



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GEILSON MÁRCIO ALBUQUERQUE DE VASCONCELOS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS
SUBMETIDAS A INCÊNDIO**

Recife
2023

GEILSON MÁRCIO ALBUQUERQUE DE VASCONCELOS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS
SUBMETIDAS A INCÊNDIO**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. José Jéferson Rêgo Silva

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

- V331a Vasconcelos, Geilson Márcio Albuquerque de.
- Análise experimental de paredes de blocos cerâmicos submetidas a incêndio. /
Geilson Márcio Albuquerque de Vasconcelos. – 2023.
188 f.: il.
- Orientador: Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira.
Coorientador: Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2023.
Inclui referências.
1. Engenharia civil. 2. Bloco cerâmico. 3. Alvenaria de vedação.
4. Alvenaria estrutural. 5. Análise experimental. 6. Incêndio. I. Oliveira, Tiago
Ancelmo de Carvalho Pires de (orientador). II. Silva, José Jéferson do Rêgo
(coorientador). III. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2023-194

GEILSON MÁRCIO ALBUQUERQUE DE VASCONCELOS

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS
SUBMETIDAS A INCÊNDIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração Estruturas.

Aprovada em: 01/06/2023

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof. Dr. Leonardo Medeiros da Costa (examinador externo)
Universidade Estadual da Paraíba

participação por videoconferência
Prof. Dr. José Afonso Pereira Vitório (examinador externo)
Universidade de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva (examinador externo)
Universidade Católica de Pernambuco

participação por videoconferência
Dr. Cristiano Corrêa (examinador externo)
Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

A Deus e ao meu bom Jesus Cristo.

À minha esposa, Lena Betânia, e aos meus filhos, Laís Regina, Giovana Maria e Lucas Geórgio pelo apoio incondicional durante este período de douramento, pois sem esse suporte não teria condição física, psicológica e afetiva para concluir esta etapa de minha vida.

À minha mãe, Margarida Maria de Albuquerque, por toda dedicação e apoio durante minha vida pessoal e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela coragem, sabedoria e determinação dada a mim por superar tantos desafios durante o desenvolvimento deste trabalho. A Ele realmente toda minha gratidão.

A minha esposa, Lena Betânia, e aos meus três filhos, Laís Regina, Giovana Maria e Lucas Geórgio, pelo apoio e compressão durante todo esse tempo, pelo entendimento nas minhas ausências, deixando de vivenciarmos intensamente algumas etapas juntos. A minha esposa, ainda, pelo apoio incondicional desde o início deste projeto, sempre dando suporte para que eu pudesse desenvolver este trabalho. Amo muito e sou imensamente grato a esta família que Deus me proporcionou.

A todos os familiares que incentivaram e torceram durante todo o tempo, em especial à minha mãe, Margarida Albuquerque, e a minha tia, Maria Regina, que foram pessoas que acompanharam e ficaram na expectativa da conclusão desta tese.

Ao professor e orientador, Tiago Ancelmo, pelo incentivo, determinação e zelo na orientação deste trabalho; pela paciência e sabedoria que teve na condução deste estudo, não medindo esforços para estar junto nos vários momentos do desenvolvimento e conclusão desta tese.

Ao professor e coorientador, José Jeferson, pelas sugestões dados no início do doutoramento e pela incansável energia depositada na orientação deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela contribuição financeira no desenvolvimento desta tese e concessão da bolsa de pesquisa.

A todos os técnicos da UFPE que ajudaram, direta ou indiretamente, no desenvolvimento de parte do programa experimental, em especial aos técnicos Ezequiel (Queu), Cazuza e Naldinho, pelas várias contribuições nos ensaios.

Aos amigos, Leonardo Costa e Cristóvão Diniz, pelo apoio incondicional durante o desenvolvimento do programa experimental, bem como, a todos os amigos e colegas do programa de pós graduação da UFPE pelo convívio, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho

À banca examinadora pelas contribuições dadas, sempre no sentido de melhorar e enriquecer ainda mais esta tese.

Aos colegas de trabalho do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFAL/Campus Arapiraca pelo suporte necessário para poder desenvolver esta tese.

A Universidade Federal de Alagoas pelo apoio e afastamento dados durante parte desta tese para melhor desenvolvê-la.

À empresa Rhot Argamassas, à Indústria Cerâmica Araçá e à Indústria Cerâmica Buenos Aires, pelo fornecimento dos materiais para o desenvolvimento desta pesquisa.

À empresa Evoluction, pela execução de parte das alvenarias estruturais.

Gratidão a todos com quem pude conviver durante esta fase de minha vida.

Trabalhe como se tudo dependesse de ti e
confie como se tudo dependesse de Deus.

Santo Inácio de Loyola (1491-1556)

RESUMO

O sistema construtivo de alvenaria de bloco cerâmico é empregado na construção civil há bastante tempo. Necessário se faz, nesse sentido, compreender seu desempenho em temperatura ambiente e ao incêndio, visto que vários incêndios ocorreram nos últimos anos nas edificações de alvenaria. Desse modo, esta tese buscou contribuir com a avaliação de paredes de alvenaria não estrutural com blocos cerâmicos comuns e alvenaria estrutural com blocos cerâmicos estruturais, quando submetidas a incêndio. Foi desenvolvido uma série experimental com 18 paredes de blocos cerâmicos comuns e estruturais, analisadas à temperatura ambiente e sob incêndio. As paredes ensaiadas ao incêndio tiveram uma de suas faces aquecidas conforme a curva de incêndio padrão ISO 834 (2014) até atingirem a falha por isolamento térmico, estanqueidade ou resistência mecânica, verificando a evolução da temperatura ao longo da espessura das paredes, os deslocamentos horizontais e verticais, propagação das fissuras e capacidade de carga. As paredes com blocos cerâmicos estruturais ensaiadas em temperatura ambiente apresentaram valores de capacidade resistente abaixo dos valores normativos. Em situação de incêndio, as paredes com blocos cerâmicos comuns falharam por isolamento térmico, entretanto ao aplicar um nível de carga de 30 e 70% da sua carga última, passaram a falhar por resistência mecânica e, chegando a um TRF (Tempo de Resistência ao Fogo) menor que 30 minutos. Porém, as paredes com blocos cerâmicos estruturais em situação de incêndio chegaram a atingir um TRF de 150 minutos, falhando por isolamento térmico; ao aumentar o nível de carga aplicada, mudando o critério de falha para resistência mecânica.

Palavras-chave: bloco cerâmico; alvenaria de vedação; alvenaria estrutural; análise experimental; incêndio.

ABSTRACT

The ceramic block masonry construction system has been used in civil construction for a long time. In this sense, it is necessary to understand its performance at room temperature and against fire, since several fires have occurred in recent years in masonry buildings. Thus, this thesis sought to contribute to the evaluation of masonry walls made of common ceramic blocks non-structural and structural masonry with structural ceramic blocks, when subjected to fire. An experimental series was developed with 18 walls of common and structural ceramic blocks, analyzes at room temperature and under fire. The fire-tested walls had one of their faces heated according to the standard fire curve ISO 834 (2014) until they reached failure due to thermal insulation, tightness or mechanical resistance, analyzing the evolution of temperature along the thickness of the walls, the horizontal displacements and vertical, crack propagation and load capacity. Walls with structural ceramic blocks tested at room temperature showed resistance values below normative values. In a fire situation, the walls with common ceramic blocks failed due to thermal insulation, nevertheless, when applying a load level of 30 and 70% of their ultimate load, they started to fail due to mechanical resistance and, reaching a TRF (Time of Resistance to Fire) less than 30 minutes. However, walls with structural ceramic blocks in a fire situation reached a TRF of 150 minutes, failing caused by thermal insulation; by increasing the level of applied load, changing the failure criterion to mechanical strength.

Keywords: ceramic block; sealing masonry; structural masonry; experimental analysis; fire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Incêndio na RMR em 2013. a) ocorrência dos incêndios e b) incêndio em edificações	23
Figura 2 – Curva de evolução de incêndio de material combustível celulósico.....	30
Figura 3 – Curva temperatura <i>versus</i> temperatura da ISO 834 (2014) e ASTM E119 (2000).....	33
Figura 4 – Detalhes construtivos para compartimentação horizontal	36
Figura 5 – Posição dos termopares no interior dos blocos.....	44
Figura 6 – Evolução da temperatura x tempo no interior dos blocos.....	44
Figura 7 – Deslocamento horizontal na parede	45
Figura 8 – Deslocamento vertical na parede	46
Figura 9 – Geometria do bloco e indicação da localização dos termopares	47
Figura 10 – Evolução da temperatura x tempo nos termopares.....	49
Figura 11 – Deslocamento horizontal da parede	50
Figura 12 – Deslocamento horizontal variando coeficiente de dilatação térmica	51
Figura 13 – Geometria e localização dos termopares nos blocos	53
Figura 14 – Deslocamento horizontal das paredes: a) paredes sem cargas e b) paredes com cargas.....	54
Figura 15 – Deslocamento horizontal da parede 3 – resultado experimental e numérico.....	56
Figura 16 – Geometria e disposição dos termopares na parede e bloco	57
Figura 17 – Incremento de solicitação nas paredes ensaiadas.....	59
Figura 18 – Deformação das paredes ao longo do tempo	60
Figura 19 – Características da disposição dos alvéolos dos blocos.....	62
Figura 20 – Dimensões e posição dos medidores das paredes ensaiadas.....	65
Figura 21 – Comportamento da temperatura no ensaio de uma parede	66
Figura 22 – Deslocamento lateral de uma das paredes	66
Figura 23 – Fluxograma esquemático do programa experimental	72
Figura 24 – Forma e dimensões dos blocos cerâmicos, unidades em mm	73
Figura 25 – Fluxograma de ensaio sob altas temperaturas	86
Figura 26 – Montagem do experimento: ensaio de parede	90
Figura 27 – Instrumentação para ensaios das paredes	92
Figura 28 – Curva de evolução do AA dos blocos cerâmicos comuns.....	97

Figura 29 – Curva de evolução do AA dos blocos cerâmicos estruturais.....	98
Figura 30 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 600°C) ..	100
Figura 31 – Comportamento dos blocos cerâmicos sob altas temperaturas	102
Figura 32 – Temperaturas de ensaio de argamassa para 600°C	103
Figura 33 – Comportamento à tração na flexão das argamassas sob altas temperaturas	105
Figura 34 – Comportamento à compressão das argamassas sob altas temperaturas	106
Figura 35 – Carga <i>versus</i> deslocamentos verticais das paredes ensaiadas à temperatura ambiente	111
Figura 36 – Temperatura dos gases do forno	115
Figura 37 – Temperatura na face não exposta ao fogo da parede P09 _{BC, A1,RF,00...}	116
Figura 38 – Temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes de vedação.	117
Figura 39 – Temperatura média na face não exposta ao fogo das paredes de vedação.....	118
Figura 40 – Temperatura ao longo da argamassa de assentamento da P09 _{BC, A1,RF,00}	119
Figura 41 – Temperatura das argamassas de assentamento das paredes de vedação.....	120
Figura 42 – Deslocamento lateral da parede P10 _{BC,A1,RF,45}	122
Figura 43 – Deslocamentos laterais das paredes de vedação	122
Figura 44 – Deslocamentos laterais médios das paredes de vedação	124
Figura 45 – Perda de carga das paredes de vedação.....	125
Figura 46 – Temperatura na face não exposta da parede P17 _{BE2, A3,RF,70}	130
Figura 47 – Temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes estruturais ensaiadas.....	131
Figura 48 – Temperatura média na face não exposta ao fogo das paredes estruturais	132
Figura 49 – Temperatura na argamassa da P17 _{BE2, A3,RF,70}	134
Figura 50 – Temperatura na argamassa das paredes estruturais.....	135
Figura 51 – Deslocamentos da parede P17 _{BE2, A3,RF,70}	136
Figura 52 – Deslocamentos laterais das paredes estruturais.....	137
Figura 53 – Perda de carga das paredes estruturais	139
Figura 54 – Carga <i>versus</i> deslocamento do ensaio pós-incêndio.....	146

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Incêndio na Boate Kiss, Santa Maria-RS	21
Foto 2 – Incêndio na catedral Notre-Dame	21
Foto 3 – Incêndio da Torre Grenfell em Londres.....	21
Foto 4 – Forno menor para ensaio térmico dos blocos e das argamassas	75
Foto 5 – Forno maior para ensaios das paredes.....	75
Foto 6 – Prensas hidráulicas utilizadas	76
Foto 7 – Sistema do macaco hidráulico	77
Foto 8 – Termopares tipo K.....	78
Foto 9 – Medidores de deslocamentos	78
Foto 10 – Medidor de carga – célula de carga	79
Foto 11 – Câmera termográfica.....	79
Foto 12 – Equipamentos de aquisição de dados.....	80
Foto 13 – Caracterização geométrica dos blocos cerâmicos	81
Foto 14 – Blocos cerâmicos capeados.....	82
Foto 15 – Ensaio de resistência à compressão de blocos cerâmicos	83
Foto 16 – Corpos de prova de argamassa	84
Foto 17 – Equipamento de ensaio de resistência das argamassas	84
Foto 18 – Grupo de prismas para ensaio à compressão.....	85
Foto 19 – Esquema da disposição dos materiais no forno.....	87
Foto 20 – Paredes de bloco cerâmico executadas.....	89
Foto 21 – Visão geral do experimento ensaio de parede	90
Foto 22 – Ensaio na condição: a) RBrusco e b) RQuente.....	107
Foto 23 – Modo de falha da parede P01 _{BC, A1, AMB.} (a) vista frontal e (b) vista posterior	112
Foto 24 – Modo de falha das paredes estruturais	113
Foto 25 – Modo de falha das paredes P08 e P09: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior	126
Foto 26 – Modo de falha das paredes: P10 e P11: (a) e (b) vista frontal; (c) vista posterior de P10 e (d) vista frontal de P11	127
Foto 27 – Modo de falha das paredes P12 e P13: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior	128

