°C, extrapolando os limites estabelecidos de média máxima, nesse caso de 160,2°C (140+20,2°C) e pontual de 200,2°C (180+20,2°C).

Com base nos dados obtidos, foi possível caracterizar que a amostra possui um TRF de 208 minutos. Conforme tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011), o sistema pode ser

utilizado em ocupação do tipo residencial e como serviço de hospedagem até classe P₈ (edificação com altura de até 250 m). De acordo com Anexo A.1, da NBR 14432 (ABNT, 2001), o sistema pode ser utilizado nas mesmas ocupações que a IT 08 (CBPMESP, 2011), porém até classe P₅, (edificação com altura maior que 30 m).

4.2.4 Ensaio de resistência ao fogo da parede P4

A amostra P4, possui revestimento na face exposta ao fogo de 15mm e na face não exposta de 25mm, e possui carregamento de 10tf/m.

4.2.4.1 Estanqueidade

Nos primeiros 11 minutos, a amostra não apresentou ocorrência alguma, porém, aos 11 minutos, a amostra P4 apresentou fissuras oblíquas nas extremidades inferiores e fissura vertical no centro da parede (Figura 58), comportamento encontrado na P2 e P3. As fissuras oblíquas surgem nas extremidades, devida a localização possuir maior vinculação e por consequência, menor deslocamento.

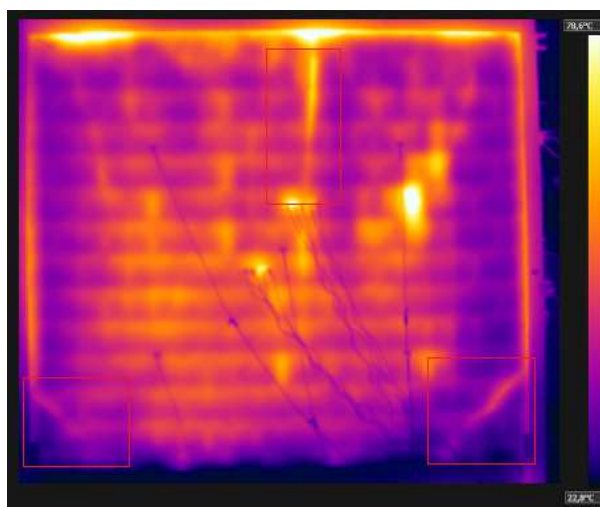


Figura 58 - Aparecimento de fissura vertical e oblíquas na amostra

Fonte: O autor

Nos 17 minutos, surgiram os primeiros sinais de fumaça na fissura vertical, vista na Figura 59. A temperatura dos gases expelidos era, aproximadamente, de 68,2°C, de acordo com a curva padrão da ISO 834-1 (ISO, 1999), a temperatura do forno em contato com a face exposta às chamas foi de 760°C.



Figura 59 - Fumaça expelida pela fissura vertical e seu entorno

Fonte: O autor

Na verificação de estanqueidade, o resultado foi satisfatório, atendendo o critério estabelecido pela NBR 5628 (ABNT, 2001). A amostra não apresentou nenhuma ocorrência até o término do ensaio, mantendo sua estabilidade estrutural e estanqueidade pelos 240 minutos.

4.2.4.2 Isolamento térmico

Durante o ensaio de resistência ao fogo, foi mensurada a temperatura da parede em diferentes posições, separando a espessura da parede em faixas, conforme já apresentada na Figura 26.

A evolução da temperatura medida pelos termopares na parede P4, está apresentada nas Figura 60 à Figura 63, perfis aos 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, respectivamente.

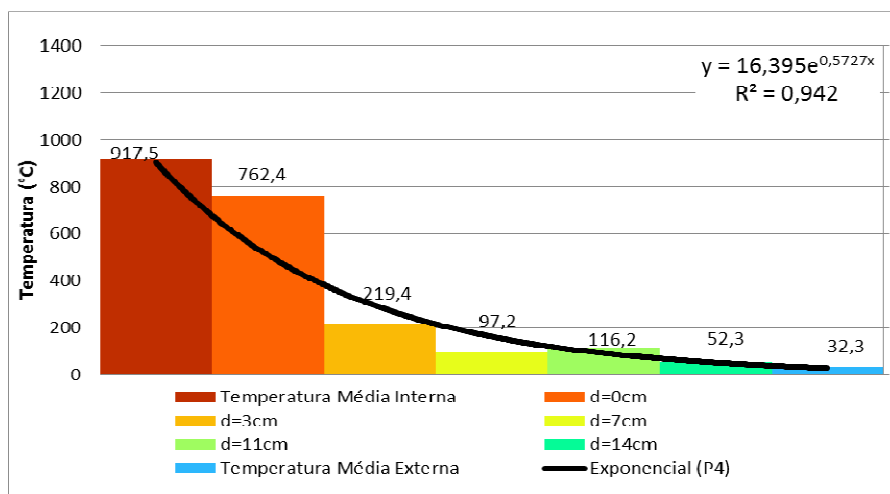


Figura 60 - Perfil de temperatura aos 30 min - P4

Fonte: Elaborada pelo autor

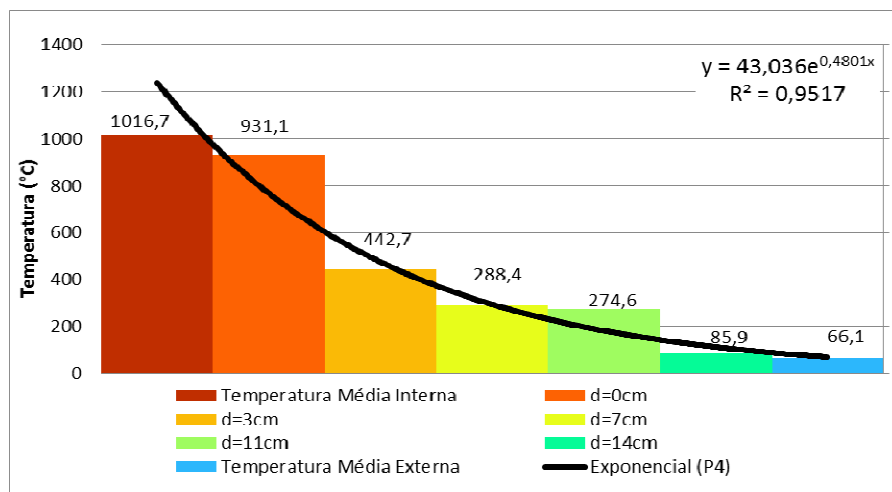


Figura 61 - Perfil de temperatura aos 60 min - P4

Fonte: Elaborada pelo autor

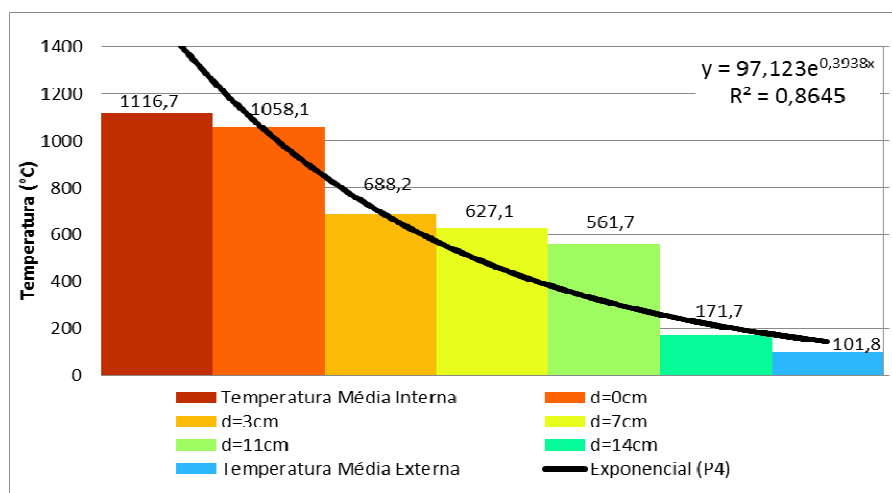


Figura 62 - Perfil de temperatura aos 120 min - P4

Fonte: Elaborada pelo autor

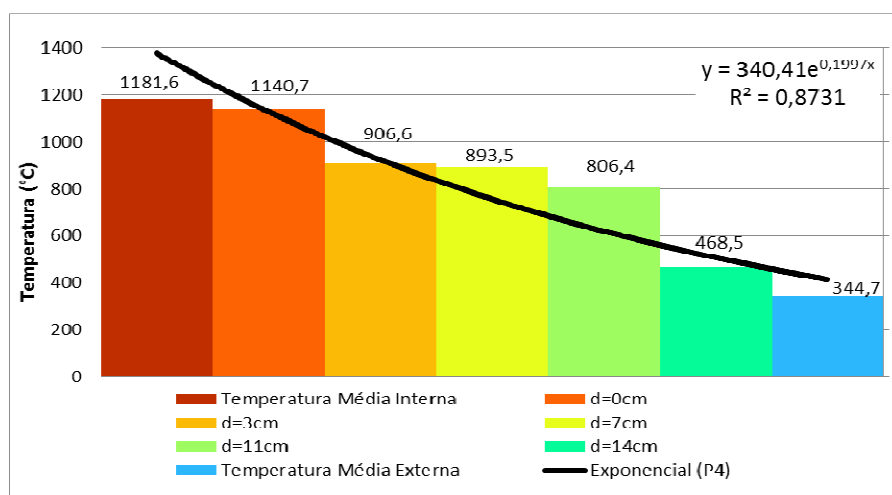


Figura 63 - Perfil de temperatura aos 240 min - P4

Fonte: Elaborada pelo autor

Nota-se através da linha exponencial nos gráficos da P4, que a medida que o ensaio ocorre, a variação da temperatura ao longo da espessura reduz ao longo do tempo. Com base nos dados obtidos do gradiente térmico e câmera termográfica, foi possível justificar o motivo pelo qual a P4 apresentou valores superiores de temperatura.

A temperatura do bloco foi superior já nos primeiros minutos, é percebido que houve deslocamento do revestimento do lado exposto, fazendo com que a temperatura incidisse diretamente no bloco. Os valores obtidos são próximos aos encontrados na P1 (sem revestimento interno), justificativa pela elevada temperatura no bloco. Não foi observado nenhum ruído de deformação ocasionado pelo deslocamento.

A Figura 64 demonstra que aos 30 minutos, iniciaram os primeiros sinais de deslocamento (coloração alaranjada no lado direito superior), comprovadas posteriormente, no momento em que a amostra foi desacoplada do forno.

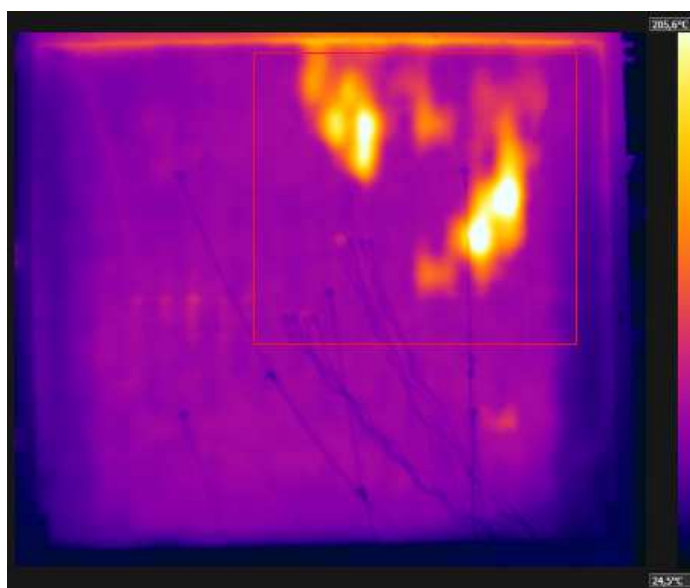


Figura 64 - Sinal de deslocamento do revestimento argamassado do lado interno

Fonte: O autor

A Figura 65 retrata a face exposta ao fogo durante o ensaio de resistência ao fogo, nota-se que houve deslocamento de todo revestimento em argamassa exposto, inclusive com o lascamento do bloco cerâmico.



Figura 65 - Amostra P4 após ensaio de resistência ao fogo

Fonte: O autor

Para Nguyen e Meftah (2012), o lascamento ocorre devido ao efeito de 2ª ordem, ocorrido pela mudança de excentricidade da parede (Figura 18), visto que os materiais da face exposta (bloco cerâmico e argamassa) perdem suas propriedades mecânicas.

4.2.4.3 Deslocamento lateral da parede

Durante os 240 minutos de ensaio, foi possível mensurar o deslocamento da parede P4. Através dos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, que posteriormente foi lançada no software *CloudCompare*.

Com base nos dados apresentados na Tabela 25, é possível analisar que a parede teve um deslocamento máximo durante o período de ensaio de 21 mm, na face exposta, ocorrido aos 90 minutos, havendo estabilização no deslocamento a partir dos 180 minutos, variando apenas 2 mm a deformação, até atingir o término do ensaio aos 240 minutos.

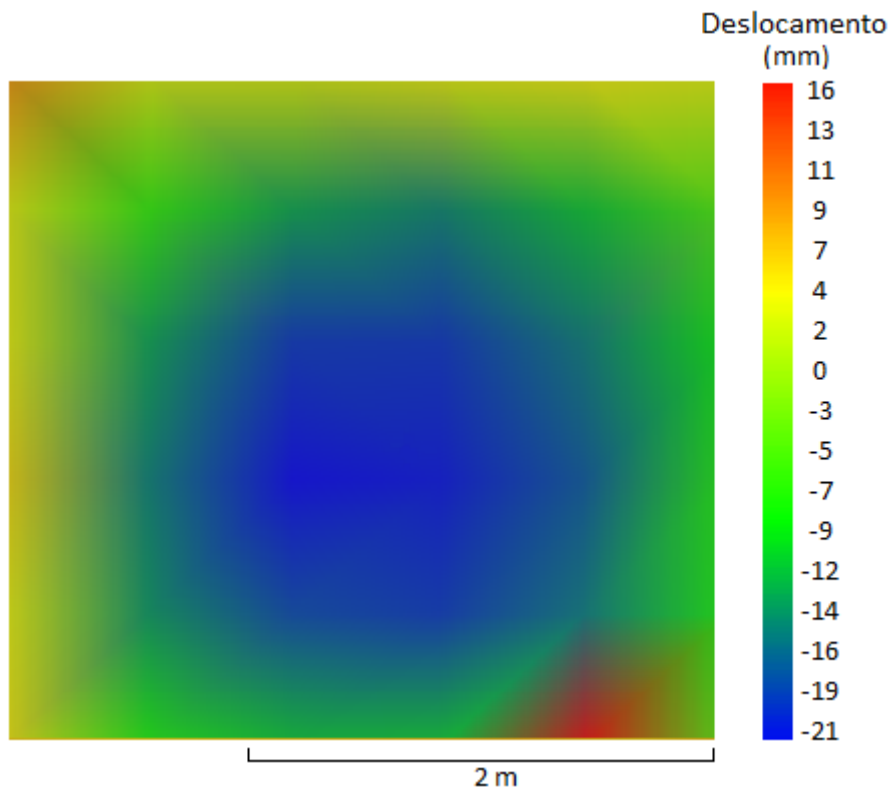
Tabela 25 - Deslocamentos do plano - P4

Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	1	-10
30	11	-18
60	19	-20
90	16	-21
120	10	-21
150	9	-20
180	10	-21
210	11	-20
240	12	-20

Fonte: Elaborada pelo autor

A parede, nos primeiros instantes, se curva para no sentido da face exposta e no decorrer do ensaio, retorna para o sentido não exposto, porém não atingindo sua posição de origem, transcorridos os 240 minutos, o deslocamento final do plano foi de 20 mm para o lado não exposto.

Com a utilização do software, foi possível perceber, que o deslocamento máximo encontrado, se estabelece no centro do plano ensaiado (em tom azulado) (Figura 66), deslocamento mensurado de 21 mm.

**Figura 66 - Deslocamento do plano 90 min - P4**

Fonte: O autor

Na Figura 67, foi possível perceber que, aos 240 minutos, o deslocamento lateral da face exposta foi de 20 mm e se deu na metade superior da amostra, comportamento também encontrado na P2 (Figura 47), porém, com maiores valores, já que a mesma não possuía revestimento em argamassa do lado interno, reduzindo assim sua espessura total.

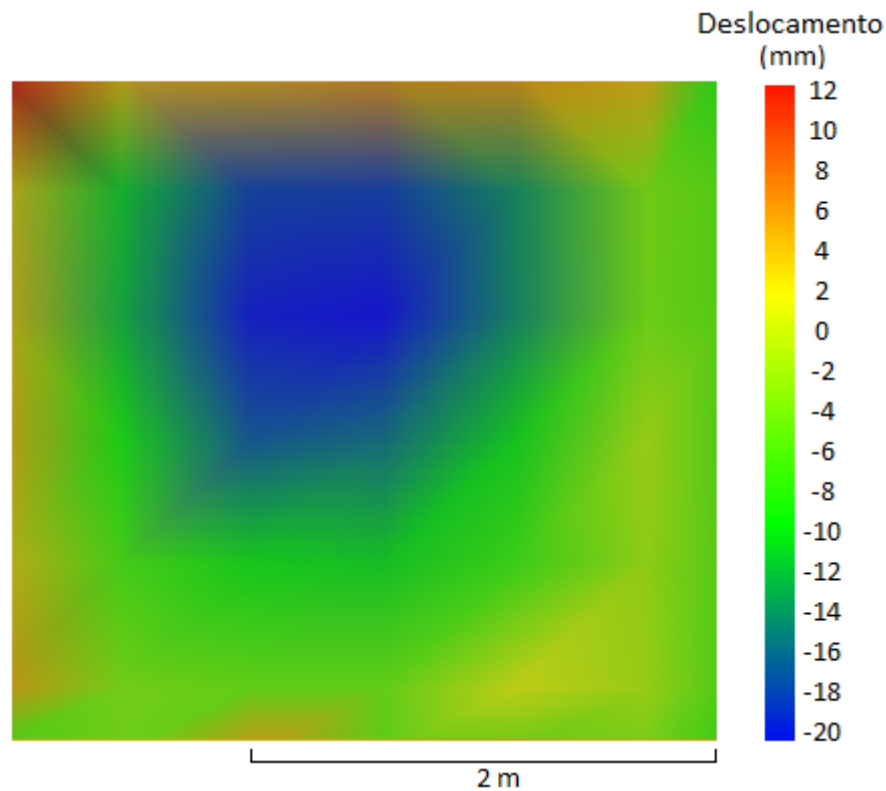


Figura 67 - Deslocamento do plano 240 min - P4

Fonte: O autor

De acordo com Nguyen e Meftah (2014), na simulação do seu experimento, apresentou um deslocamento do plano em paredes com carga, de 14 mm em direção ao lado exposto aos 125 minutos (Figura 68).

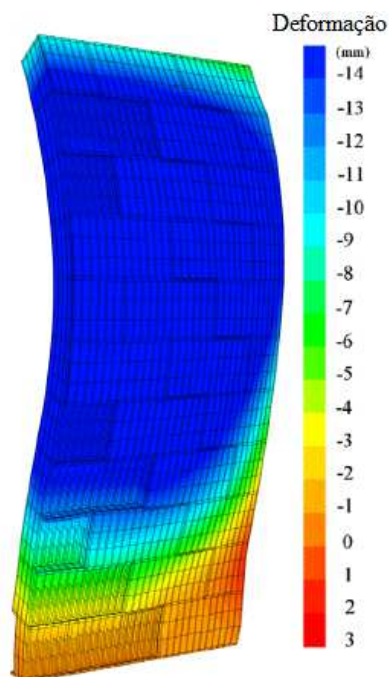


Figura 68 - Forma deformada de amostra obtida por simulação

Fonte: Adaptado pelo autor de Nguyen e Meftah (2014)

Segundo os autores, a simples curvatura observada na face externa, se deve a expansão térmica diferencial, onde ocorre um esforço de tração do lado exposto, tendendo assim a se curvar em direção ao fogo, com restrição nos apoios superiores e inferiores.