Foto 28 – Imagens da FNEF das paredes: (a) P15 _{BE, A, RF, 140} , (b) P16 _{BE, A3, RF, 70} , (c) P17 _{BE2, A3, RF, 70} e (d) P18 _{BE2, A3, RF, 140}	133
Foto 29 – Modo de falha das paredes P14 e P16: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior	140
Foto 30 – Modo de falha das paredes P17 e P18: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior	141
Foto 31 – Modo de falha das paredes P15: (a) vista frontal e (b) vista posterior	143
Foto 32 – Modo de falha da parede P14: (a) vista frontal e (b) vista posterior	147
Foto 33 – Detalhe do modo de falha da parede P14	147
Foto 34 – Modo de falha da parede P16: (a) vista frontal e (b) vista posterior	148
Foto 35 – Modo de falha da parede P17: (a) vista frontal e (b) vista posterior	149
Foto 36 – Detalhes do modo de falha da parede P17: (a) vista frontal e (b) vista posterior	149
Foto 37 – Modo de falha da parede P18: (a) vista frontal e (b) vista posterior	150
Foto 38 – Detalhes do modo de falha da parede P18: (a) vista frontal e (b) vista posterior	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre os métodos de ensaio das normas ASTM E119, ISO 834 e NBR 5628.....	38
Quadro 2 – Resumo dos estudos feitos sobre alvenaria submetida ao fogo	68
Quadro 3 – Lista de publicações	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura dos gases versus tempo pela ASTM E119 (2000).	32
Tabela 2 – Exigência de TRRF, unidade em minutos	42
Tabela 3 – Traço de argamassa utilizada	74
Tabela 4 – Paredes de blocos cerâmicos ensaiadas	93
Tabela 5 – Características geométricas dos blocos cerâmicos que atenderam aos requisitos	95
Tabela 6 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos	96
Tabela 7 – Índice de absorção para os blocos cerâmicos	97
Tabela 8 – Resistência da argamassa de assentamento	98
Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas	99
Tabela 10 – Resistência média e característica à compressão dos blocos cerâmicos comuns sob altas temperaturas	101
Tabela 11 – Resistência média à tração na flexão e à compressão das argamassas sob altas temperaturas	104
Tabela 12 – Cargas máximas experimentais e previstas para as paredes em situação ambiente	109
Tabela 13 – Resistência das paredes de vedação em situação de incêndio	124
Tabela 14 – Resistência das paredes estruturais em situação de incêndio	138
Tabela 15 – Capacidade de carga das paredes ensaiadas pós incêndio	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Índice de Absorção de Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMT	Temperatura Ambiente
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BC	Bloco cerâmico Comum
BE	Bloco cerâmico Estrutural
BS	<i>British Standard</i>
CBPMESP	Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo
CP	Corpo de Prova
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
CV	Coeficiente de Variação
EUROCODE	<i>European Standards</i>
FR	Resistência ao Fogo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Instrução Técnica
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
MEF	Método de Elementos Finitos
MDF	Método de Diferenças Finitas
NBR	Norma Brasileira
RBRUSCO	Rompimento com Resfriamento Brusco
RLENTO	Rompimento com Resfriamento Lento
RMR	Região Metropolitana de Recife
RQUENTE	Rompimento à Quente
SBN	<i>Swedish Bulding Regulations</i>
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	PROBLEMÁTICA	20
1.2	JUSTIFICATIVA	24
1.3	OBJETIVOS	26
1.3.1	Objetivo Geral	26
1.3.2	Objetivos Específicos	26
1.4	ESTRUTURA DO TEXTO	27
2	ESTADO DA ARTE	29
2.1	PARÂMETROS DO INCÊNDIO	29
2.2	SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	33
2.3	PARÂMETROS NORMATIVOS	36
2.4	ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	43
2.4.1	Nahhas et al. (2007)	43
2.4.2	Nguyen et al. (2009)	47
2.4.3	Nguyen e Meftah (2012)	52
2.4.4	Nguyen e Meftah (2014)	55
2.4.5	Rigão, Lima e Soares (2015)	56
2.4.6	Hennemann et al. (2017)	59
2.4.7	Coelho (2017)	61
2.4.8	Bottin et al. (2018)	62
2.4.9	Bezerra Junior (2019)	63
2.4.10	Oliveira et al. (2021)	64
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	72
3.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	73
3.1.1	Bloco cerâmico	73
3.1.2	Argamassa de assentamento	74
3.1.3	Forno para ensaios térmicos	74
3.1.4	Equipamentos hidráulicos	76

3.1.5	Equipamentos de medição	77
3.2	MÉTODOS	80
3.2.1	Caracterização geométrica dos blocos	80
3.2.2	Caracterização física – Ensaio de absorção	81
3.2.3	Resistência dos blocos	82
3.2.4	Resistência das argamassas	83
3.2.5	Resistência dos primas	85
3.2.6	Blocos e argamassas sob altas temperaturas	85
3.2.7	Paredes de alvenaria	88
3.2.8	Configuração do ensaio	89
3.2.9	Instrumentação da parede	91
3.2.10	Amostras de paredes de alvenaria	93
4	CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS	95
4.1	BLOCOS CERÂMICOS	95
4.1.1	Características geométricas	95
4.1.2	Resistência à compressão	96
4.1.3	Índice de Absorção de Água (AA)	96
4.2	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	98
4.3	PRISMAS	99
4.4	BLOCO E ARGAMASSA SOB ALTAS TEMPERATURAS	100
4.4.1	Bloco cerâmico	100
4.4.2	Argamassa de assentamento	103
5	PAREDE DE ALVENARIA EM TEMPERATURA AMBIENTE	109
5.1	CAPACIDADE RESISTENTE DAS PAREDES	109
5.2	CARGA <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO VERTICAL	111
5.3	MODO DE RUPTURA	112
6	PAREDE DE ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	115
6.1	TEMPERATURA NO FORNO	115
6.2	PAREDE DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO	116

6.2.1	Temperatura nas paredes	116
6.2.2	Temperatura nas juntas de argamassa	119
6.2.3	Deslocamentos laterais	121
6.2.4	Capacidade resistente	124
6.2.5	Modo de falha	126
6.3	PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL	129
6.3.1	Temperatura nas paredes	129
6.3.2	Temperatura nas juntas de argamassa	134
6.3.3	Deslocamentos laterais	135
6.3.4	Capacidade resistente	138
6.3.5	Modo de falha	140
7	PAREDE DE ALVENARIA PÓS-INCÊNDIO	145
7.1	CAPACIDADE RESISTENTE DAS PAREDES PÓS-INCÊNDIO'	145
7.2	MODO DE FALHA DAS PAREDES	146
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	152
	REFERÊNCIAS	156
	APÊNDICE A – ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE	161
	APÊNDICE B – TEMPERATURA DE ENSAIOS DOS BLOCOS CERÂMICOS E ARGAMASSAS SOB ALTAS TEMPERATURAS	162
	APÊNDICE C – CARGA - DESLOCAMENTOS VERTICAIS MÉDIOS DAS PAREDES EM TEMPERATURA AMBIENTE	169
	APÊNDICE D – TEMPERATURAS E DESLOCAMENTOS LATERAIS DAS PAREDES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	172
	APÊNDICE E – CARGA - DESLOCAMENTOS VERTICAIS DAS PAREDES PÓS-INCÊNDIO	187

1 INTRODUÇÃO

O sistema construtivo de alvenaria de bloco cerâmico é um processo bastante empregado na indústria da construção civil no Brasil e no mundo ao longo dos séculos. Sua técnica evoluiu consideravelmente, tanto no que diz respeito às paredes de blocos cerâmicos comuns, ditas como paredes de vedação, como nas de blocos cerâmicos estruturais, paredes estruturais. Desde a década de 1980, esse sistema construtivo vem apresentando evoluções quando envolve estruturas em situação ambiente; entretanto, ainda são escassas as pesquisas quando essas estruturas são submetidas ao incêndio.

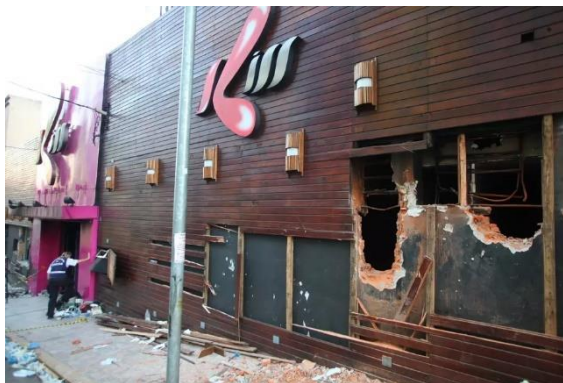
Nesse sentido, é importante registrar que a evolução e o crescimento do mercado da construção civil vêm exigindo materiais que atendam a várias necessidades como: elementos isolantes térmicos e acústicos, elementos mais leves, além de elementos que resistam às altas temperaturas.

Assim, esta tese busca compreender o desempenho, a importância e a necessidade do emprego de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos, quando estiverem submetidas à incidência de um incêndio, isto é, quando aplicadas simultaneamente a cargas mecânicas e sob altas temperaturas, situação corriqueira, quando ocorre o sinistro de um incêndio em tais sistemas construtivos.

1.1 PROBLEMÁTICA

Nas últimas décadas, vários incêndios vêm ocorrendo no Brasil e no mundo, causando mortes de seres humanos e danos ao patrimônio público e privado. Podem-se citar os casos mais recentes ocorridos no Brasil: o do Museu Nacional, no Rio de Janeiro-RJ, no dia 2/9/2018, provocando danos ao patrimônio público, cultural e científico; o incêndio no Centro de Treinamento do Flamengo, no Rio de Janeiro-RJ, no dia 8/2/2019, com 10 (dez) jovens mortos e 3 (três) feridos. Outro caso bastante emblemático e de grande comoção nacional foi o incidente ocorrido na Boate Kiss, Foto 1, na cidade Santa Maria/RS, no dia 27/1/2013, com 242 mortes e mais de 630 pessoas feridas.

Foto 1 – Incêndio na Boate Kiss, Santa Maria-RS



Fonte: Juliano Mendes/Futura Press (2013).

No mundo, pode-se mencionar o incêndio na Catedral de Notre-Dame, em Paris, ocorrido em 15/4/2019, causando danos ao patrimônio histórico e cultural (ver Foto 2).

Foto 2 – Incêndio na catedral Notre-Dame



Fonte: Francois Guillot (2019).

Outro incêndio extremamente grave e comovente aconteceu na Torre *Grenfell*, em Londres, como mostra a Foto 3, na madrugada de 13/6/2017, provocando a morte de 71 pessoas, tendo sido caracterizado como o maior incêndio do século naquele país.

Foto 3 – Incêndio da Torre Grenfell em Londres



Fonte: Gurbuz Binici/Getty *apud* Exame (2018).

Já em 16/12/2022, ocorreu um incêndio em prédio residencial de sete andares na cidade Lyon, na França, deixando 10 pessoas mortas; dentre essas, cinco eram crianças. São vários os casos de incêndios que ocorrem no Brasil e no mundo, de grande impacto e danos à vida humana e ao patrimônio, o que não é intenção neste trabalho descrevê-los, mas apenas relatar alguns deles para ressaltar a importância e a necessidade deste estudo.

Normalmente, logo após incêndios de grandes impactos à vida humana, social e/ou cultural, avaliam-se as legislações, os critérios de autorização e buscam-se mecanismos e materiais que evitem ou minimizem os danos provocados por tais sinistros. Tais compreensões e novas diretrizes tornam-se algo extremamente necessário e importante para a sociedade e os meios técnicos. Contudo, sabe-se que, dentre vários materiais existentes na construção civil, os sistemas construtivos de alvenarias com blocos cerâmicos têm conduzido possibilidades interessantes quanto a não propagação de incêndio, visto que apresentam características isolantes, de vedação, e resistências quando expostos a altas temperaturas.

Nesse aspecto, o sistema construtivo de alvenaria estrutural é uma das técnicas mais antigas empregadas nas construções, tendo sido utilizadas por parte das grandes civilizações, desde a idade média. Em virtude da descoberta do concreto e do aço na construção civil, aliada às várias pesquisas e desenvolvimento desses materiais, o uso da alvenaria foi reduzido. Esses novos materiais possibilitaram construções mais leves, mais esbeltas e mais compreendidas tecnicamente, conforme afirma Carvalho (2007).

Segundo Carvalho (2007), a alvenaria estrutural no Brasil voltou a ser utilizada a partir das décadas de 1960 e 1970, com a utilização dos blocos sílico-calcários e com o surgimento das indústrias de blocos estruturais de concreto e, posteriormente, cerâmicos.

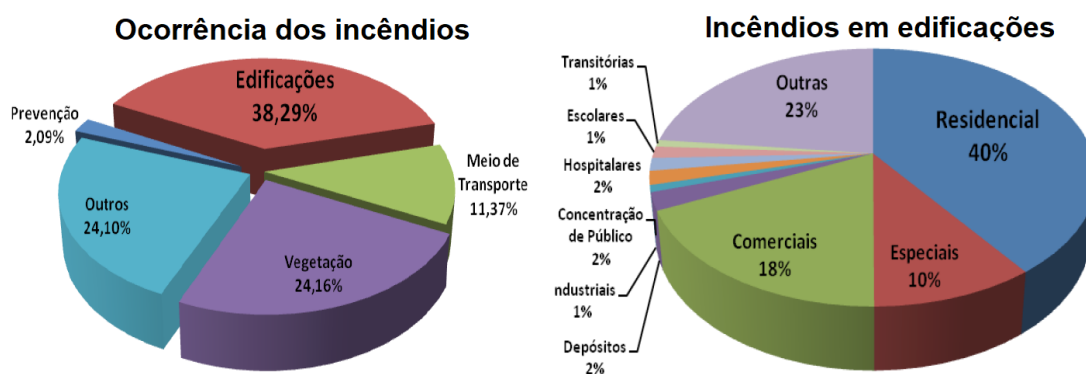
Porém, ao desenvolver o projeto ou o sistema de uma edificação, seja qual for a técnica escolhida, o profissional precisa avaliar inúmeros aspectos relativos ao seu desempenho, dentre eles: funcionalidade, economicidade, conforto, resistência estrutural, revestimentos e materiais de vedação empregados.