4.2.4.4 Classificação do TRF

Durante os 240 minutos decorridos do ensaio, mesmo com deslocamento horizontal de 21 mm aos 90 minutos e deslocamento do lado exposto, a amostra ainda apresentou comportamento estável, preservando sua estabilidade estrutural. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que houve a passagem de gases quentes e fumaça para o lado externo da parede pelas fissuras, todavia, sem que houvesse a inflamação do chumaço de algodão, procedimento na qual a NBR 5628 (ABNT, 2001) determina. No isolamento térmico, percebeu-se que houve um acréscimo da temperatura externa chegando a média de 344,7°C com máxima pontual de 363,6°C, extrapolando os limites estabelecidos de média máxima, nesse caso de 163,1°C (140+23,1°C) e pontual de 203,1°C (180+23,1°C).

Com base nos dados obtidos no estudo, foi possível caracterizar que a amostra possui um TRF de 142 minutos. Conforme tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011), o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) até classe P₆ (edificação com altura de até 120 m) e ocupação como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₅ (edificação com altura de até 80 m). De acordo com Anexo A.1, da NBR 14432:2001, o

sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) e como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₅ (edificação com altura maior que 30 m).

4.2.5 Ensaio de resistência ao fogo da parede P5

A amostra P5, possui revestimento em ambas as faces de 25mm, e não possui carregamento.

4.2.5.1 Estanqueidade

Nos primeiros 10 minutos, a amostra não apresentou ocorrência alguma, porém, transcorridos esses 10 minutos iniciais, a amostra apresentou fissuras oblíquas nas extremidades inferiores como apresentado na Figura 69, localização onde apresentou menor deslocamento devida a restrição.



Figura 69 - Surgimento de fissuras oblíquas

Fonte: O autor

Aos 60 minutos, começaram a surgir pequenas manchas no entorno da amostra, provenientes de umidade, conforme visto na Figura 70. Todas as amostras permaneceram com 56 dias de cura até a realização do ensaio de resistência ao fogo. Tempo esse necessário para uniformização da umidade e perda da umidade excedente.

Nas tipologias P1 e P2, por não apresentar revestimento do lado interno, acredita-se que tenha facilitado a perda da água excedente para o ambiente, nas paredes P3 e P4, por ter somente 15 mm de revestimento na face exposta, também não apresentou marcas de umidade durante o ensaio, porém na P5 foi observada a presença dessas manchas de umidade.

Acredita-se que a espessura considerável de 25 mm de revestimento do lado exposto, retardou a perda de água da amostra.

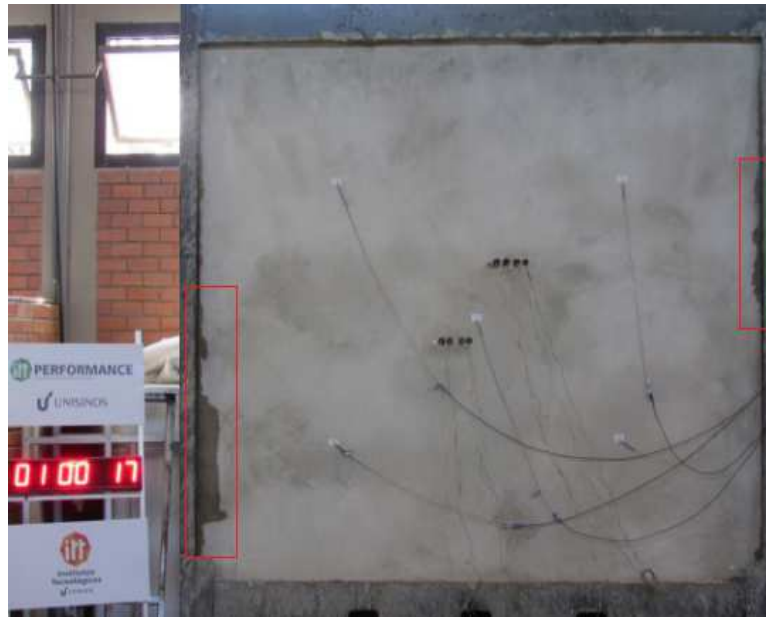


Figura 70 - Presença de manchas de umidade da face externa

Fonte: O autor

Não foram observadas, durante os 240 minutos de ensaio de resistência ao fogo, a presença de fumaça e gases quentes expelidas pelas fissuras oblíquas para o lado externo, se mantendo estanque por todo o tempo de ensaio.

Pela Figura 71, foi possível analisar que a amostra mantém sua temperatura uniforme em toda face interna, aos 120 minutos.

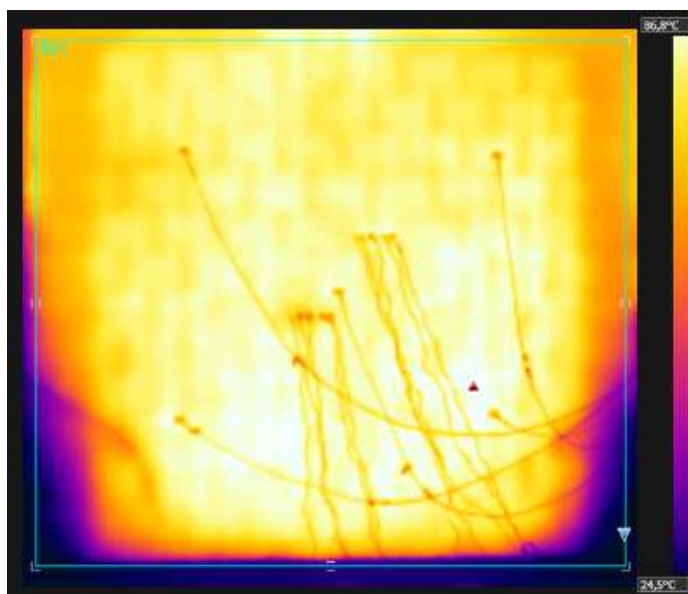


Figura 71 - Face externa observada pela câmera termográfica aos 120 min

Fonte: O autor

A temperatura medida aos 120 minutos pela câmara termográfica, apresenta 86,8°C como maior temperatura externa, e a temperatura fornecida pela média dos cinco pontos para cálculo do TRF foi de 78,8°C, validando assim as leituras preliminares realizadas pela câmara termográfica durante a realização do ensaio.

4.2.5.2 Isolamento térmico

Durante o ensaio de resistência ao fogo, foi mensurada a temperatura da parede em diferentes posições, conforme Figura 26.

A evolução da temperatura medida pelos termopares na P5, está apresentada nas Figura 72 à Figura 75, perfis aos 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, respectivamente.

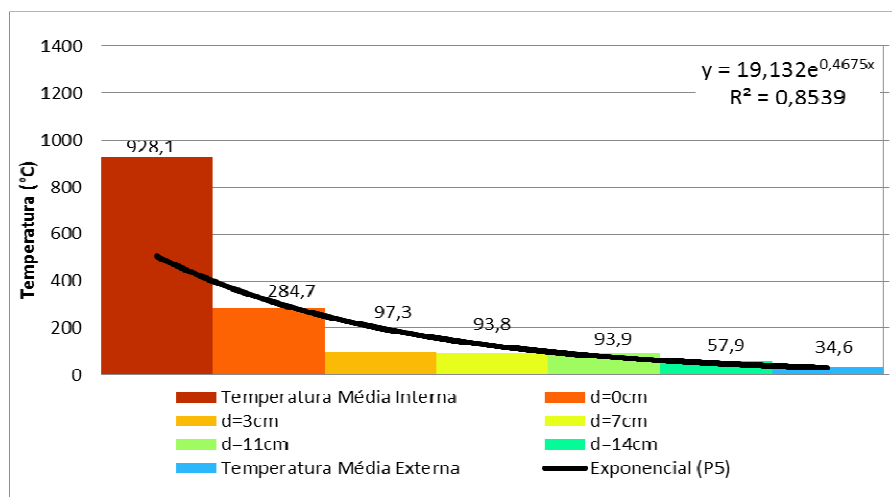


Figura 72 - Perfil de temperatura aos 30 min - P5

Fonte: Elaborada pelo autor

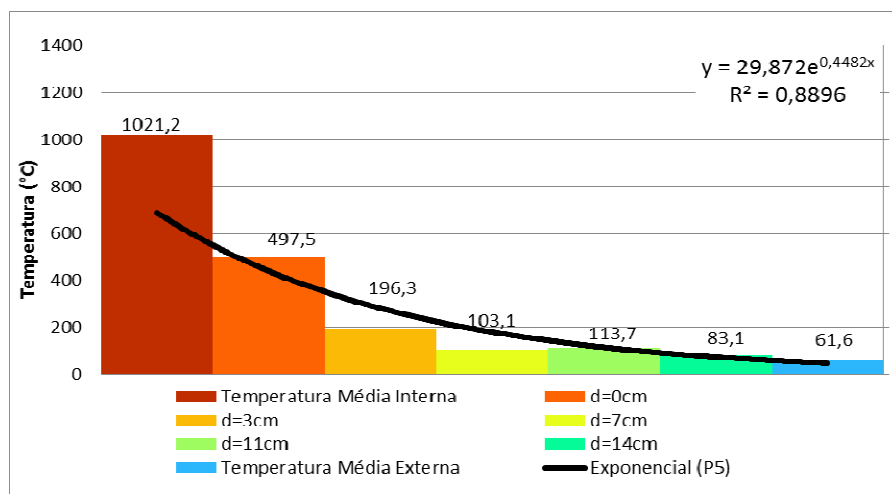


Figura 73 - Perfil de temperatura aos 60 min - P5

Fonte: Elaborada pelo autor

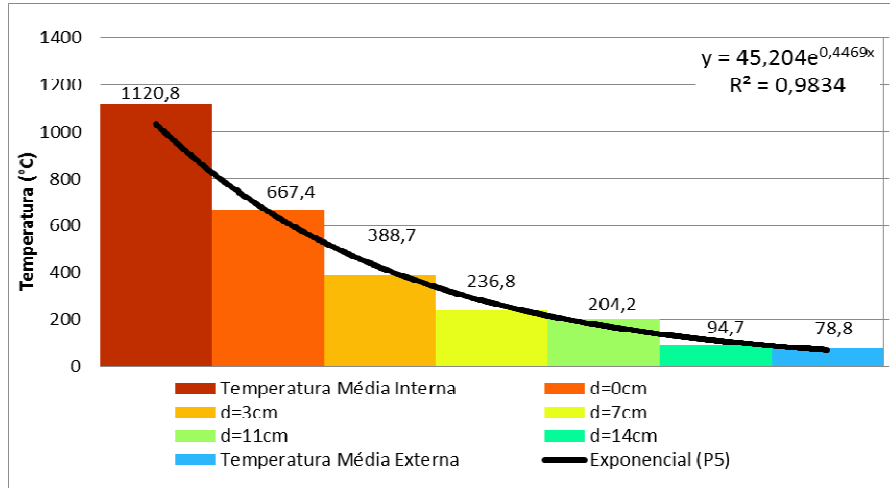


Figura 74 - Perfil de temperatura aos 120 min - P5

Fonte: Elaborada pelo autor

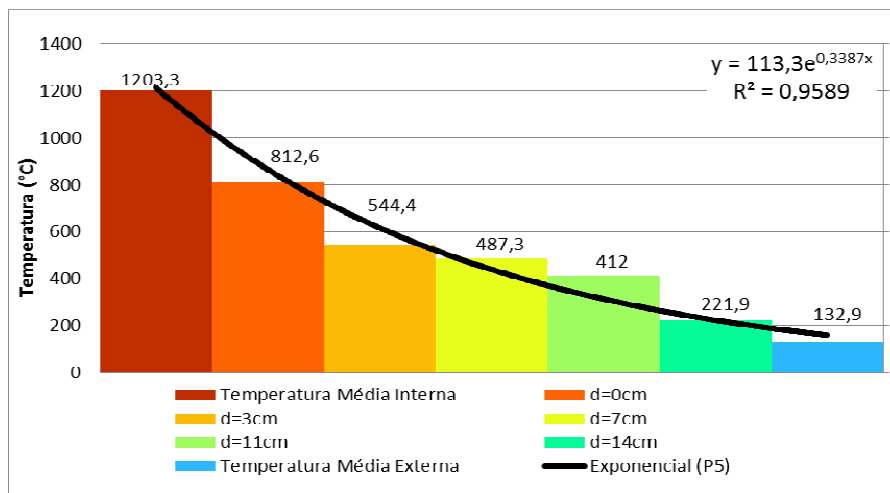


Figura 75 - Perfil de temperatura aos 240 min - P5

Fonte: Elaborada pelo autor

A medida que o ensaio prossegue, a variação da temperatura ao longo da espessura reduz ao longo do tempo, essa característica é proveniente do revestimento de 25 mm que está na face exposta. A parede P3 apresentou essa mesma tendência, vale a pena ressaltar que as paredes P3 e P5, são paredes que não possuem carga, variando somente a espessura do revestimento interno. Com base nos dados obtidos, foi possível representar graficamente a evolução da temperatura no bloco cerâmico revestido, conforme vista na Figura 76.

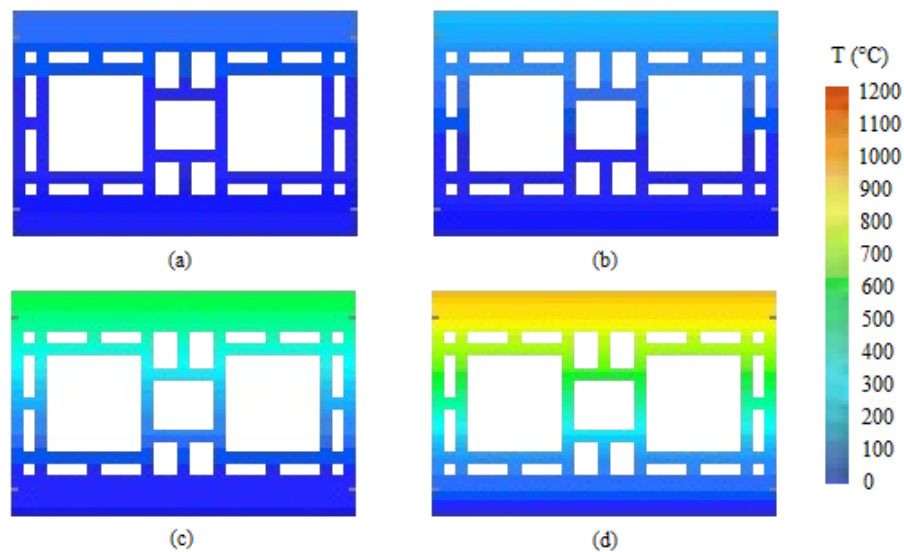


Figura 76 - Representação gráfica em bloco da distribuição da temperatura (a) 30min, (b) 60min, (c) 120min e (d) 240min

Fonte: Elaborada pelo autor

Comparando a evolução da temperatura ao longo da espessura da parede entre as paredes P1 e P5, se avalia que o revestimento em argamassa de 25 mm na face exposta, retardou o aquecimento do bloco. Nos primeiros 60 minutos, a face não exposta apresenta uma diferença de temperatura de $9,6^{\circ}\text{C}$, porém, a diferença foi mais representativa nos 120 e 240 minutos, que apresentaram uma redução na temperatura de $68,5$ e $114,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Nos 120 minutos, a redução foi de $46,51\%$ e aos 240 minutos houve uma redução de $46,30\%$, na temperatura da face não exposta.

4.2.5.3 Deslocamento lateral da parede

Foi possível mensurar o deslocamento da parede P5 durante os 240 minutos de ensaio de resistência ao fogo. Com base nos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, que posteriormente foi lançada no software *CloudCompare*, avaliando junto a referência a deformação do plano da parede até os 240 minutos.

Tabela 26 - Deslocamentos do plano - P5

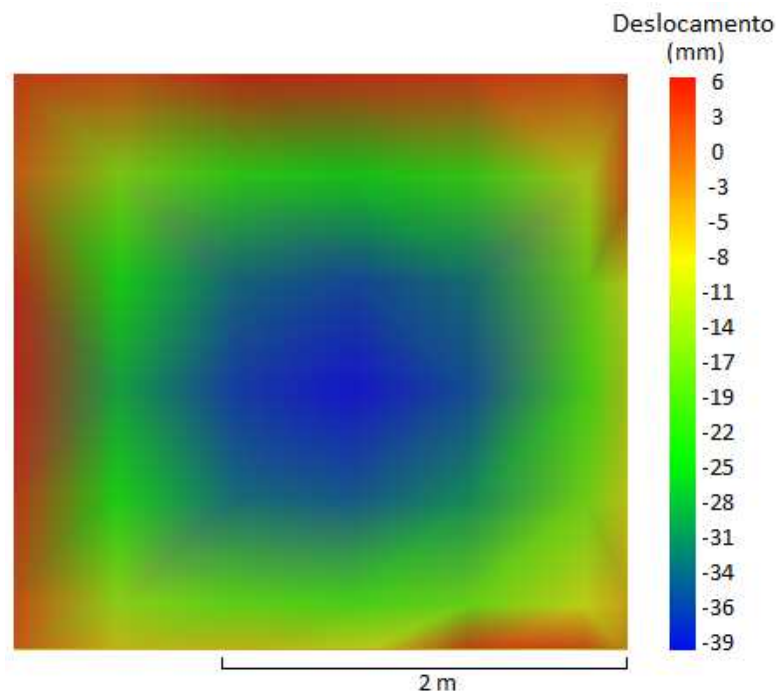
Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	3	-12
30	6	-39
60	6	-35
90	6	-32
120	8	-31
150	6	-31
180	7	-30
210	6	-30
240	7	-29

Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 26 mostra que a parede teve um deslocamento máximo, durante o período de ensaio, de 39 mm para o lado exposto, ocorrido aos 30 minutos, havendo estabilização do deslocamento a partir dos 120 minutos, variando apenas 2 mm o deslocamento, até atingir o término do ensaio aos 240 minutos.

A parede aos 30 minutos se curva para parte interior do forno e com o tempo acaba se afastando, porém, não atinge sua posição de origem. Transcorridos os 240 minutos, a deslocamento final do plano foi de 29 mm para o lado do forno.

Utilizando software *CloudCompare*, nota-se, que o deslocamento máximo encontrado se estabelece no centro do plano ensaiado (Figura 77), deslocamento de 39 mm.