Nos tempos recentes, a preocupação do comportamento dos materiais não está ligada apenas ao comportamento deste em situação ambiente, mas também em situações excepcionais, como as submetidas às altas temperaturas. Vários autores, dentre eles Rigão (2012), mencionam que, ao definir o material para o fechamento,

que também pode ter função estrutural, o projetista/profissional, ao especificá-lo, deve levar em consideração qual o desempenho que ele possui no caso de um incêndio.

Desse modo, entender o comportamento dos materiais empregados na construção civil é extremamente importante, bem como compreender as causas e as ocorrências dos incêndios. Corrêa et al. (2015) realizaram um mapeamento de incêndio na Região Metropolitana do Recife (RMR)/PE, quando foram registrados mais de 3.900 incêndios em edificações durante o triênio 2011 a 2013. Eles perceberam que a maior parte dos incêndios daquela região ocorreu em edificações, dentre estas, a maioria residencial, conforme se observa na Figura 1a e Figura 1b para o ano de 2013.

Figura 1 – Incêndio na RMR em 2013. a) ocorrência dos incêndios e b) incêndio em edificações



Fonte: Corrêa et al. (2015).

Ainda, nesse mesmo estudo, Corrêa et al. (2015) constataram que 61,0% dos incêndios em residências, em 2011, ocorreram em estruturas ou elementos de alvenaria na RMR em elementos de alvenarias.

Segundo Corrêa et al. (2015), essa realidade não é tão diferente nas demais regiões metropolitanas das demais capitais do país. Nesse sentido, torna-se relevante compreender o comportamento das paredes de alvenaria frente às altas temperaturas e às consequências causadas à vida humana e/ou patrimonial que tais sinistros provocam.

De acordo com Leite, Moreno Júnior e Torres (2016), a resistência ao incêndio é a capacidade de um elemento estrutural manter-se exercendo as funções para as quais fora projetado durante um determinado tempo, em exposição ao incêndio. Desse modo, é desafiador, necessário e relevante proporcionar às estruturas suporte para essa nova solicitação ou, desenvolver materiais de revestimentos que promovam

uma proteção suficiente, a fim de que os elementos não tenham uma perda expressiva de sua resistência e venham a comprometer a função para a qual foram definidos.

Ressalta-se que, apesar de poucos estudos serem desenvolvidos nesse sentido, uma contribuição significativa e relevante é compreender, também, o comportamento das alvenarias de blocos cerâmicos, quando estiverem, submetidas as altas temperaturas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Desenvolver materiais que apresentem um melhor comportamento quanto às várias solicitações e compreender atualmente os empregados na engenharia é uma busca intensa de inúmeros pesquisadores dos variados centros de pesquisas, bem como de empresas tanto do ramo da engenharia quanto de outras áreas do conhecimento. Nesse enfoque, vários são os materiais que podem ser adicionados aos produtos comercializados e produzidos na indústria da construção civil. Porém, com vários casos recentes de incêndios no Brasil e no mundo, compreender ainda mais o comportamento das estruturas existentes frente ao incêndio torna-se imprescindível, pois é necessário conhecer a capacidade resistente dos elementos, quando estes estiverem submetidos às altas temperaturas, e buscar soluções que possam melhorar seu comportamento e/ou minimizar os danos causados pelo sinistro acometido.

Importa afirmar que o sistema construtivo de alvenaria é um processo bastante empregado na indústria da construção civil brasileira, principalmente em obras de interesse social. Por exemplo, de acordo com Gusmão et al. (2009), estima-se que cerca de 250.000 pessoas da RMR habitam esse tipo de edificação.

Nesse aspecto, segundo Silva, Corrêa e Oliveira (2015), a região metropolitana do Recife possui um número bastante elevado de edificações construídas em alvenaria de vedação como função portante. Esse tipo de edificação fora executado no Brasil em uma época em que não havia normatização sobre alvenaria estrutural e, desse modo, as edificações foram construídas sobre blocos cerâmicos comuns, assumindo a função portante. Entretanto, não foram identificadas, até o presente, pesquisas que avaliassem o comportamento das alvenarias de vedação em situação de incêndio e sob cargas, simultaneamente. Apesar de que ter-se conhecimento que este tipo de bloco cerâmico deve ser projetado e empregado para não suportar carga

e, sim apenas o seu peso próprio, mesmo não sendo a realidade da RMR, conforme mencionado acima na pesquisa. Alguns pesquisadores, como Coelho (2017), Borges (2018), Bezerra Junior (2019), avaliaram seu desempenho térmico como elemento de vedação/divisória.

Um ponto importante de ser destacado é que não existem ainda normas brasileiras de projeto de alvenaria em situação de incêndio. Constatam algumas normas que tratam do elemento estrutural como a NBR 14432 (ABNT, 2001), que recomenda algumas exigências de resistência ao incêndio de elementos construtivos de edificações, algumas diretrizes dos Corpos de Bombeiro Militar do Brasil, como o caso da Instrução Técnica nº 08/2019, Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP) (2019), que estabelece condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram as edificações, quanto aos Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF). Assim, Leite, Moreno Júnior e Torres (2016) reforçam em seu estudo que o Brasil carece de uma legislação sobre alvenaria estrutural em situação de incêndio. Por conta disso, o CBPMESP (2019) recomenda que se faça esse dimensionamento de acordo com as recomendações do Eurocode 6 (2005) ou norma internacional análoga.

Outro fator que influencia de forma significativa tais elementos são as vinculações das extremidades às quais esses elementos estão submetidos. Isso se dá, pois, tanto em uma situação de um ensaio experimental quanto em uma simulação computacional, os elementos apresentam comportamentos diferentes em virtude das restrições de deslocamentos e rotação impostas a eles. Segundo Rodrigues, Correia e Pires (2015), as restrições ao alongamento térmico de pilares, provocado pela estrutura envolvente do edifício, exercem um papel fundamental em sua estabilidade, pois induz um aumento nas suas tensões internas, nos esforços normais e nos momentos fletores, bem como uma mudança na sua forma deformada. Observado também por Carvalho, Leal e Munaiar Neto (2021) em suas análises para paredes de alvenaria estrutural que as condições de vinculação alteraram os deslocamentos e tempo de resistência ao fogo.

Vale registrar que existem poucos estudos realizados até o momento que tratam de alvenarias carregadas em situação de incêndio, e um número ainda menor quando se levam em consideração restrições nos apoios desses elementos. Casonato (2007), Nguyen e Meftah (2012) e Oliveira et al. (2021) observaram, que poucos trabalhos foram desenvolvidos no que diz respeito à aplicação de carregamentos

concomitantes ao decorrer do ensaio térmico. Decorrido alguns anos, ainda há poucos trabalhos que tratam de paredes carregadas submetidas às altas temperaturas.

Face ao exposto, constatou-se que existem poucos estudos na avaliação do comportamento de alvenaria estrutural e de vedação com blocos cerâmicos comuns, quando submetida a incêndio, e muito restrito ainda quando se trata de condições de vinculações ao qual a parede está submetida. Ressalta-se, desse modo, o que acontece na prática é que as paredes estão limitadas em suas extremidades por meio da estrutura circundante, ocorrendo, portanto, restrições em seus extremos, proporcionando uma configuração de deslocamento e de comportamento diferentes das considerações feitas em alguns ensaios.

Nesse intento, foram realizados ensaios com paredes de alvenaria de bloco cerâmico, variando o nível de carregamento aplicado, resistência da argamassa de assentamento e tipo de bloco cerâmico. No estudo, foram avaliados os deslocamentos verticais e laterais, a evolução da temperatura da face aquecida à face não exposta ao incêndio dos blocos cerâmicos e da argamassa de assentamento, nível de carregamento e o critério de falha das paredes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento de paredes de alvenaria de bloco cerâmicos submetidas as altas temperaturas, variando o tipo de bloco cerâmico e nível de carga aplicada.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar os blocos cerâmicos comuns e blocos cerâmicos estruturais por intermédio dos vários ensaios prescritos nas normas nacionais, verificando-se os parâmetros geométricos, físicos e mecânicos;
- b) Caracterizar as argamassas de assentamentos por meio dos ensaios de tração e de compressão em situação ambiente;
- c) Avaliar as resistências à compressão dos blocos cerâmicos, e à tração e à compressão das argamassas de assentamentos, submetidos às

temperaturas de 200°C, 400°C, 600°C e 800°C em três condições de rompimento – a quente, resfriamento lento e resfriamento brusco;

- d) Analisar o comportamento das paredes de blocos cerâmicos comuns e de blocos cerâmicos estruturais, quando submetidas a incêndio;
- e) Avaliar a evolução da temperatura ao longo da espessura dos blocos cerâmicos e da junta de argamassa de assentamento da face exposta à face não exposta ao incêndio;
- f) Caracterizar o critério de falha da parede, seja ele de perda por isolamento térmico, por estanqueidade ou por estabilidade estrutural;
- g) Avaliar a capacidade de carga das paredes pós-incêndio.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

O primeiro capítulo aborda uma breve introdução sobre o tema, trazendo a problemática sobre a importância do estudo das estruturas em situação de incêndio, mostrando a justificativa e necessidade de desenvolver esta pesquisa. Nesse capítulo, são indicados os objetivos geral e específicos e a estruturação da tese.

No segundo capítulo, é feita uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos encontrados e desenvolvidos na literatura, mostrando as particularidades e os resultados relevantes realizados até o momento.

O terceiro capítulo mostra os principais equipamentos e instrumentos empregados no desenvolvimento desta pesquisa, detalhando o programa experimental e as várias etapas dos ensaios realizados para atingir os objetivos deste trabalho.

O quarto capítulo apresenta os resultados das propriedades e resistências dos materiais empregados na pesquisa, bloco cerâmico e argamassa, realizado em temperatura ambiente e sob altas temperaturas.

O quinto capítulo apresenta os resultados alcançados dos ensaios das paredes de vedação e estrutural realizados em temperatura ambiente.

O sexto capítulo apresenta os resultados alcançados através dos ensaios das paredes em situação de incêndio e suas respectivas discussões para compreensão dos objetivos propostos.

O sétimo capítulo apresenta os resultados dos ensaios realizados das paredes estruturais pós-incêndio.

E, por fim, o oitavo capítulo apresenta as conclusões observadas nos estudos experimentais, bem como sugestões para novas pesquisas.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, serão abordados tópicos considerados relevantes para melhor compreensão e evolução das pesquisas realizadas, identificadas como importantes, a respeito de alvenaria ao incêndio.

2.1 PARÂMETROS DO INCÊNDIO

Existe um entendimento errôneo entre fogo e incêndio para algumas pessoas que não são da área do conhecimento, tendo o entendimento de que ambos compreendem a mesma coisa; porém, os termos têm definição e comportamento diferentes.

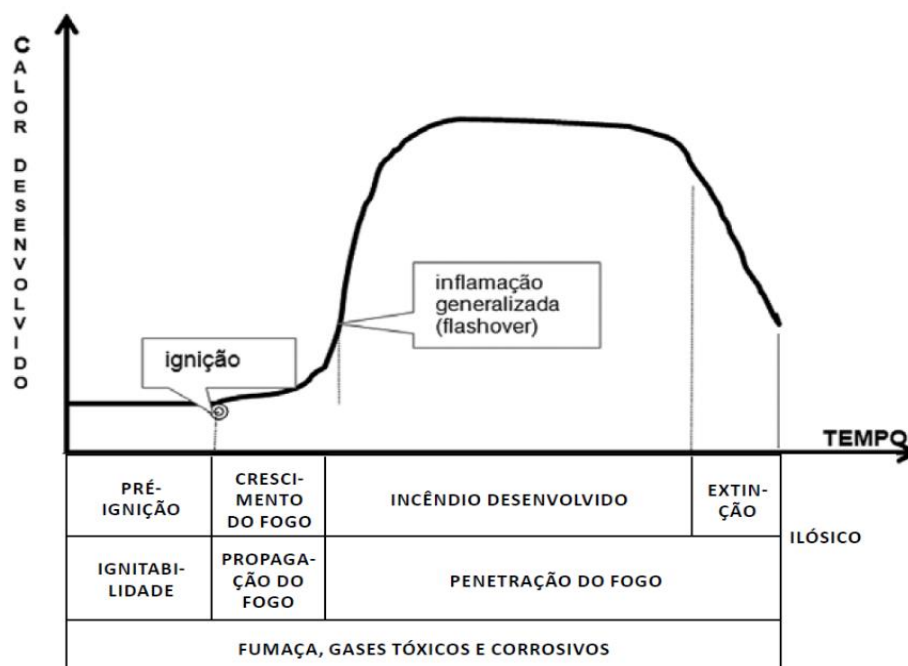
A definição de fogo é o desenvolvimento simultâneo de calor e luz, que é o produto da combustão de materiais inflamáveis. Segundo Brentano (2004), o fogo “é uma reação química, denominada combustão, que é uma oxidação rápida entre o material combustível, sólido, líquido ou gasoso, e o oxigênio do ar, provocada por uma fonte de calor que gera luz e calor”. A NBR 13860 (ABNT, 1997) define o fogo como “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”.

Já o incêndio é o fogo em grandes proporções, danificando o que não estava destinado a ser queimado. De acordo com Brentano (2004), o incêndio pode ser definido como a propagação rápida e violenta do fogo, fugindo ao controle do ser humano, provocando danos materiais e humanos, para o qual se deve utilizar mecanismos específicos para extinção. A NBR 13860 (ABNT, 1997) define de modo bem simples que o incêndio é o fogo fora de controle.

O incêndio depende de vários fatores para se desenvolver como: a forma e as dimensões do local; a disposição, a quantidade e as características de queima dos materiais combustíveis; as condições climáticas (temperatura e umidade relativa); o local de início do incêndio no ambiente; o partido arquitetônico dos ambientes; as medidas de prevenção e de proteção contra incêndio instaladas na edificação (SEITO et al., 2008).

Em sua maioria, um incêndio inicia-se pequeno, podendo se desenvolver a depender da quantidade de elementos contidos no triângulo do fogo. Normalmente, é possível identificar três fases distintas em um incêndio com materiais combustíveis celulósicos, peculiar de incêndios residenciais, conforme Figura 2.

Figura 2 – Curva de evolução de incêndio de material combustível celulósico



Fonte: Seito et al. (2008).

A primeira fase é o incêndio iniciante, classificado com pré-ignição, caracterizado como um crescimento lento; em geral, tem duração entre cinco e vinte minutos. A segunda fase pode ser observada após a ignição, caracterizada pelas chamas que começam a crescer e a aquecer o ambiente, tendo um aumento brusco e rápido da temperatura, consumindo todo o combustível do ambiente, conhecido como *flashover* ou instante de inflamação generalizada. A terceira e última fase é caracterizada pela diminuição gradual da temperatura do ambiente e das chamas, por esgotamento do material combustível ou a quebra do ciclo do fogo (SEITO et al., 2008).

Torna-se bastante difícil, ou praticamente impossível, determinar uma curva temperatura *versus* tempo de um incêndio real que represente o comportamento desse evento para utilizá-la como referência em outros episódios, visto que vários são os fatores que interferem em seu comportamento. Segundo Silva (2012), as curvas temperatura *versus* tempo de um incêndio natural compartimentado têm vários parâmetros que influenciam seu comportamento como: carga de incêndio, grau de ventilação, características físico-térmicas dos materiais, componentes de vedação, entre outros. Desse modo, cada ambiente de uma edificação tem um comportamento diferente devendo, assim, ser projetada uma curva diferente para cada

compartimento, algo que se tornaria inviável de ser executado, por existirem tantas variáveis envolvidas.

Em virtude de tais dificuldades e variações, curvas reais de um incêndio podem ser substituídas por curvas teóricas que possam representar de forma aproximada o comportamento da temperatura dos gases ao longo do tempo de um determinado incêndio, partindo da fase do *flashover*, característico do ramo ascendente da curva de um incêndio real (ALVA, 2000).

A curva teórica aqui mencionada pode ser definida como uma curva padrão, tendo como característica principal a representação apenas do ramo ascendente, admitindo-se, com isso, que a temperatura dos gases seja sempre crescente com o tempo. Segundo Seito et al. (2008), a curva padronizada mais difundida internacionalmente é a recomendada pela ISO 834 (2014); entretanto, pode-se citar outras como a ASTM E119 (2000), a norma sueca SBN 67, e a norma britânica BS 476 (1987). Enfatiza-se a esse respeito que as normas brasileiras que tratam dos parâmetros relacionados a incêndio adotaram como referência a norma ISO 834 (2014).

Acerca da questão, segundo Babrauskas (2009), a primeira edição normativa que tratou de paredes submetidas ao incêndio foi a ASTM E119, em 1918, e, na edição de 1926, incluiu-se a construção de pavimentos. Registra-se que a base para a elaboração normativa se deu por meio da pesquisa de Prince (1915 apud Babrauskas, 2009) a partir dos ensaios sobre a inflamabilidade da madeira não tratada e da madeira tratada com compostos retardadores de incêndio. De acordo com Babrauskas (2009), esses parâmetros tiveram muito pouca mudança para o que é empregado hoje pela norma ASTM E119 (2000), cuja ISO 834 (2014) tem um comportamento bastante similar a essa norma.

Nesse sentido, a curva padrão de temperatura *versus* tempo mais empregada no meio técnico é a da ISO 834 (2014), que está representada pela Equação 1.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

Em que:

T é a temperatura dos gases (°C);

t é o tempo de ensaio (min).

A NBR 16965 (ABNT, 2021) fez uma adaptação da Equação 1 da ISO 834 (2014) para a representação da temperatura dos gases, conforme Equação 2.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (2)$$

Em que:

T é a temperatura dos gases no instante t (°C);

T₀ é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, 10° ≤ T₀ ≤ 40° (°C);

t é o tempo a contar do início do ensaio (min).

Já a ASTM E119 (2000) – “*Standard test methods for fire tests of building construction and materials*” utiliza uma curva padrão temperatura *versus* tempo, de acordo com o disposto na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1 – Temperatura dos gases *versus* tempo pela ASTM E119 (2000).

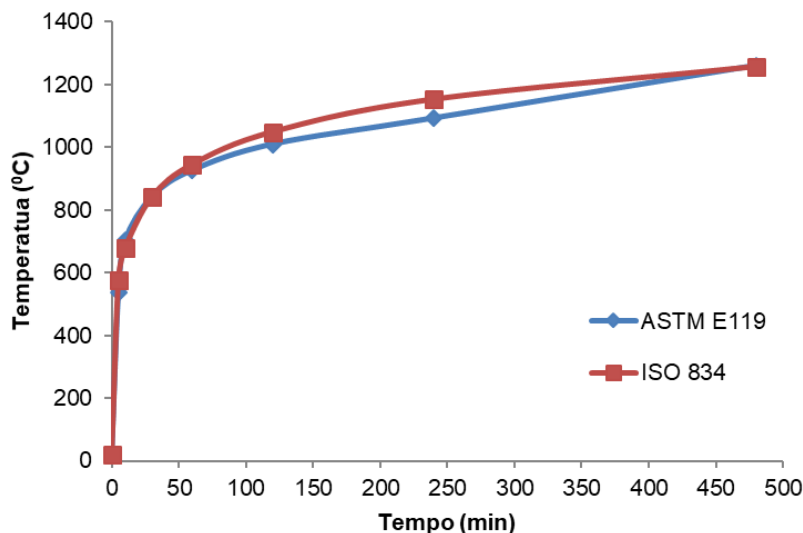
Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20
5	538
10	704
30	843
60	927
120	1010
240	1093
480	1260

Fonte: O Autor (2023)

* Nota: Dados obtidos de ASTM E119 (2000).

A Figura 3 mostra a comparação da evolução da temperatura dos gases *versus* tempo das curvas padronizadas ISO 834 (2014) e ASTM E119 (2000), na qual é verificado que as duas curvas expressam valores análogos ao longo do tempo.

Figura 3 – Curva temperatura *versus* temperatura da ISO 834 (2014) e ASTM E119 (2000)



Fonte: O Autor (2023).

*Nota: Dados obtidos de ISO 834 (2014) e ASTM E119.

Sobre a temática, ainda, de acordo com Harmathy et al. (1987), para os ensaios de curta duração, a Curva Padrão ISO 834 (2014) é levemente mais severa que o ensaio da ASTM E119; entretanto, para ensaios mais longos, essa diferença é irrelevante. Percebe-se, pois, uma diferença mais expressiva entre os tempos de 150 a 350 minutos de ensaio.

Desse modo, a curva utilizada neste estudo para fazer a simulação de um incêndio padrão e aquecer as paredes em uma de suas faces foi a curva padrão ISO 834 (2014), equivalente a NBR 16965 (ABNT, 2021), tendo ajuste apenas na temperatura ambiente no início do ensaio entre suas expressões. Tal emprego foi em virtude de ser a curva mais empregada nos ensaios experimentais nos vários centros de pesquisa, bem como, representa de forma satisfatória o comportamento do incêndio.

2.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A Segurança Contra Incêndios (SCI) nas edificações e nos demais ambientes objetiva minimizar o risco à vida, reduzir os danos ao patrimônio público e privado e proporcionar menos transtornos aos usuários. Compreende-se como risco à vida a grande exposição à fumaça ou ao calor para os usuários do ambiente, bem como o desabamento da estrutura ou parte dela sobre seus ocupantes ou a equipe de combate ao incêndio (SILVA, 2012).

Como o crescimento populacional no Brasil e no mundo nas últimas quatro décadas tem se intensificado, e as pessoas residem cada vez mais em centros urbanos, necessita-se que esses ambientes sejam mais seguros, e, portanto, deve-se considerar também a SCI dessas edificações. Salienta-se, acerca desse aspecto, segundo Ono (2007), que, apesar de sua importância, a área de SCI em edificações no Brasil só teve um maior impulso, especificamente no estado de São Paulo, após a ocorrência de dois grandes incêndios: a do Edifício Andraus, ocorrido em 1972, e do Edifício Joelma, ocorrido em 1974, vitimando um total de 195 pessoas, sendo 91,7% dessas mortes provenientes do incidente no Edifício Joelma.

De acordo com Buchanan (2002 apud Rosemann, 2011), a SCI tem por finalidade limitar (ou minimizar) a níveis aceitáveis, a probabilidade de mortes, de ferimentos de pessoas e de perdas ou danos materiais ao patrimônio em eventual sinistro de incêndio. Assim busca-se determinar/implantar medidas de segurança que proporcionem uma boa efetividade no combate ao incêndio. Nesse sentido, tem-se um conjunto de sistemas ativos e passivos que contribuem para atender a essas medidas.

Sobre esses sistemas, a NBR 14432 (ABNT, 2001) dispõe que a proteção ativa é definida como sistema de proteção contra incêndio, a qual “é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio” (p. 3). Já a proteção passiva, segundo a mesma norma, “é definida como um conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate (ABNT, 2001, p. 3)”.

Pode-se citar como sistema de proteção ativa os extintores, sistemas de chuveiros automáticos, sistemas automáticos de detectores de calor e fumaça, alarmes de incêndio, equipes de combate a incêndios, dentre outros. Como sistemas de proteção passiva, tem-se: demarcação de rotas de fuga, verificação da segurança das estruturas em situação de incêndio, materiais que minimizem a propagação das chamas, compartimentação vertical e horizontal, dentre outros.

Constata-se, portanto, que os sistemas de proteção ativa e passiva são complementares em uma edificação. Assim, a proteção passiva, de modo geral,

compartimenta os ambientes evitando que o incêndio não se propague pela edificação, e a proteção ativa tem como objetivo principal extinguir o incêndio ainda na sua origem; e, juntas, preservam o maior bem que é a vida humana, e, posteriormente, o patrimônio.

Para um melhor entendimento da temática, tem-se: um dos principais mecanismos de segurança contra incêndio é a compartimentação. Segundo Silva (2012), a compartimentação busca evitar que o incêndio possa se propagar para os demais compartimentos da habitação.

Segundo Marcatti, Coelho e Berquó Filho (2008), a compartimentação de uma edificação consiste na interposição de elementos de construção resistentes ao fogo, como paredes, lajes, portas, dampers corta-fogo, dentre outros, com o objetivo de impedir ou reduzir a propagação do incêndio, do calor e dos gases entre ambientes e pavimentos adjacentes.

Já a NBR 14432 (ABNT, 2001), a esse respeito, define como compartimentação uma medida de “proteção passiva” por meio de elementos fixos ou móveis, designados a evitarem a propagação do fogo, do calor e dos gases dentro e fora do edifício, no mesmo pavimento ou para outros pavimentos ou para edifícios vizinhos.

Segundo Ono, Venezia e Valentin (2008), a compartimentação horizontal consiste em dividir a edificação em várias células no plano horizontal, capazes de suportar o incêndio, impedindo a propagação do incêndio para ambientes adjacentes no mesmo pavimento. Nesse sentido, as paredes ou os elementos de compartimentação devem ser resistentes o suficiente para suportar a carga de incêndio durante tempo suficiente para a evacuação das pessoas e para a ação da brigada de combate ao incêndio.

Ainda de acordo com Ono, Venezia e Valentin (2008), a compartimentação vertical consiste em dividir a edificação em pavimentos capazes de suportar o incêndio, impedindo a sua propagação para pavimentos verticais.

Esclarece-se que os elementos construtivos que são utilizados para servir na compartimentação horizontal e vertical denominam-se de elementos de compartimentação e devem possuir a capacidade de isolamento térmico, de estanqueidade e de manter a integridade estrutural.

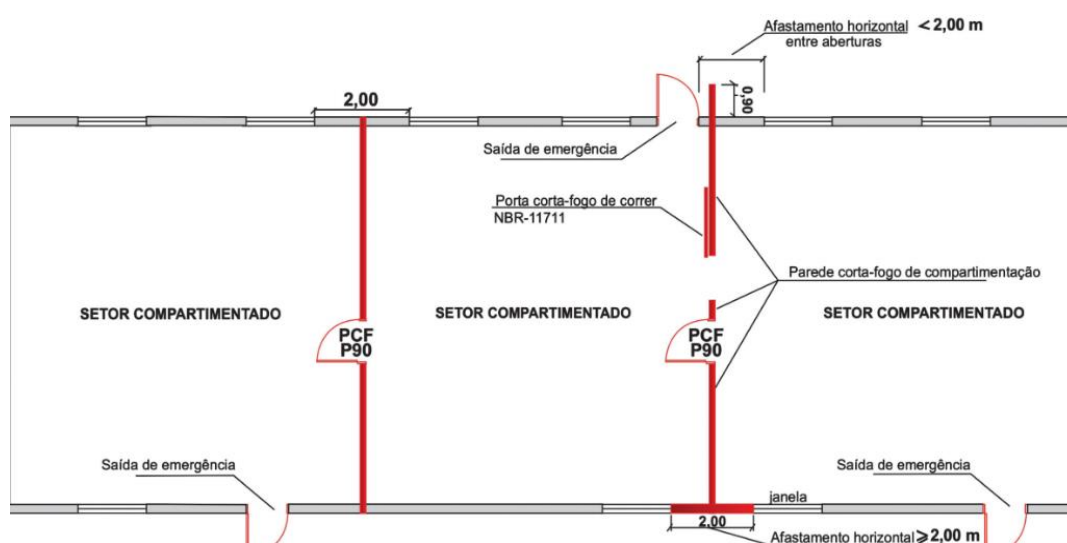
Dispõe a NBR 14432 (ABNT, 2001) que isolamento térmico é a capacidade que um elemento construtivo tem de impedir a ocorrência de temperatura maior que a temperatura ambiente, na face não exposta ao incêndio, para que ela não seja maior

que 140°C, em média, nos pontos medidos ou maior que 180°C em qualquer um dos pontos instrumentados.

Essa mesma norma estabelece que estanqueidade é a capacidade de um elemento construtivo impedir a passagem de chamas ou gases quentes, pelas aberturas das fissuras, capazes de ignizar um chumaço de algodão.