**Figura 77 - Deslocamento do plano 30 min - P5**

Fonte: O autor

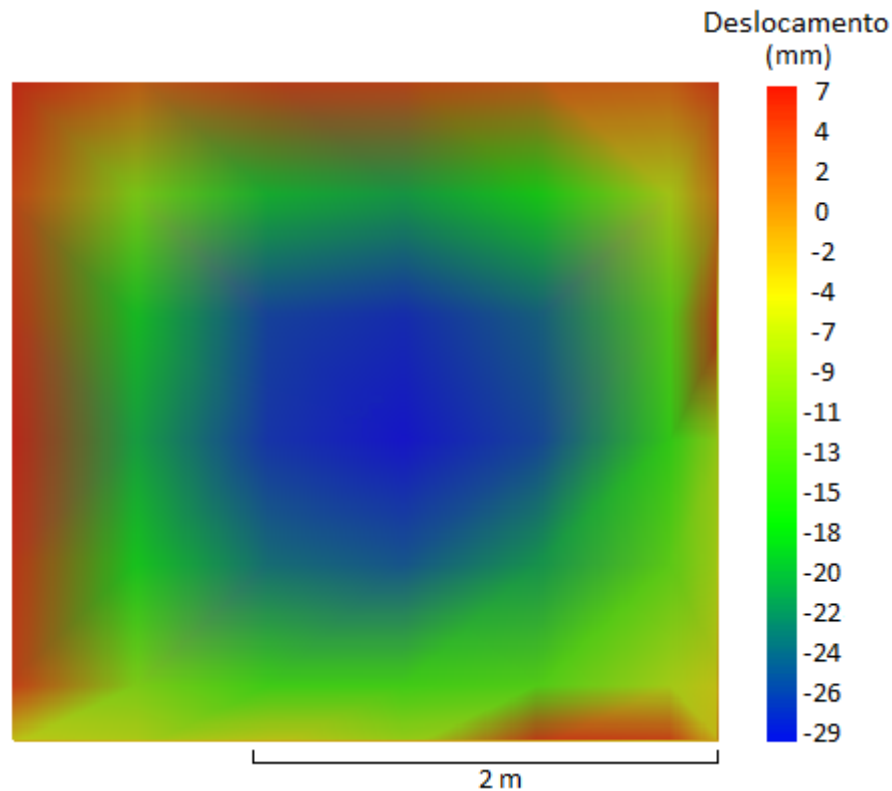


Figura 78 - Deslocamento do plano 240 min - P5

Fonte: O autor

Comparando os deslocamentos (Figura 78), foi possível compreender que o comportamento encontrado na P5 foi semelhante ao encontrado na P1, onde o maior deslocamento lateral do plano se dá na parte central da parede, porém com valores inferiores, valores esses atribuídos a presença de revestimento na face exposta de 25 mm. A presença do revestimento fez com que a parede tivesse uma redução de 11 mm no seu deslocamento final (240 min), passando de 40 mm para 29 mm.

4.2.5.4 Classificação do TRF

Durante os 240 minutos decorridos do ensaio, mesmo com deslocamento horizontal de 39 mm aos 30 minutos e deslocamento do lado exposto, a amostra ainda apresentou comportamento estável, preservando sua estabilidade estrutural. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que não houve a passagem de gases quentes e fumaça para o lado externo da parede pela fissuras oblíquas. No isolamento térmico, percebeu-se que houve um acréscimo da temperatura externa chegando a média de 132,9°C com máxima pontual de 156,2°C, não extrapolando os limites estabelecidos de média máxima, nesse caso de 162,2°C (140+22,2°C) e pontual de 202,2°C (180+22,2°C).

Com base nos dados obtidos no estudo, foi possível caracterizar que a amostra possui um TRF de 240 minutos. Conforme tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011), o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) e como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₈ (edificação com altura até 250 m). De acordo com Anexo A.1, da NBR 14432:2001, o sistema pode ser utilizado em ocupação do grupo A e grupo B até classe P₅ (edificação com altura maior que 30 m).

4.2.6 Ensaio de resistência ao fogo da parede P6

A amostra P6, possui revestimento na face exposta e não exposta de 25mm, e possui carregamento de 10tf/m.

4.2.6.1 Estanqueidade

Na amostra P6, a primeira ocorrência observada, ocorreu aos 16 minutos, quando surgiram fissuras oblíquas nas extremidades inferiores (Figura 79), comportamento encontrado em todas as amostras ensaiadas.

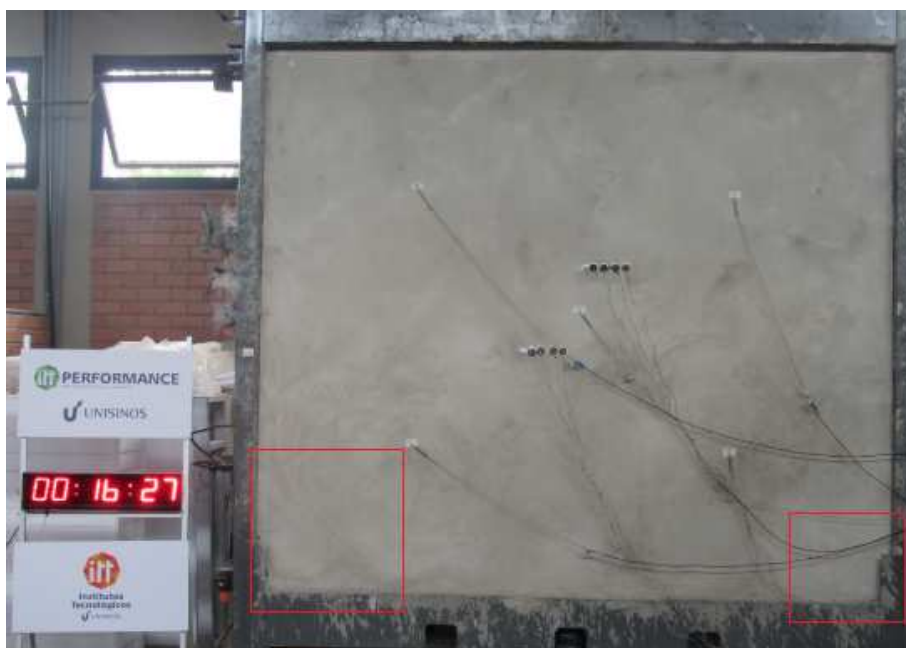


Figura 79 - Fissuras oblíquas nas extremidades inferiores

Fonte: O autor

Aos 57 minutos, começaram a surgir pequenas manchas no entorno da amostra, provenientes de umidade conforme visto na Figura 80. Essa ocorrência foi encontrada durante o ensaio da P5 precisamente aos 60 minutos, tempo esse próximo aos 57 minutos da P6. Isso

ocorre pelo fato da parede possuir 25 mm de argamassa do lado exposto, retardando a perda de água excedente durante os 56 dias de cura.

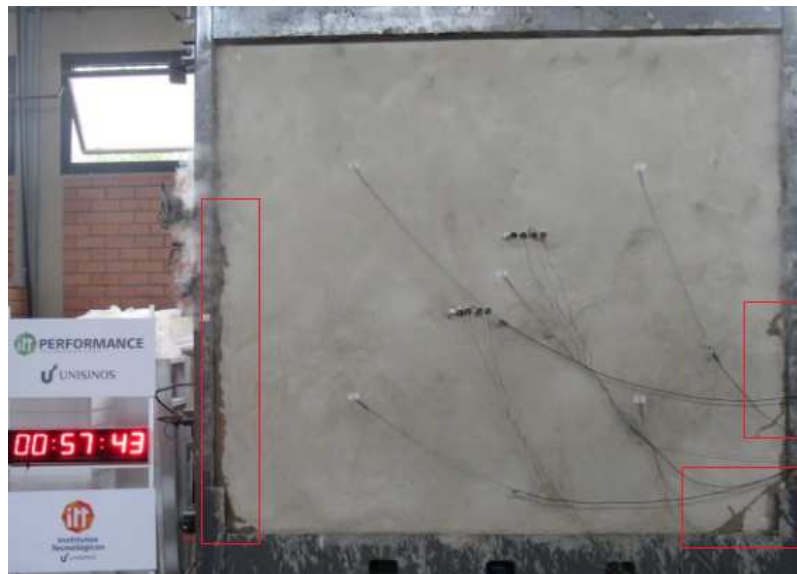


Figura 80 - Presença de manchas de umidade da face externa

Fonte: O autor

Foi observado durante o ensaio de resistência ao fogo, precisamente aos 80 minutos, grandes indícios de deslocamento da argamassa do lado interno (exposto) (Figura 81). Percebe-se ainda uma diferença na tonalidade de cor captada pela câmera termográfica, que posteriormente foi comprovada pela Figura 82.

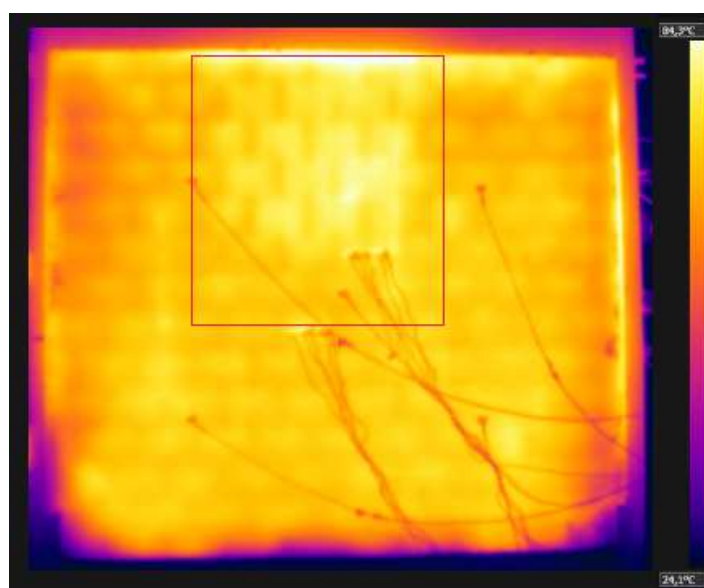


Figura 81 - Possível deslocamento do revestimento na parte interna 80 min

Fonte: O autor

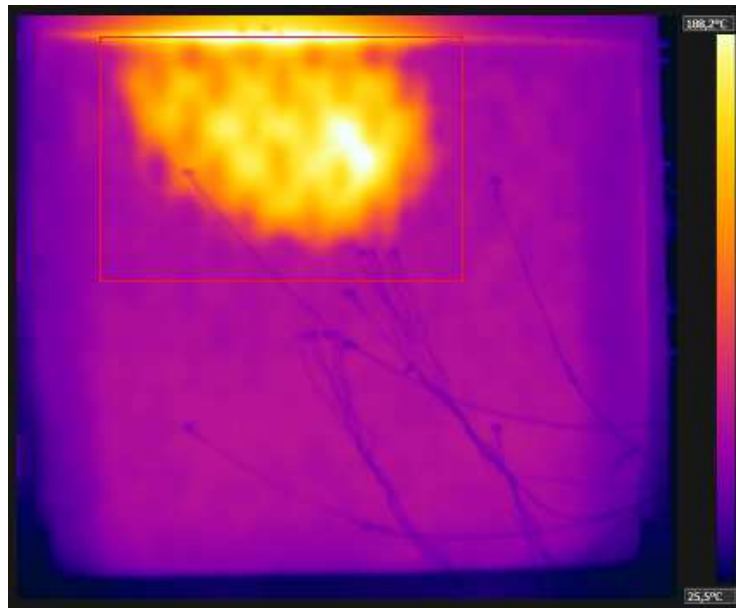


Figura 82 - Desplacamento do revestimento interno 180 min

Fonte: O autor

4.2.6.2 Isolamento térmico

Durante o ensaio de resistência ao fogo, foi medida a temperatura da parede em diferentes posições, separando a espessura da parede em faixas, conforme já apresentada na Figura 26. A evolução da temperatura mensurada pelos termopares na P6, está apresentada na Figura 83 à Figura 86, perfis aos 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, respectivamente.