Com vistas a um melhor esclarecimento desse aspecto, a Instrução Técnica nº 08 – IT (2018) do Corpo de Bombeiros de São Paulo, por meio da Figura 4, mostra um exemplo de compartimento horizontal de um ambiente.

Figura 4 – Detalhes construtivos para compartimentação horizontal



Fonte: IT 09 (2019).

De acordo com Ono (2007), os elementos de compartimentação devem apresentar dimensões mínimas necessárias para garantir o isolamento térmico e a estanqueidade; as paredes de alvenaria construídas com blocos cerâmicos podem ser utilizadas como paredes corta-fogo, desde que consigam desempenhar de forma satisfatória a função de compartimentação horizontal das edificações.

2.3 PARÂMETROS NORMATIVOS

Afirmam Carlo e Silva (2008) que as normas em Segurança Contra Incêndio buscam basicamente proteger vidas e evitar perdas patrimoniais em virtude da ocorrência de incêndios, além de mostrar, indiretamente, o estágio de desenvolvimento científico e tecnológico de uma determinada área do conhecimento.

Nesse âmbito, o Corpo de Bombeiros dos estados tem a prerrogativa de elaborar diretrizes e orientações técnicas a respeito do tema de combate a incêndio.

Nesse intento, o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP) foi a primeira unidade a dar as primeiras orientações a respeito desse tema, logo após os maiores incêndios ocorridos no estado de São Paulo, que foram do Edifício Joelma e do Edifício Andraus. Uma das Instruções Técnicas mais utilizadas e citadas nas referências é IT 08, atualizada recentemente em 2019, que “estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram as edificações”. Outras orientações foram publicadas pelo mesmo órgão para complementar e introduzir novos parâmetros nos estudos da área relacionada ao tema.

Embora vários procedimentos dos métodos empregados na presente pesquisa utilizem os parâmetros estabelecidos pelas normas nacionais, faz-se necessário registrar que algumas normas internacionais, bastante significativas, também deram embasamento expressivos para as normatizações nacionais; as mais empregadas foram: ISO 834 - Fire-resistance tests — Elements of building construction; ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.

Nessa perspectiva, as paredes de alvenaria devem atender aos critérios frente às altas temperaturas, segundo a NBR 14432 (ABNT, 2001) e a NBR 10636 (ABNT, 2022) quanto ao isolamento térmico, à estanqueidade e à estabilidade. Esses ensaios são prescritos pela NBR 5628 (ABNT, 2022), que indica o método de ensaio destinado a determinar a resistência ao fogo de componentes construtivos estruturais representados pelo tempo em que os elementos, submetidos ao programa da curva padrão de incêndio, satisfaçam as exigências normativas. Tal norma demonstra grande similaridade com as normas estrangeiras ASTM E119 (2000) e ISO 834 (2014).

O Quadro 1 apresenta um resumo das principais exigências dessas normas. Verifica-se uma grande semelhança entre as recomendações das normas apresentadas, principalmente entre a ISO 834 (2014) e a NBR 5628 (ABNT, 2022), pois a primeira serviu de texto-base para a segunda.

Quadro 1 – Comparação entre os métodos de ensaio das normas ASTM E119, ISO 834 e NBR 5628

Tópico	ASTM E119	ISO 834	NBR 5628
Dimensões mínimas da amostra	Área de 9 m ² e nenhuma dimensão inferior a 2,7 m	3,0 x 3,0 m	2,5 x 2,5 m
Apoio e vinculação	Simular as características reais	Simular as condições de serviço	Idênticos às condições reais de uso
Carregamento	Aplicar o carregamento máximo permitido pelos critérios de projeto	Reproduzir condições de suporte de projeto	Reproduzir esforços de mesma natureza e ordem de grandeza das ações normais de serviço
Pressão interna do forno	Não estabelece	2,0 mmca	1,5 mmca
Curva de aquecimento	Série de pontos “tempo-temperatura”, conforme Tabela 1	Equação (01)	Equação (02)
Teste de jato de água	Exige	não exige	não exige
Medição de temperatura no interno no forno	9 termopares afastados a 152 mm da face	1 “termômetro de placas” para cada 1,5 m ² de amostra, afastado a 100 mm da face	1 termopar com diâmetro entre 0,75 e 1,50 mm para cada 1,5 m ² de amostra, afastado a 100 mm da face
Medição de temperatura na face não exposta ao fogo	Mínimo de 9 termopares com diâmetro até 1,02 mm, cobertos por material isolante	Mínimo de 5 termopares com diâmetro até 0,5 mm, unidos em disco de cobre com diâmetro 12 mm e espessura 0,2 mm, cobertos por material isolante	Mínimo de 5 termopares com diâmetro até 0,5 mm, unidos em disco de cobre com diâmetro 12 mm e espessura 0,2 mm, cobertos por material isolante, sendo um no centro e os demais ao centro das áreas resultantes da divisão das 4 partes iguais.

Fonte: Adaptado de Rosemann (2011).

Quadro 1 (cont.) – Comparação entre os métodos de ensaio das normas ASTM E119, ISO 834 e NBR 5628

Tópico	ASTM E119	ISO 834	NBR 5628
Requisito de isolamento	Aumento da temperatura da face não exposta ao incêndio de 250 °F (139 °C) na média dos pontos	Aumento da temperatura da face não exposta ao incêndio de 140 °C na média, ou de 180 °C em um único ponto	Aumento da temperatura da face não exposta ao incêndio de 140 °C na média, ou de 180 °C em um único ponto
Requisito de estanqueidade	Inflamação de um chumaço de algodão colocado sobre as fissuras	Inflamação de um chumaço de algodão colocado sobre as fissuras por 30 seg	Inflamação de um chumaço de algodão colocado a 30 mm de fissuras por 10 segundos
Requisito de resistência mecânica	Deve suportar o carregamento sem ruína	Define valor máximo e taxa de aumento máxima das deformações	Ruína, deslocamentos transversais elevados ou deformações excessivas

Fonte: Adaptado de Rosemann (2011).

Um ponto bastante importante que as normas mencionam é quanto ao carregamento aplicado. A ASTM E119 diz que se deve aplicar o carregamento máximo permitido pelos critérios de projeto; a ISO 834 (2014) cita que deve reproduzir condições de suporte de projeto; e a NBR 5628 (ABNT, 2022) que deve reproduzir esforços de mesma natureza e ordem de grandeza das ações normais de serviço.

Observa-se, entretanto, que poucos são os trabalhos, principalmente nacionais, que tratam do carregamento aplicado às paredes de alvenaria em situação de incêndio, como se percebe no subtópico deste texto em ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.

Destaca-se a respeito desse aspecto que, com o desenvolvimento dos ensaios estabelecidos pelas normas mencionadas anteriormente, procurou-se determinar o isolamento térmico, a estanqueidade e a estabilidade estrutural. Assim, após o término do ensaio, pode-se determinar o tempo ao qual a parede atendeu aos critérios normativos, indicando, dessa forma, o tempo de resistência ao fogo do elemento. Nesse sentido, esclarece-se que as normas técnicas e os códigos de edificações estabelecem requisitos que devem ser obrigatoriamente apresentados pelos elementos construtivos de uma determinada edificação.

Segundo Rosemann (2011), no caso das paredes de alvenaria, os códigos de edificações estabelecem, para algumas situações, que as mesmas apresentem um determinado nível de resistência ao incêndio de forma a proteger os ocupantes da edificação e prover meios de escape e resgate. Tal instrução tem o propósito de proteger os ocupantes da edificação. Esse nível de resistência ao fogo exigido é mensurado por meio do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).

Acerca do TRRF, a NBR 14432 (ABNT, 2001) o define como o “tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão”. De acordo com alguns pesquisadores, a exemplo de Silva et al. (2008) e Bonitese (2008), de forma simplificada, o TRRF pode ser compreendido como o tempo mínimo que as paredes de alvenaria resistem a uma ação térmica padronizada, curva-padrão, apresentando as características de isolamento, estanqueidade e integridade estrutural.

Dessa maneira, o tempo requerido de resistência ao fogo trata de um valor com uma função de risco de incêndio e de suas consequências catastróficas provenientes de uma falha estrutural. Esse TRRF não representa, portanto, o tempo

de desocupação, ou o tempo de duração do incêndio ou o tempo-resposta das ações do corpo de bombeiros ou brigada de incêndio.

É interessante, pois, destacar que os códigos normativos estabelecem o TRRF, considerando fatores atrelados às características e ao tipo de utilização da edificação como altura da edificação, ocupação do edifício, área do pavimento, cargas de incêndio, medidas de proteção, dentre outros. Acerca desse tempo, a NBR 14432 (ABNT, 2001) e a IT 08 (2019) estabelece tempos entre 30 e 120 minutos, 30 a 180 minutos, respectivamente, com intervalos de 30 minutos. A Tabela 2 indica o TRRF de algumas edificações, variando suas alturas e o tipo de ocupação.

Tabela 2 – Exigência de TRRF, unidade em minutos

Ocupação/uso	Altura da edificação (h)							
	Classe P1 $h \leq 6 m$	Classe P2 $6 m < h \leq 12 m$	Classe P3 $12 m < h \leq 23 m$	Classe P4 $23 m < h \leq 30 m$	Classe P5 $30 m < h \leq 80 m$	Classe P6 $80 m < h \leq 120 m$	Classe P7 $120 m < h \leq 150 m$	Classe P8 $150 m < h \leq 250 m$
Residencial	30	30	60	90	120	120	150	180
Serv. de hospedagem	30	60	60	90	120	150	180	180
Comércio Varejista	60	60	60	90	120	150	150	180
Escritório	30	60	60	90	120	120	150	180
Escolas	30	30	60	90	120	120	150	180
Locais de reunião de público	60	60	60	90	120	150	180	-
Hospitais	30	60	60	90	120	150	180	180
Industrial	30	30	30	60	120	-	-	-
Depósitos	60	60	60	60	60	-	-	-

Fonte: Adaptado de IT 08 (2019).

Porém a mesma IT isenta dos requisitos resistência ao incêndio algumas edificações, em virtude da pequena probabilidade de ocorrer o incêndio e por ser de fácil desocupação, com uma ressalva, caso se queira proteger o bem patrimonial. Dentre esta ressalva, pode-se citar qualquer edificação da classe P1 e P2 que tenham área menor a 750 m² e uma área igual ou inferior a 1.500 m², caso tenha, no máximo, 2 (dois) pavimentos e uma carga de incêndio específica menor que 1.000 MJ/7m². Menciona-se que constam também outras restrições, mas que não serão expostas nesta ocasião, em virtude do uso da edificação que não será citada aqui pela não relevância para este trabalho no momento.

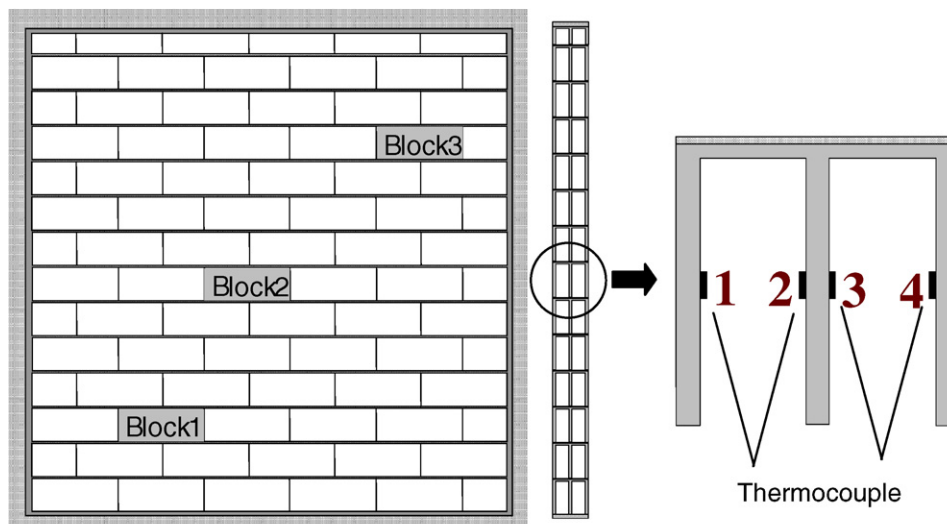
2.4 ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Neste subtópico, serão mencionados os trabalhos considerados mais relevantes encontrados relacionados ao tema. Vários trabalhos que não foram citados contribuíram, indiretamente, também, para construção do conhecimento, do senso crítico, da montagem e do desenvolvimento desta tese. Desse modo, os trabalhos serão inseridos em subtópicos para melhor disposição e discussão.

2.4.1 Nahhas et al. (2007)

Nahhas et al. (2007) fizeram uma análise experimental e teórica do comportamento termomecânico de parede de alvenaria de blocos vazados de concreto. Em seu estudo, os pesquisadores utilizaram blocos empregados na maioria das construções francesas, com dimensões 197 mm x 490 mm x 19,36 mm, resistência à compressão de 4,0 MPa e porosidade média de 21,0%. A parede ensaiada tinha uma geometria de 282 cm x 280 cm, as juntas verticais e horizontais entre os blocos foram preenchidas com argamassa e tinham características similares às dos blocos. Na parte superior e inferior da parede, foi considerada junta de argamassa com espessura de 30 mm e 20 mm, respectivamente, para ligação com o pórtico, enquanto os espaços laterais estavam livres e preenchidos com lã de rocha para evitar a saída dos gases durante o ensaio térmico. Foi aplicada uma carga vertical distribuída de 130 kN/m ao longo do comprimento da parede, por meio de um sistema de pórtico metálico. A parede foi exposta ao fogo, seguindo a curva normatizada da ISO 834 (2014), durante seis horas de ensaio, cujo forno utilizava queimadores a gás, com temperatura controlada por termopares tipo K. Para acompanhar a evolução da temperatura, foram inseridos quatro termopares no interior de três blocos da parede, escolhidos de acordo com a regulamentação francesa (CSTB-1999), conforme indicado na Figura 5.

Figura 5 – Posição dos termopares no interior dos blocos

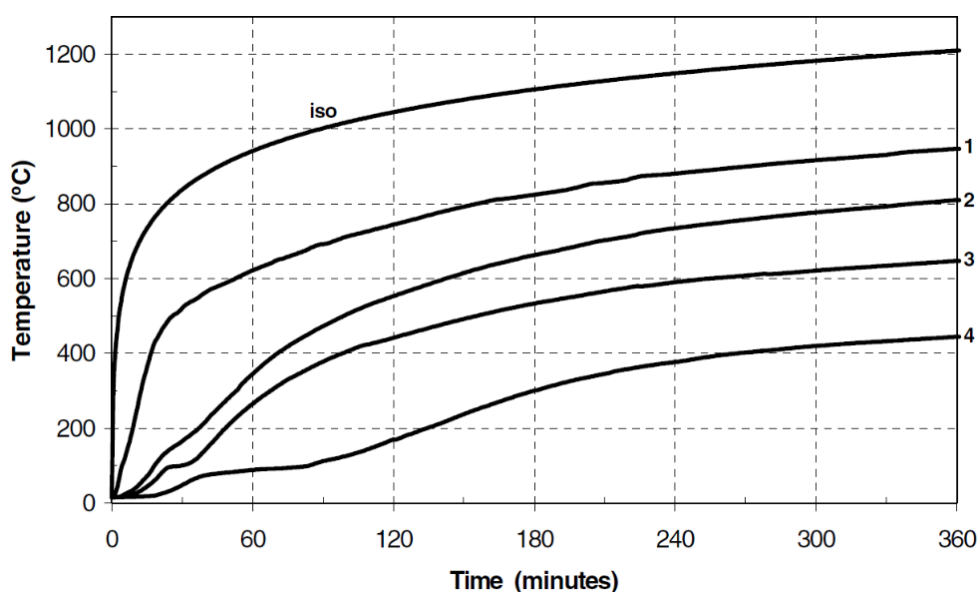


Fonte: Nahhas et al. (2007).

Os autores investigaram, também, os deslocamentos verticais e horizontais da parede, fazendo o monitoramento com transdutores (LVDTs). Nesse caso, introduziram sete transdutores horizontais e dois verticais, postos em locais, em conformidade com a recomendação do código francês (CSTB-1999).

Nahhas et al. (2007) perceberam que a temperatura nos primeiros minutos apresentou um comportamento linear para os quatro pontos avaliados no interior dos blocos. É o que demonstra a Figura 6.

Figura 6 – Evolução da temperatura x tempo no interior dos blocos

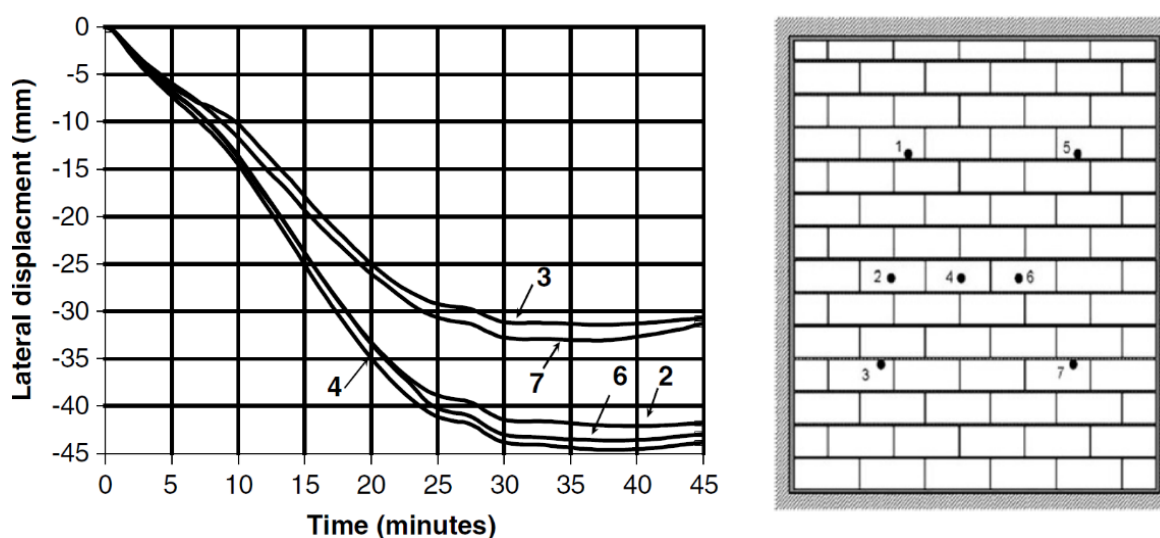


Fonte: Nahhas et al. (2007).

Nos dois termopares mais afastados (ponto 3 e 4), apresentou-se um patamar, mesma temperatura, em torno de 100°C , tendo um tempo para o mais distante da face aquecida. Esses patamares estão relacionados à absorção de energia pela mudança de fase (água líquida para vapor) contida nos poros do bloco em torno de 100°C a pressão atmosférica. O tamanho do patamar na mudança de fase pode ser descrito pelo tempo com que a água livre presente no material é evaporada completamente. Portanto, percebe-se que, nas curvas 1 e 2, pontos mais próximos da face aquecida, isso não existiu ou os valores foram bem incipientes, pois a temperatura era bem mais elevada e essa evaporação ocorreu de forma bastante rápida.

No desempenho da parede frente aos deslocamentos horizontais, Nahhas et al. (2007) constataram dois trechos bem definidos. No primeiro, os pontos apresentaram um comportamento linear de 0 a 25 minutos, com deslocamento da ordem de 40 mm no meio da parede, e 32 mm a $1/3$ da altura da parede; e, no segundo trecho, entre 25 a 45 minutos, um deslocamento quase que constante, chegando a aumentar apenas 3 mm e 2 mm para ambos os pontos verificados, respectivamente. Já os deslocamentos no meio da parede foram em torno de 35% maiores que os mais próximos da base do pórtico, justificados por estarem em uma região mais rígida do conjunto parede-pórtico, chegando, portanto, a 43 mm, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Deslocamento horizontal na parede

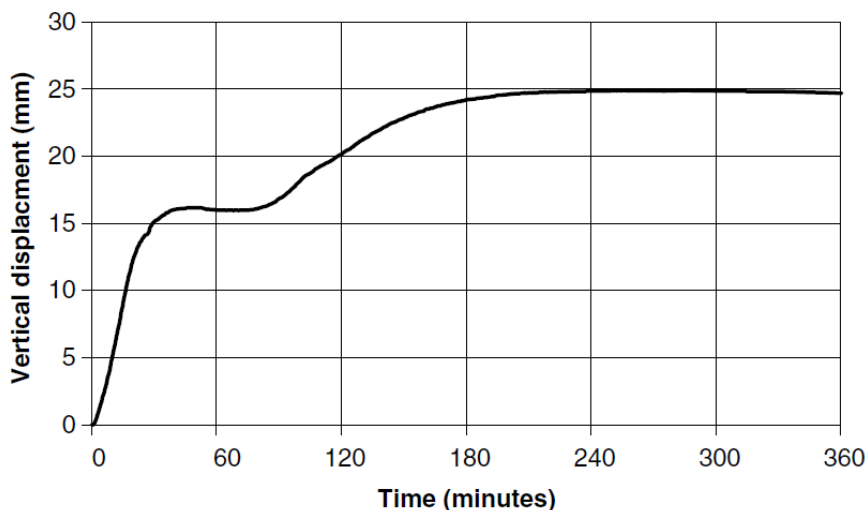


Fonte: Nahhas et al. (2007).

Quanto ao deslocamento vertical, Figura 8, este apresentou uma parte linear até 30 minutos, com deslocamentos da ordem de 15 mm e, posteriormente, dos 30 a

90 minutos, um patamar sem deslocamentos; entre 90 e 210 minutos evoluíram até 25 mm, permanecendo até o término do ensaios aos 360 minutos.

Figura 8 – Deslocamento vertical na parede



Fonte: Nahhas et al. (2007).

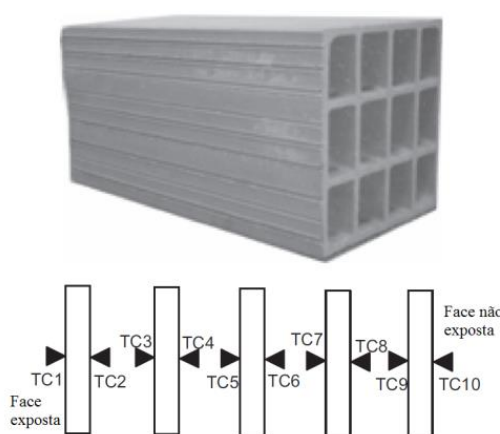
Nahhas et al. (2007) fizeram, ainda, uma análise teórica na qual desenvolveram um modelo abordando a transferência de calor pelos princípios da condução, da radiação e da convecção, por meio do balanço energético, além de considerar o fenômeno da entalpia para descrever a migração de água. Os autores fizeram sua formulação pelo Método das Diferenças Finitas (MDF). Os resultados das simulações numéricas demonstraram um comportamento bem próximo dos experimentais. No ponto de verificação, dentro do bloco, mais próximo do forno, o modelo teórico subestima em apenas 4,5% a temperatura do resultado experimental até os primeiros minutos de ensaio. Os autores alegam que essa diferença é provavelmente devido ao fato de que o coeficiente de convecção adotado no modelo é constante, não variando com a temperatura. Já para o ponto mais afastado do forno, o modelo teórico superestimou em 35,0% a temperatura, ao comparar com o resultado experimental entre os 60 e 240 minutos. Essa diferença é, provavelmente, devido ao vapor de condensação nessa parte do bloco que não está considerado no modelo teórico. Apesar de algumas divergências entre o modelo teórico e o resultado experimental, esse modelo apresentou resultados que mostraram concordâncias razoáveis com os obtidos experimentalmente.

2.4.2 Nguyen et al. (2009)

Nos estudos de Nguyen et al. (2009), foi feita uma análise de um modelo térmico de bloco cerâmico e de um modelo termomecânico de parede de alvenaria de blocos cerâmicos submetidos a altas temperaturas. Nas pesquisas, os autores utilizaram o Método dos Elementos Finitos (MEF) para avaliação do modelo e fizeram a comparação com resultados experimentais. Em suas análises, eles avaliaram a influência da condutividade térmica, o coeficiente de dilatação térmica, a evolução da temperatura entre os alvéolos dos blocos, as tensões e as deformações na parede.

Para a validação do seu modelo numérico, Nguyen et al. (2009) consideraram um bloco cerâmico com as dimensões de 200 mm x 200 mm x 570 mm, 9 mm de espessura das paredes externas e 6 mm dos septos internos do bloco, sendo quatro colunas e três linhas horizontais de alvéolos, em um total de 12. Foram colocados termopares em ambas as paredes externas e internas dos blocos, sendo, portanto, utilizados dez medidores de temperatura, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Geometria do bloco e indicação da localização dos termopares



Fonte: Nguyen et al. (2009).

O modelo térmico adotado pelos autores constava de três critérios de transferência de calor da face exposta a não exposta ao incêndio, que foram: condução nas partes sólidas; convecção e radiação da face exposta e não exposta; e a radiação dentro das concavidades dos alvéolos.

No modelo desenvolvido, os autores consideraram os critérios de isolamento térmico (I) (ultrapassar a temperatura média dos termopares em 140°C ou a máxima em apenas um ponto de medição em 180°C) e capacidade de carga da parede (R), que foi baseada no limite máximo de deslocamento no meio do vão, conforme a

Equação 3 e a Equação 4. Não foi considerado em seu modelo o critério de estanqueidade (E), visto que não foi possível estimar esse critério em seu modelo teórico.

No critério de capacidade de carga da parede (R), adotaram-se os limites descritos na Equação 3, com o limite máximo de deslocamento horizontal (D), e na Equação 4, com o limite máximo da velocidade do deslocamento ($\dot{D}$), que são os parâmetros estabelecidos pela ISO 834 (2014).

$$D = \frac{L^2}{400.e} \text{ [mm]} \quad (3)$$

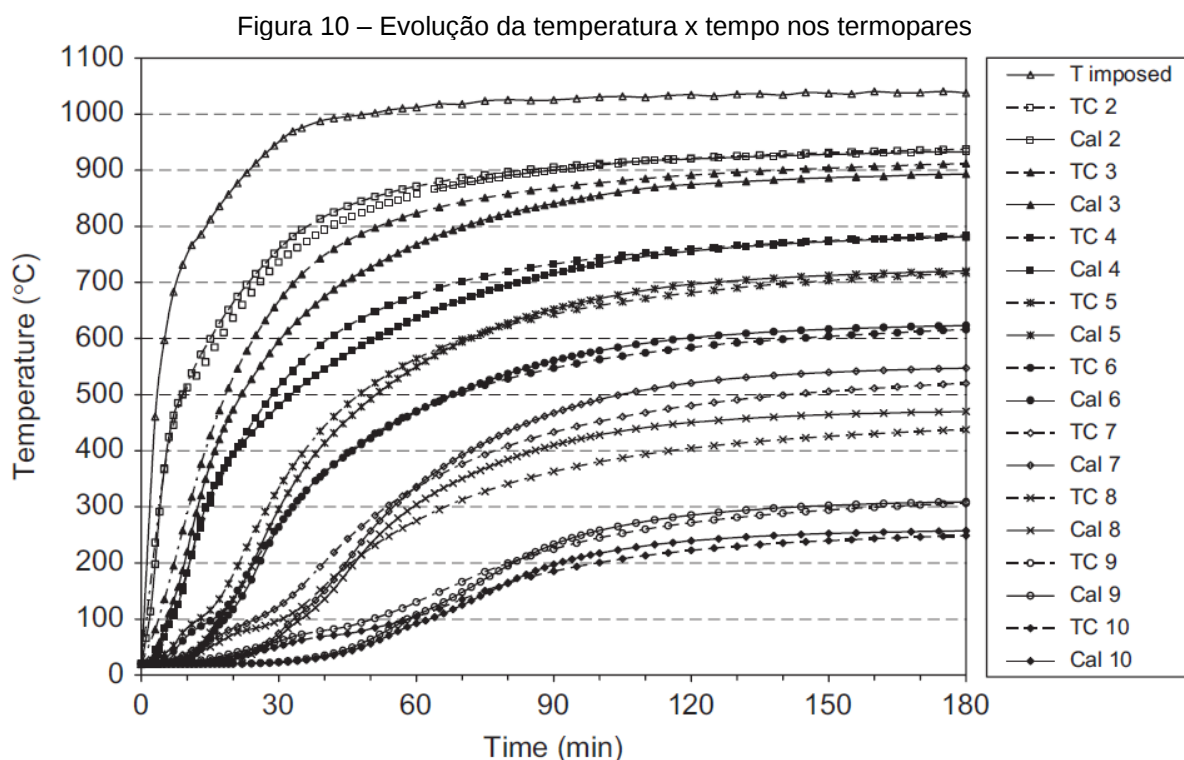
$$\dot{D} = \frac{L^2}{9000.e} \text{ [mm min}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

Em que:

L é a altura da parede;

e é a espessura da parede.