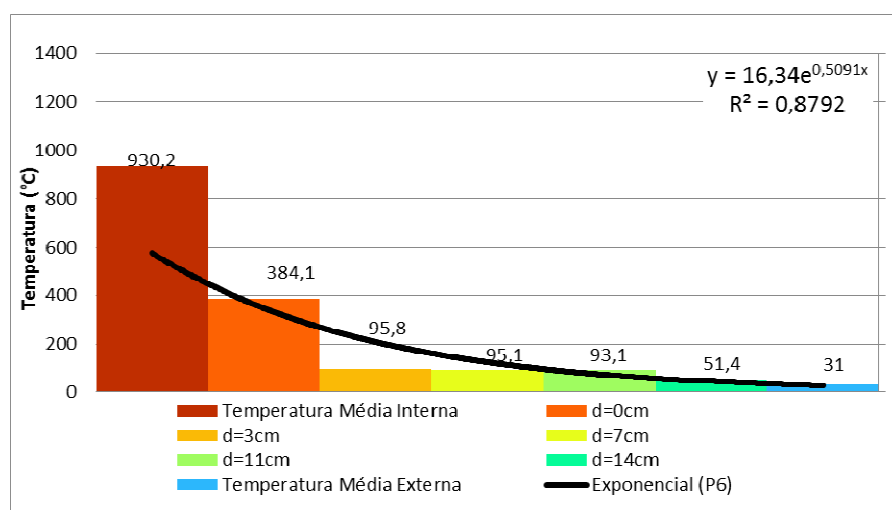


Figura 83 - Perfil de temperatura aos 30 min - P6

Fonte: Elaborada pelo autor

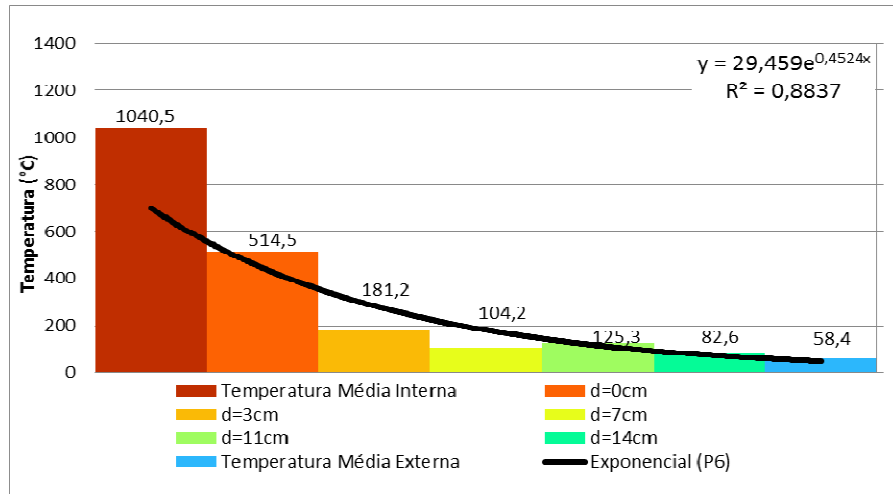


Figura 84 - Perfil de temperatura aos 60 min - P6

Fonte: Elaborada pelo autor

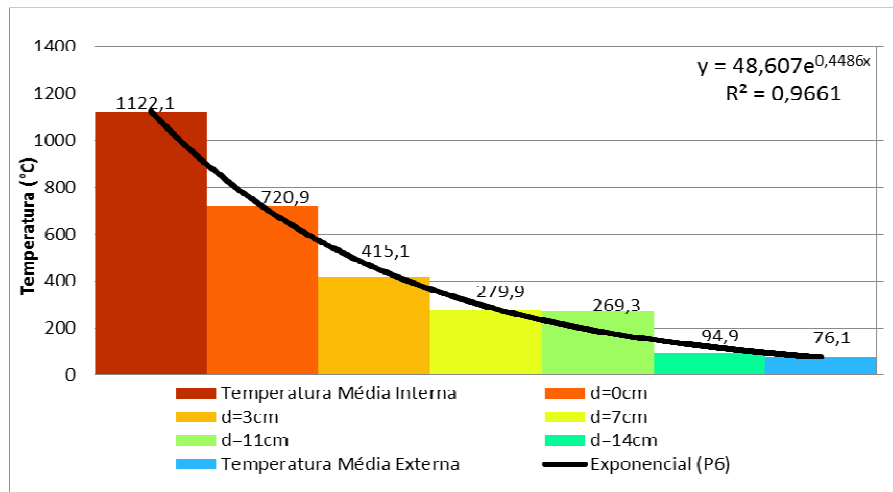


Figura 85 - Perfil de temperatura aos 120 min - P6

Fonte: Elaborada pelo autor

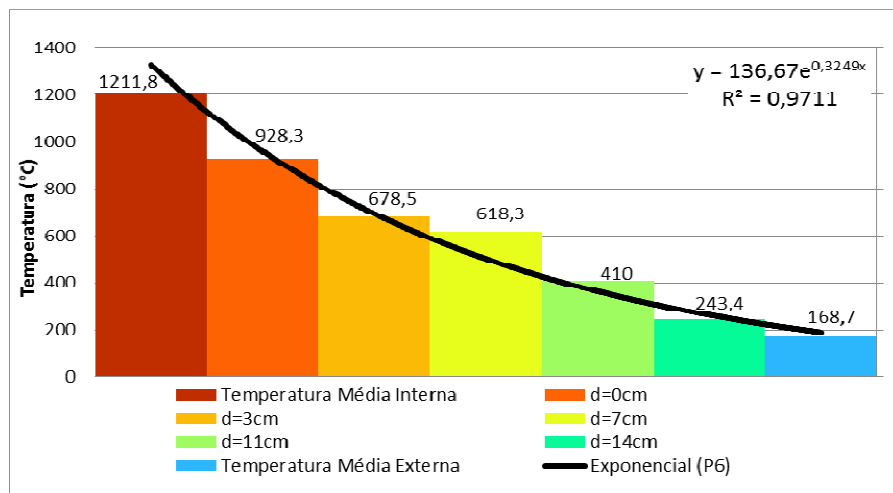


Figura 86 - Perfil de temperatura aos 240 min - P6

Fonte: Elaborada pelo autor

Comparando a evolução da temperatura ao longo da espessura da parede entre as paredes P2 e a P6, pode-se concluir que o revestimento argamassado de 25 mm na face exposta, retardou o aquecimento do bloco. Nos 60 minutos iniciais, no eixo da parede, apresentou uma redução de 75,58%, passando de 426,8°C para 104,2°C, um decréscimo de 322,6°C.

Realizando uma comparação entre P4 e P6, a diferença de 10 mm no revestimento interno, a diferença na face externa foi de 176°C, passando de 344,7°C para 168,7°C, redução de 51,06% na face não exposta, ou seja, o revestimento influenciou de forma satisfatória no comportamento da parede.

4.2.6.3 Deslocamento lateral da parede

Foi possível medir os deslocamentos da parede P6 durante os 240 minutos de ensaio de resistência ao fogo. Com base nos dados obtidos, foi criada uma malha de pontos, que posteriormente foi lançada no software *CloudCompare*.

Tabela 27 - Deslocamentos do plano - P6

Tempo (min)	Deslocamento do plano (mm)	
	Lado exterior do forno	Lado interior do forno
5	3	-10
30	3	-23
60	6	-21
90	6	-22
120	6	-23
150	6	-23
180	6	-24
210	6	-24
240	7	-23

Fonte: Elaborada pelo autor

É possível perceber através da Tabela 27, que a parede teve um deslocamento máximo durante o período de ensaio, de 24 mm para o lado exposto, ocorrido aos 180 minutos. A estabilização do deslocamento, a partir dos 120 minutos, variou apenas 1 mm o deslocamento, até atingir o término do ensaio aos 240 minutos. A parede aos 30 minutos se curva para parte interior do forno e com passar do tempo acaba se afastando, porém não

atinge sua posição de origem, transcorridos os 240 minutos, o deslocamento final do plano foi de 23 mm para o lado do forno.

O deslocamento máximo encontrado se estabelece no centro do plano ensaiado (Figura 87), deslocamento de 24 mm para o lado do forno.