O bloco foi colocado sob altas temperaturas apenas em uma de suas faces e as demais foram isoladas com manta térmica. O resultado da evolução da temperatura *versus* tempo entre o modelo térmico e o experimental foi bastante satisfatório, indicando que o modelo teórico está se apresentando de forma bem similar ao comportamento experimental. Inclusive os patamares de temperatura próximos a 100°C, devido à evaporação da água, também foram claramente identificados para os pontos mais afastados da face aquecida, conforme também ocorrido nos estudos de Nahhas et al. (2007) (ver Figura 10). O valor TC indica a temperatura experimental e TCal a temperatura determinada pelo modelo teórico.



Fonte: Nguyen et al. (2009).

Com a validação do modelo térmico realizado no bloco isolado, os autores Nguyen et al. (2009) fizeram uma análise termomecânica de uma parede de bloco cerâmico; porém, a parede foi executada com bloco de geometria diferente daquele validado pelo modelo teórico descrito acima.

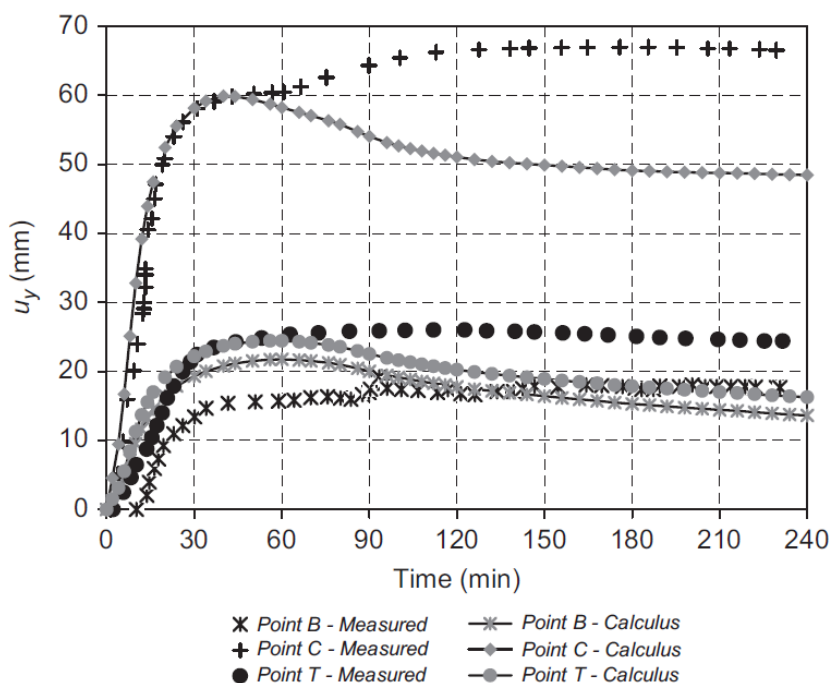
Na análise da parede, Nguyen et al. (2009) consideraram uma parede com as dimensões de 300 cm x 300 cm, com blocos de 300 mm x 100 mm x 570 mm (altura, espessura e comprimento), 10 mm de espessura de parede externa, 7 mm de parede interna, sendo duas colunas e seis linhas de alvéolos, em um total de 12, e utilizaram juntas de argamassa tradicional. A parede foi moldada em um pórtico de concreto, com juntas de argamassa tradicional de 10 mm na região superior, inferior e uma das laterais da parede, e outra permanecendo livre, porém sendo preenchida com material isolante para evitar a perda de temperatura dos gases. Nesse estudo, a parede não foi submetida à carga distribuída, e uma de suas faces foi aquecida segundo a curva padronizada da ISO 834 (2014).

Os autores, em seu modelo termomecânico, consideraram a parede com três bordas biapoiadas, representando a junção com a argamassa-pórtico de concreto, e a outra borda livre. Para medir os deslocamentos, foram considerados três pontos,

sendo um no meio da parede (ponto C) e os outros dois no eixo vertical da parede a $\frac{3}{4}$ (ponto T) e $\frac{1}{4}$ (ponto B) de sua altura.

Os deslocamentos horizontais aumentaram de forma rápida nos três pontos no início da exposição ao fogo devido ao acréscimo acelerado da temperatura, chegando a um pico de deslocamento nos 30 minutos iniciais, da ordem de 60 mm no meio do vão, 25 mm a $\frac{3}{4}$ da altura e 15 mm a $\frac{1}{4}$ da altura, conforme indica a Figura 11. Após esse tempo, no ponto central, o deslocamento medido, experimentalmente, continuou aumentando com uma taxa bem menor, enquanto, no modelo numérico, ocorreu uma redução desse deslocamento. Nos dois outros pontos de aferição, os deslocamentos foram menores que 50% do ponto médio, ocorrendo maior deslocamento no ponto que estava a $\frac{3}{4}$ da altura da parede, chegando próximo a 35% a mais do ponto a $\frac{1}{4}$ da altura. O pequeno acréscimo e/ou patamar de deslocamento, após os 30 minutos de exposição ao fogo, deve-se à redução do módulo de elasticidade com o aumento da temperatura.

Figura 11 – Deslocamento horizontal da parede



Fonte: Nguyen et al. (2009).

Destaca-se que ocorreu uma diferença nos deslocamentos entre o modelo numérico e experimental, após os 30 minutos, sendo mais representativo no ponto central, pois, no modelo numérico, não foi adotado o mecanismo de dano local da argamassa ou de falha no bloco sob altas temperaturas.

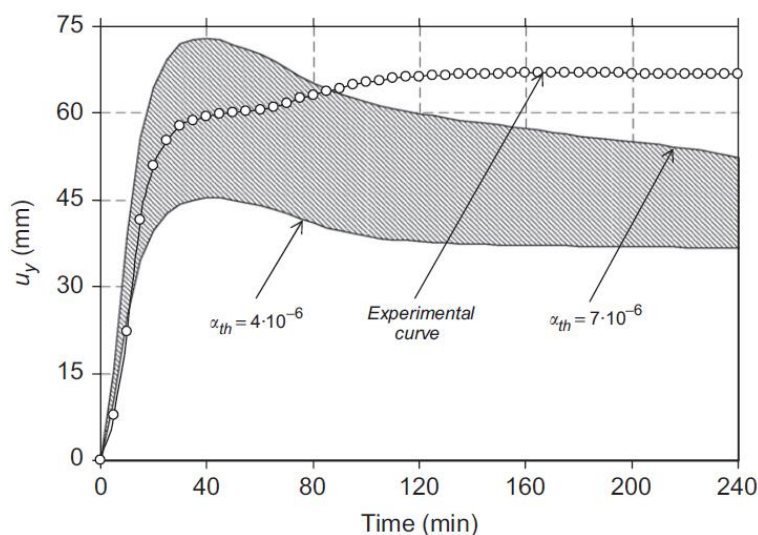
As tensões na face exposta ao incêndio aumentaram rapidamente, devido ao gradiente de temperatura, e reduziram após o decréscimo do deslocamento ter atingido o pico. A tensão de compressão reduziu bastante devido também à diminuição do módulo de elasticidade.

Os autores perceberam, em suas simulações numéricas, que a condutividade térmica não é um parâmetro tão sensível no comportamento global da parede. Eles variaram em torno de 500% o valor de sua condutividade térmica e perceberam que o deslocamento foi afetado em apenas 25% após o pico de deslocamento.

Esses estudiosos fizeram, também, algumas análises numéricas, comparando os deslocamentos, variando o módulo de elasticidade, chegando à conclusão de que, com o aumento aproximado de 1.500% do módulo de elasticidade, ocorreu um acréscimo de 25% do deslocamento, também após o seu pico.

Eles ainda verificaram a influência do coeficiente de expansão térmica, e constaram, como esperado, que esse parâmetro tem grande influência nos deslocamentos. Perceberam que um aumento de 170% do coeficiente acarretou uma variação na magnitude do deslocamento de 166%, ocorrendo também uma diferença no pico do deslocamento, conforme se percebe na Figura 12.

Figura 12 – Deslocamento horizontal variando coeficiente de dilatação térmica



Fonte: Nguyen et al. (2009).

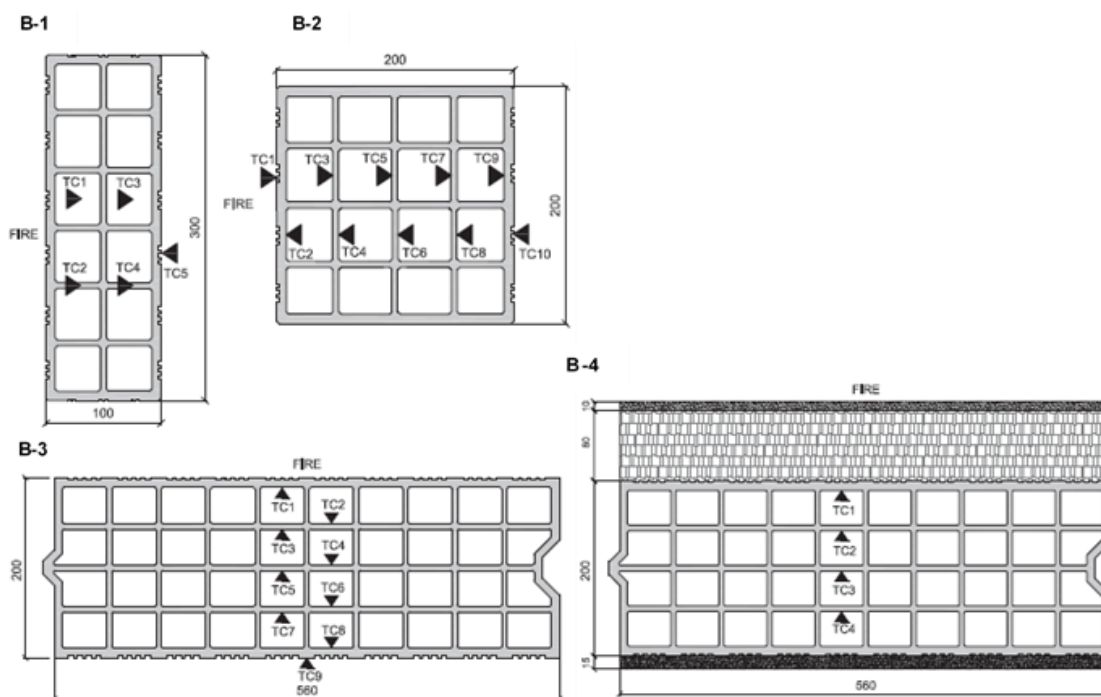
Depreende-se, devido à variabilidade e às incertezas que afetam as propriedades físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos de argilas, após sua calcinação, que não é fácil estender seus resultados experimentais para outros tipos de blocos, em virtude da mudança de geometrias, formas e materiais empregados.

Em seus estudos, Nguyen et al. (2009) destacam a dificuldade de extensão de resultados experimentais para outros sistemas, em virtude das complexidades e das singularidades de cada tipo de alvenaria. Desse modo, faz-se necessário estudar os materiais produzidos nas várias regiões dos países, tendo em vista as particularidades e a diversidade da matéria-prima, as geometrias dos elementos e tantos outros parâmetros que influenciam no comportamento dos blocos e das paredes.

2.4.3 Nguyen e Meftah (2012)

Em nova pesquisa, Nguyen e Meftah (2012) fizeram um estudo experimental de alvenaria de bloco cerâmico estrutural submetido ao fogo, variando as dimensões dos blocos e o tipo de carregamento, avaliando o risco de deslocamento do material – efeito *spalling*, tempo de resistência ao fogo, deformações e degradação mecânica das paredes. Os autores investigaram quatro paredes, com dimensões de 3,00 m x 3,00 m e consideraram os blocos de 560 mm x 300 mm x 100 mm (B-1), 560 mm x 200 mm x 200 mm (B-2), 560 mm x 275 mm x 200 mm (B-3) (comprimento x altura x espessura), como indicado na Figura 13, para confecção das paredes. A quarta parede (B-4) teve as mesmas dimensões do bloco B-3, porém foi incluída uma camada de 10 mm de pasta de gesso na face exposta ao fogo, posteriormente, 80 mm de lã de rocha e, na face não exposta ao fogo, uma camada de 15 mm de revestimento de argamassa. Foi utilizada argamassa tradicional para as juntas das paredes, exceto na parede quatro, que fora empregada argamassa adesiva.

Figura 13 – Geometria e localização dos termopares nos blocos



Fonte: Nguyen e Meftah. (2012).

Os autores consideraram cargas verticais constantes, distribuídas de 130 kN/m e 90 kN/m em apenas duas das quatro paredes ensaiadas. As cargas consideradas pelos autores representam 70% da carga vertical máxima que é transmitida, normalmente, nas paredes mais solicitadas dos edifícios de cinco pavimentos (130 kN/m) e três pavimentos (90 kN/m) em condições normais, respectivamente. O fato de utilizar o percentual de 70% do carregamento está baseado na não atuação concomitante dos cenários do fogo e da carga operacional máxima.