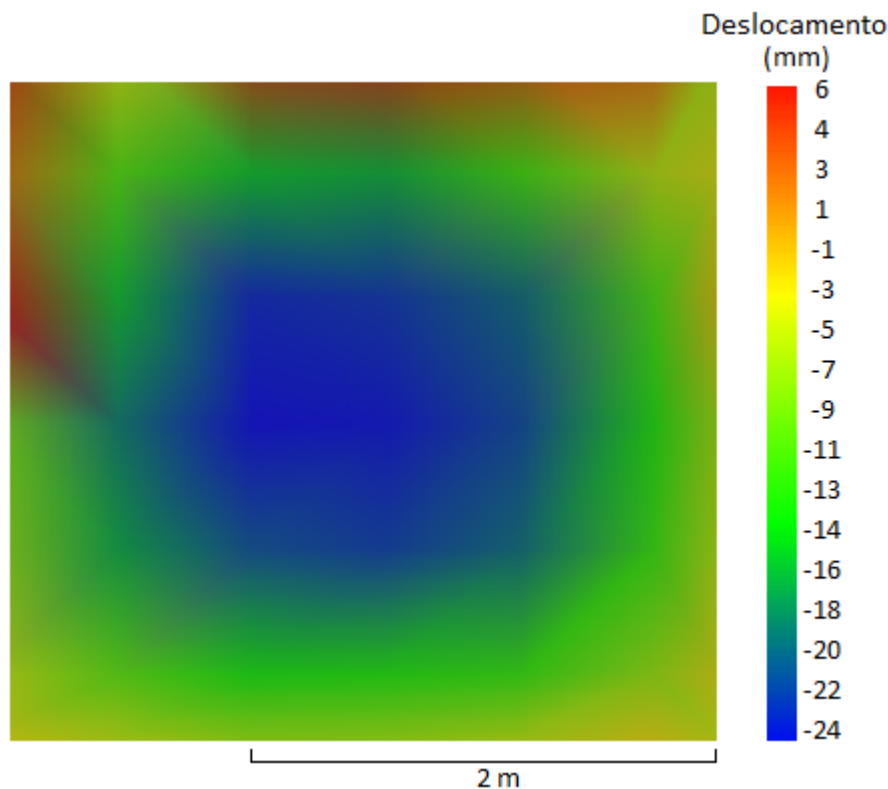


Figura 87 - Deslocamento do plano 180 min - P6

Fonte: O autor

No instante de 180 minutos, o deslocamento do plano para o lado exposto, foi de 24 mm (Figura 87) e se deu na metade superior da amostra, comportamento também encontrado na P2 (Figura 47) e P4 (Figura 67), esse comportamento se dá pelo fato de possuir restrição na base e no topo da amostra. A parede P6 foi a que apresentou menores deslocamentos quando comparada com as demais, esse comportamento foi resultado da combinação do aumento da espessura da parede em 25 mm e combinado ao efeito do carregamento, que induziu a uma menor deformação da parede.

4.2.6.4 Classificação do TRF

Durante os 240 minutos decorridos do ensaio, mesmo com deslocamento horizontal de 24 mm aos 180 minutos e deslocamento parcial do lado exposto, a amostra ainda apresentou comportamento estável, preservando sua estabilidade estrutural. Em relação à estanqueidade do sistema, foi verificado que não houve a passagem de gases quentes e

fumaça para o lado externo da parede pela fissuras oblíquas. No isolamento térmico, percebeu-se que houve um acréscimo da temperatura externa chegando a média de 168,7°C com máxima pontual de 231,5°C, extrapolando os limites estabelecidos de média máxima, nesse caso de 163,6°C (140+23,6°C) e pontual de 203,6°C (180+23,6°C).

Com base nos dados obtidos no estudo, foi possível caracterizar que a amostra possui um TRF de 221 minutos. Conforme tabela A da IT 08 (CBPMESP, 2011), o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) e como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₈ (edificação com altura até 250 m). De acordo com Anexo A.1, da NBR 14432:2001, o sistema pode ser utilizado em ocupação do tipo residencial (grupo A) e ocupação como serviço de hospedagem (grupo B) até classe P₅ (edificação com altura maior que 30 m).

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta pesquisa, de acordo com o referencial teórico e os dados obtidos no programa experimental.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a influência da espessura do revestimento em argamassa e do carregamento no comportamento de alvenaria frente ao fogo. Para tal, contou-se com a realização do programa experimental descrito anteriormente.

De acordo com os resultados obtidos no programa experimental proposto, conclui-se que a amostra sem carregamento que apresentou melhor desempenho quanto ao TRF, foi a P5 (25 mm de revestimento argamassado em ambas as faces), com um TRF de 240 minutos, ou seja, atendeu durante esse período, os critérios de estanqueidade a gases e fumaça, estabilidade estrutural e isolamento térmico. As amostras apresentaram uma mesma tendência, a medida que aumenta a espessura, houve um decréscimo nos deslocamentos laterais do plano. A amostra com carregamento que apresentou melhor desempenho quanto ao TRF, foi a P6 (25 mm de revestimento em argamassa em ambas as faces), atendendo os critérios de estabilidade estrutural e estanqueidade, perdendo seu isolamento térmico aos 221 minutos. Logo, a espessura do revestimento, melhorou o desempenho da alvenaria no ensaio de resistência ao fogo, apresentando um decréscimo na face externa de 46,3%, passando de 247,5°C para 132,9°C na P5. A P6 apresentou uma redução de 51,05%, somente acrescentando 10 mm de revestimento à face exposta, passando de 15 mm para 25 mm.

Ao comparar a mesma tipologia com e sem carregamento (Apêndices) pode se concluir que as amostras apresentaram maiores deslocamentos quando não carregadas, com valores entre 43 e 39 mm, isso fica evidente pelo fato de não haver nenhuma restrição na parte superior e inferior, deixando que a deformação seja de dupla curvatura, diferentemente do encontrado nas amostras com carregamento, onde a deformação se deu na parte superior, com valores entre 28 e 24 mm, ocorrência essa devida a restrição da borda superior e inferior ocasionada pela aplicação da carga, fazendo com que a deformação apresentasse uma simples curvatura.

Desta forma, fica evidente que a espessura do revestimento argamassado e o carregamento que nela incide, são fatores determinantes no desempenho frente ao fogo em amostras desta característica. Amostras com revestimentos mais espessos e com suporte de

carga, tendem a melhorar o desempenho, aumentando o TRF e diminuindo os deslocamentos do plano.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos, identificou-se a necessidade de pesquisas para melhorar o desempenho da alvenaria exposta ao fogo, servindo assim como sugestões para trabalhos futuros, como:

- realizar novos ensaios de resistência ao fogo, substituindo o bloco cerâmico de 7MPa, por uma outra classe de resistência, modificar a argamassa de revestimento, utilizando argamassas com diferentes teores de ar incorporado, acrescentando fibras poliméricas ou utilizar diferentes tipos de agregados miúdos na composição da argamassa.
- aprimorar o estudo, realizando diferentes carregamentos, a fim de avaliar se a alvenaria mantém o comportamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HADHRAMI, Luai M.; AHMAD, A. Assessment of thermal performance of different types of masonry bricks used in Saudi Arabia. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, n. 5, p. 1123-1130, 2009.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório**. São Paulo: Pini, 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)/THE MASONRY SOCIETY (TMS). **ACI/TMS 216.1**: Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies. Farmington Hills, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). **ASTM E119-16a**: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. West Conshohocken: ASTM International, 2016.

ARAÚJO NETO, Gilberto Nery de. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002

_____. **NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 11582: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 12826: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 14656**: Cimento Portland e matérias-primas - Análise química por espectrometria de raios X - Método de ensaio Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16372**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 15**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR NM 18:** Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 43:** Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 47:** Concreto - determinação do teor de ar em concretos frescos – Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, Paula Glória. **Uma contribuição para o design do conforto: avaliação da difusividade térmica de blocos cerâmicos e de concreto utilizando termografia infravermelha.** 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Belo Horizonte, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Contribuição ao projeto de edifícios em alvenaria estrutural pelo método das tensões admissíveis.** 1993. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 1993.

BEALL, Christine. **Masonry design and detailing: for architects, engineers, and contractors.** 4. ed. McGraw-Hill Companies, 1997.

BONITESE, Karina Venâncio. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço.** 2007. 253 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2007.

BRANDÃO, Carlos Antônio Leite. **Habitabilidade e bem-estar.** 2007. Disponível em: <<http://simoneborgesfilosofia.blogspot.com.br/2007/08/habitabilidade-e-bem-estar.html>>. Acesso em: 22 set. 2016. Blog: Simone Borges – Filosofia e Arquitetura.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION (BIA). **Technical Note 16: Fire resistance of brick masonry.** Reston: The Brick Industry Association, 2008.

BRITEZ, Carlos Amado. **Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas.** 2011. 252 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI). **BS 4422:** Fire. Vocabulary. London, 2005.

BUCHANAN, Andrew H. **Structural design for fire safety.** John Wiley & Sons, 2001.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE). Ilha Solteira, 2006. 53 p. Apostila.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), 2013.

CAMPOS, Paulo Eduardo Fonseca. Norma de desempenho de edificações: uma contribuição para o desenvolvimento do conceito de normativa exigencial aplicado à construção civil. **Revista Concreto e Construções**, v. 70, p 48-53, 2013.

CASONATO, C. A. **Ação de elevadas temperaturas em modelos de paredes de concreto e de alvenaria sob cargas de serviço**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2007.

CLARET, Antonio Maria. **Análise de risco de incêndio em sítios históricos**. Brasília: Programa Monumenta, 2006. 103 f. (Cadernos Técnicos 5).

CLOUD COMPARE. **Cloud Compare**, Version 2.6.1. [S.l.]: Cloud Compare, 2015. Programa de computador. Online.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). **EN 1996-1-1**: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP). **Instrução Técnica nº 02** - Conceitos Básicos de Segurança Contra Incêndio. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. São Paulo, 2004.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP) **Instrução Técnica nº 08** - Resistência ao fogo dos elementos de construção. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. São Paulo, 2011.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP) **Instrução Técnica nº 09** - Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. São Paulo, 2011.

CORREIA, J. R.; LIMA, J. S.; DE BRITO, J. Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 53, p. 187-199, 2014.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. 405 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio: métodos tabulares apresentados em normas internacionais. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2003.

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosaria; SILVA, Valdir Pignatta. A Importância da Compartimentação e suas Implicações no Dimensionamento das Estruturas de Concreto para

Situação de Incêndio. In: 47º Congresso Brasileiro de Concreto. **Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto**. Recife: IBRACON, 2005, 17 f.

FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Sistemas estruturais de lajes sem vigas: subsídios para o projeto e execução**. 1989. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 1989.

FRANSSEN, Jean-Marc. Failure temperature of a system comprising a restrained column submitted to fire. **Fire Safety Journal**, v. 34, n. 2, p. 191-207, 2000.

GAIRNS, Chris. **Development of a semi-automated system for structural deformation monitoring using a reflectorless total station**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, 2008.

GEORGANTAS, Athanasios; BRÉDIF, Mathieu; PIERROT-DESSEILLIGNY, Marc. An accuracy assessment of automated photogrammetric techniques for 3D modelling of complex interiors. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, p. 23-28, 2012.

GOMES, João Eduardo Veloso. **Avaliação do desempenho de edifícios segundo a norma NBR 15575 - adaptação ao caso de edifício reabilitado**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2015.

GRAZIANO, Francisco P. **O desafio da nova norma de desempenho**. TQS News, nº 37, set. 2013. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/tqs-news/consulta/entrevistas/1103-o-desafio-da-nova-norma-de-desempenho>>. Acesso em: 12 set. 2016.

GUO, Zhenhai; SHI, Xudong. **Experiment and calculation of reinforced concrete at elevated temperatures**. Elsevier, 2011.

HAHN, C. Experience of Fire Behaviour of Masonry and the Proposed CEN Standard for Assessment. In: Third International Masonry Conference. **Proceedings of the Third International Masonry Conference**. London: British Masonry Society, 1994.

INGHAM, Jeremy P. Forensic engineering of fire-damaged concrete structures. In: NEALE, Brian S (Ed). **Forensic engineering: From failure to understanding**. Thomas Telford Publishing, 2009. p. 393–402.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 834-1**: Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 1: General requirements. Genebra, 1999.

_____. **ISO 8421-1**: Fire protection -- Vocabulary -- Part 1: General terms and phenomena of fire. Genebra, 1987.

JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION (JSA). **JIS A 1304**: Method of fire resistance test for structural parts of buildings. Tokyo, Japanese Standards Association, 1994.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 89-102, 2014.

KIRCHHOF, Larissa Degliuomini. **Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas**. 2010. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

LEAL, Sandra Clara da Silva. **Avaliação do comportamento mecânico de madeira antiga de carvalho proveniente de incêndio**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, 2010.

LIMA, Rogerio Cattelan Antochaves de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005

MARCATTI, Jovelli; COELHO FILHO, Hamilton Silva; BERQUÓ FILHO, Jolan Eduardo. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Ed.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 169-179.

MARQUES, Camila de Souza. **Análise crítica da Norma de Desempenho, ABNT NBR 15575:2013 com ênfase em durabilidade e manutenibilidade**. 2015. 74 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MEYER, U. Extended Application Rules for the Fire Performance of Masonry Walls. In: Seventh International Masonry Conference. **Proceedings of the Seventh International Masonry Conference**. London: British Masonry Society, 2006.

MITIDIERI, Marcelo Luis. O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo - reação ao fogo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Ed.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 55-75.

NADJAI, A.; O’GARRA, M.; ALI, F. Finite element modelling of compartment masonry walls in fire. **Computers & structures**, v. 81, n. 18, p. 1923-1930, 2003.

NADJAI, Ali et al. Compartment masonry walls in fire situations. **Fire technology**, v. 42, n. 3, p. 211, 2006.

NETO, Manoel Altivo da Luz. **Condições de Segurança Contra Incêndio**. Ministério da Saúde – ANVISA. Brasília, 1995.

NGUYEN, Thê-Duong et al. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. **Fire safety journal**, v. 44, n. 4, p. 629-641, 2009.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri. Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis. **Fire safety journal**, v. 52, p. 55-64, 2012.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri. Behavior of hollow clay brick masonry walls during fire. Part 2: 3D finite element modeling and spalling assessment. **Fire Safety Journal**, v. 66, p. 35-45, 2014.

OLIVEIRA, Luiz Antonio Pereira de. **Estimativa da resistência ao fogo de paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico**. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, nº 5, 1998. 10 f.

ONO, Rosaria. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

PHAN, L.T. **NISTIR 5934: Fire performance of High-Strength Concrete: A Report of the State-of-the-Art**. Maryland: National Institute of Standards Technology, 1996.

PISSARRA, Jorge Fernando Lopes. **Desenvolvimento e implementação numérica de um modelo de análise de risco de incêndio urbano - MARIEE - Edifícios comerciais, bibliotecas e salas de espetáculo**. 2014. 277 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, 2014.

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar nº 420, de 03 de outubro de 1998**. Institui o Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000023022.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 11 set. 2016.

ROBERT, F.; COLINA, H.; DEBICKI, G. A durabilidade do concreto mediante ao fogo. In: OLLIVIER, J.-P.; VICHOT, A. (Eds.). **Durabilidade do concreto**. 1ª. ed. São Paulo: IBRACON, p.509–558, 2014.

RODRIGUES, JP Correia; NEVES, I. Cabrita; VALENTE, J. C. Experimental research on the critical temperature of compressed steel elements with restrained thermal elongation. **Fire Safety Journal**, v. 35, n. 2, p. 77-98, 2000.

ROSEMANN, Fernando. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2011.

SEITO, Alexandre Itiu, et. al. **A segurança contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SEITO, Alexandre Itiu. Fundamentos de fogo e incêndio. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (Ed.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 35-54.

SILVA, Valdir Pignatta. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo, 2004.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. São Paulo: Blücher, 2012.

SOUZA, Adriana Aparecida Ambrosio de. **Procedimento de ensaio para verificação da tendência em laboratório do lascamento do concreto em situação de incêndio**. 2010. 327 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2010.

STANDARDS AUSTRALIA (SA). **AS 3700: Masonry Structures**. 2011.

THE CONCRETE CENTRE. **Concrete and Fire – Using concrete to achieve safe, efficient buildings and structures**. Camberley, Surrey, 2004.

THINK BRICK AUSTRALIA. **Design of clay masonry walls for fire resistance**. Think Brick Australia, 2006.

TONELLI, Ramon Maffioletti. **Segurança contra incêndio em edificações históricas**. 2011. 11 f. Curso de Formação de Soldados. Centro de Ensino Bombeiro Militar, Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.









VALE, Adriane do. Tragédia da Boate Kiss faz dois anos e pouca coisa mudou na prevenção. **Revista Incêndio**, São Leopoldo, nº 115, fev. 2015.

VASCONCELOS, João C. Gaspar; VENTURA, João. Metodologia de caracterização e ordenação de medidas de segurança contra incêndio: Aplicação a um edifício multifamiliar de muito grande altura. In: II Congresso Internacional e VI Encontro Nacional de Riscos. **Anais do 2º Congresso Internacional e 6º Encontro Nacional de Riscos**. Coimbra, 2010.

ZAGO, Cassiano da Silva; MORENO JUNIOR, Armando Lopes; MARIN, Marcelo Cuadrado. Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré-moldado em situação de incêndio. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 1, p. 49-61, 2015.





APÊNDICE- RESULTADOS OBTIDOS

Resultados da amostra P1

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P1	30	0	25	0	38,2		-35	41
	60	0	25	0	71,2		-40	27
	90	0	25	0	99,5		-37	23
	120	0	25	0	147,3		-38	19
	150	0	25	0	188,9		-41	19
	180	0	25	0	218,4		-39	19
	210	0	25	0	234,2		-41	19
	240	0	25	0	247,5		-40	19









Fonte: Elaborada pelo autor

Resultados da amostra P2

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P2	30	0	25	10	37,6		-26	6
	60	0	25	10	71,3		-28	7
	90	0	25	10	83,6		-30	6
	102	0	25	10	96,6		-32	6



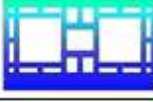





Fonte: Elaborada pelo autor

Resultados da amostra P3

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P3	30	15	25	0	41,3		-43	15
	60	15	25	0	61,3		-35	10
	90	15	25	0	67,7		-39	10
	120	15	25	0	74,6		-33	9
	150	15	25	0	82,1		-32	10
	180	15	25	0	103,5		-32	10
	210	15	25	0	162,1		-31	10
	240	15	25	0	205,1		-30	9

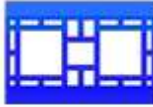
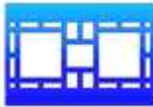


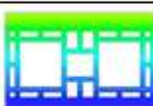



Fonte: Elaborada pelo autor

Resultados da amostra P4

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P4	30	15	25	10	32,3		-18	11
	60	15	25	10	66,1		-20	19
	90	15	25	10	83,2		-21	16
	120	15	25	10	101,8		-21	10
	150	15	25	10	185,3		-20	9
	180	15	25	10	255,4		-21	10
	210	15	25	10	307,2		-20	11
	240	15	25	10	344,7		-20	12

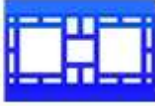
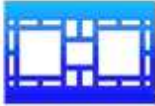



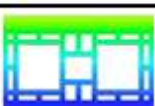
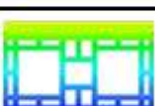

Fonte: Elaborada pelo autor

Resultados da amostra P5

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P5	30	25	25	0	34,6		-39	6
	60	25	25	0	61,6		-35	6
	90	25	25	0	71,2		-32	6
	120	25	25	0	78,8		-31	8
	150	25	25	0	81,6		-31	6
	180	25	25	0	85,0		-30	7
	210	25	25	0	95,4		-30	6
	240	25	25	0	132,9		-29	7

Fonte: Elaborada pelo autor

Resultados da amostra P6

Amostra	Tempo (min)	Revestimento interno (mm)	Revestimento externo (mm)	Carga (tf/m)	Temperatura face externa (°C)	Perfil de temperatura do bloco	Deslocamento face exposta (mm)	Deslocamento face não exposta (mm)
P6	30	25	25	10	31,0		-23	3
	60	25	25	10	55,4		-21	6
	90	25	25	10	70,8		-22	6
	120	25	25	10	76,0		-23	6
	150	25	25	10	79,5		-23	6
	180	25	25	10	84,5		-24	6
	210	25	25	10	119,1		-24	6
	240	25	25	10	168,7		-23	6

Fonte: Elaborada pelo autor