Os resultados dos ensaios experimentais dos autores Nguyen e Meftah (2012) mostraram que a parede com menor espessura (bloco B-1) atingiu o critério de falha por perda do isolamento térmico aos 43 minutos, enquanto a parede 2 (bloco B-2) atingiu aos 104 minutos. Ressalta-se, desse modo, que, na parede 2, ocorreu o efeito *spalling* apenas na primeira parte dos alvéolos dos blocos, surgindo inicialmente a 20 minutos com uma propagação uniforme em toda a face exposta ao fogo, tendo seu efeito sanado após 15 minutos do ocorrido.

Nas paredes executadas com o bloco B-3, a falha se deu por meio do colapso estrutural nos tempos de 136 e 60 minutos, para as paredes sem revestimento e com revestimento, respectivamente. Nesse caso, ocorreu o efeito do *spalling* nas paredes atingindo até o segundo alvéolos dos blocos. Os autores justificam o tempo menor do

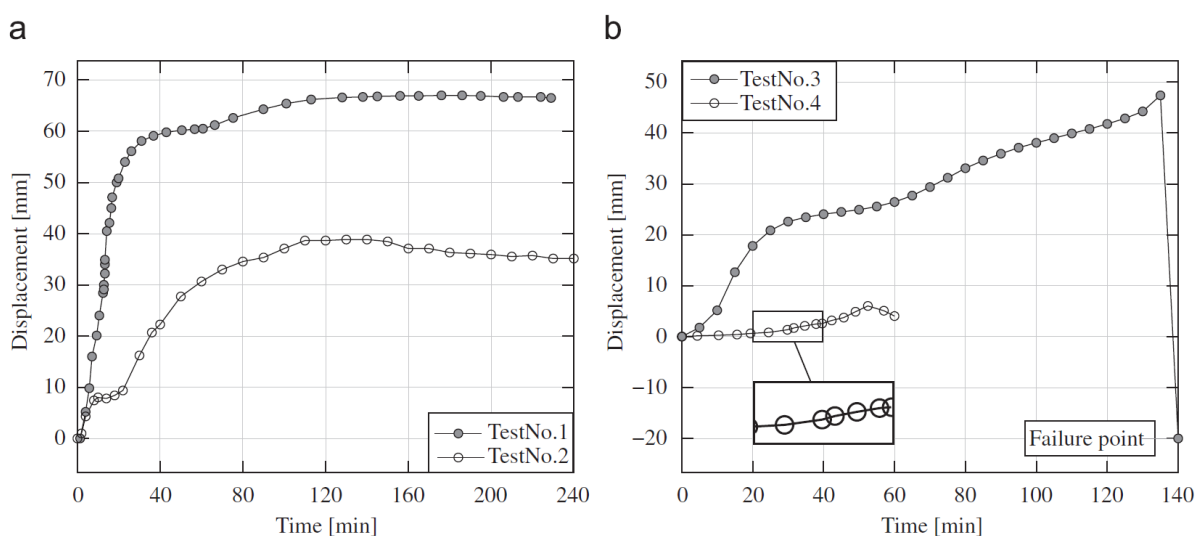
colapso estrutural para a parede 4 (B-4), apesar de ter maior proteção ao fogo, em virtude do uso da argamassa adesiva nas juntas dos blocos.

Os resultados mostraram um patamar na curva de temperatura *versus* tempo, aproximadamente, entre 80°C e 100 °C. Esse patamar também foi percebido por outros autores citados anteriormente, o qual é devido à evaporação da água disponível no material, principalmente nas juntas de argamassas.

Nguyen e Meftah (2012) introduziram termopares no interior dos blocos com o intuito de avaliar, também, a transferência de calor entre os alvéolos e na espessura da camada dos blocos. Eles notaram que os modelos de transferência de calor por radiação e por convecção são dominantes relação aos de condução, visto que seus ensaios indicaram maiores temperaturas nos termopares postos nessa posição. Segundo os autores, durante a ação do fogo, a transferência de calor na parte interna das paredes de alvenaria de bloco cerâmico é principalmente radiativa e convectiva.

Nas análises de deslocamentos, as paredes curvaram-se em direção ao fogo. Segundo o estudo de Nguyen e Meftah (2012), a curvatura da parede sem carregamento foi praticamente o dobro da parede com carga. A restrição atribuída na parte superior e inferior da parede, além da carga aplicada, provocou essa redução nos deslocamentos. Ocorreu um rápido deslocamento da parede sem carregamento nos primeiros 20 minutos, em virtude da ocorrência do *spalling*, apresentando posteriormente quase que um patamar de deslocamento, quando a parede praticamente não mais se deslocou, conforme mostra Figura 14a (TestNo.1).

Figura 14 – Deslocamento horizontal das paredes: a) paredes sem cargas e b) paredes com cargas



Fonte: Nguyen e Meftah. (2012).

Na parede carregada, o deslocamento deu-se de forma progressiva, atingindo um deslocamento máximo em torno de 40 mm para a parede com carga de 130 kN/m. Segundo Nguyen e Meftah (2012), a parede estrutural perde estabilidade devido ao “*spalling*” localizado que pode se propagar continuamente por meio da espessura da parede.

2.4.4 Nguyen e Meftah (2014)

Complementando a pesquisa anterior, Nguyen e Meftah (2014) fizeram um estudo da simulação do comportamento térmico de duas paredes de blocos cerâmicos com juntas de argamassa tradicional na ligação entre os elementos, considerando o mecanismo de *spalling* em sua investigação como modelo teórico por intermédio do Método dos Elementos Finitos (MEF). Seu modelo teórico foi aferido pelo trabalho experimental desenvolvido por eles, Nguyen e Meftah (2012). Segundo os autores, ignorar o efeito do fenômeno do *spalling*, na análise teórica, pode não apresentar resultados adequados aos experimentais. Em seu modelo termoelástico, os autores consideraram algumas propriedades dos materiais, variando com a temperatura, como: condutividade térmica, capacidade térmica, expansão térmica, módulo de elasticidade, tensão de tração e compressão.

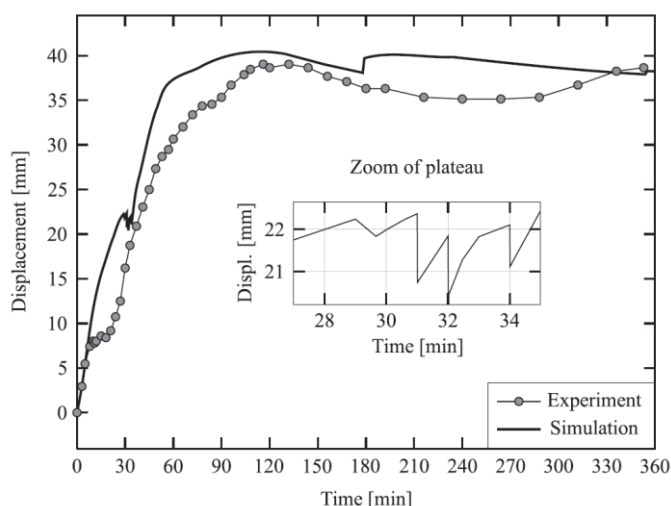
Segundo Nguyen e Meftah (2014), para os casos de paredes não carregadas, as fissuras são desenvolvidas não apenas nas juntas entre os blocos, mas também pelos próprios blocos; assim, as fissuras ou zonas frágeis ocorrem tanto na região de contato argamassa-bloco como ao longo do próprio bloco.

Os autores, nesse estudo, priorizaram avaliar o cenário do efeito do *spalling*, da evolução da temperatura e da deformação ao longo da parede. Na simulação numérica, os autores consideraram a metade da parede, por meio do eixo de simetria geométrico, pois se tornou bastante complexa a simulação estrutural em 3D, além de aumentar o tempo de processamento. Portanto, para compensar essa consideração, já que a parede não era simétrica quanto às condições de contorno das bordas laterais, limitou-se o deslocamento lateral na borda em 7 mm, valor predeterminado anteriormente. Considerou-se, também, a radiação térmica nas concavidades dos alvéolos e o comportamento não linear dos materiais.

Os autores perceberam que a parede se deformou em direção ao fogo, devido a uma maior expansão dos materiais da face exposta, conforme outros pesquisadores também constataram.

O modelo numérico proporcionou boa concordância com os resultados experimentais em todos os aspectos avaliados como deslocamentos no meio do vão, evolução da temperatura e mecanismo de *spalling* ao longo da parede, conforme mostra Figura 15.

Figura 15 – Deslocamento horizontal da parede 3 – resultado experimental e numérico



Fonte: Nguyen e Meftah. (2014).

As pequenas variações entre os resultados foram insignificantes, as quais os autores justificaram que podem ter ocorrido em virtude da emissividade dos materiais; todavia, a simulação conseguiu demonstrar os efeitos da temperatura na parede, inclusive os patamares do comportamento dos deslocamentos e as temperaturas ao longo do tempo.

Os autores Nguyen e Meftah (2014) afirmaram que a resistência ao fogo de parede depende totalmente do estado de *spalling* dos blocos que determina a estabilidade estrutural e a integridade da parede. Portanto, a determinação da resistência da parede ao fogo, baseada no cenário do *spalling*, quando bem definidos os parâmetros dos materiais e o desempenho ao fogo, prevê um comportamento da parede de forma a assemelhar-se à situação experimental, que esta procura se aproximar das estruturais reais.

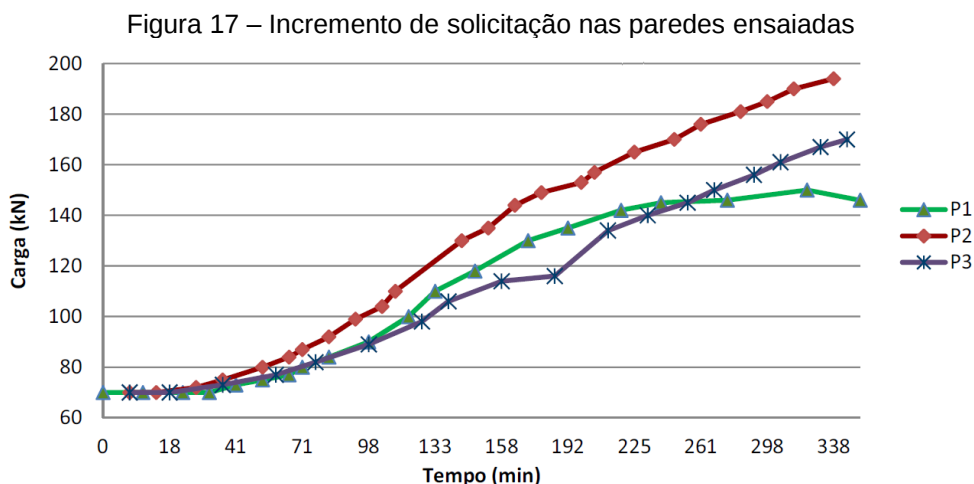
2.4.5 Rigão, Lima e Soares (2015)

Os estudos de Rigão, Lima e Soares (2015) verificaram a influência em miniparedes carregadas, construídas em alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, sob altas temperaturas e submetidas à carga distribuída. Os autores confeccionaram

Em conformidade com os estudos, nas leituras dos termopares na face exposta (1) e outro imediatamente após o primeiro septo externo do bloco (2), com 2 cm de espessura, a temperatura foi reduzida em torno de 50,0%. De acordo com os autores, tal diferença se deu em virtude da difusão da umidade interna do material e da elevada capacidade térmica do bloco. Em seus resultados, os termopares posicionados na mesma profundidade entre a argamassa (4) e o bloco cerâmico (3) apresentaram menores temperaturas na argamassa, indiciando, assim, um melhor isolamento térmico para esse material frente a altas temperaturas.

Pela pesquisa de Rigão, Lima e Soares (2015), os termopares fixados na parte não exposta ao fogo demonstraram um ganho térmico próximo ao linear, apresentando curvas bem inferiores à curva de aquecimento médio do forno. Na avaliação do critério de isolamento térmico, as paredes apresentaram um tempo médio de 314 minutos na argamassa e 268 minutos para os blocos, ao atingir um dos pontos de medida: temperatura de 180°C acima da temperatura ambiente. Já para atingir a temperatura média de 140°C acima da temperatura ambiente, o tempo médio na argamassa foi de 237 minutos e do bloco de 209 minutos. Portanto, o conjunto parede-argamassa levou um tempo médio entre as três paredes de 209 minutos para atingir um dos critérios de isolamento térmico; para o caso, ao atingir a temperatura média de 140°C acima da temperatura ambiente.

Ao avaliar o comportamento das paredes sob carga, Rigão, Lima e Soares (2015) perceberam um acréscimo de carga no mecanismo de aplicação (macaco hidráulico), provocado pela dilatação das paredes em virtude de seu aquecimento. Esse aumento médio de carga chegou a quase 100% da carga inicialmente aplicada, quando decorridos, aproximadamente, 200 minutos de ensaio. As curvas de carga *versus* tempo para duas paredes apresentaram um comportamento próximo ao linear, enquanto, para a terceira parede, seu comportamento afastou-se dessa tendência, conforme Figura 17.



Fonte: Rigão, Lima e Soares (2015).

Nesse sentido, os próprios autores afirmam que não é possível assegurar que tal comportamento seja linear, visto que precisa de mais amostras para melhor entender seu desempenho e comportamento, pois, em seus estudos, eles analisaram apenas três paredes de alvenaria com blocos estruturais.

2.4.6 Hennemann et al. (2017)

Já Hennemann et al. (2017) fizeram um estudo com o objetivo de verificar a influência da espessura da alvenaria na resistência ao fogo de sistemas de vedação vertical, utilizando dois tipos de blocos cerâmicos, com espessuras de 14 cm e 19 cm, de modo a verificar os parâmetros de isolamento térmico, de estabilidade estrutural e de estanqueidade do sistema, necessários para garantir o requisito de compartimentação desse sistema, de forma a determinar seu TRRF.

Os autores utilizaram dois tipos de blocos cerâmicos, sendo as dimensões do bloco 1 de 14 cm x 39 cm x 19 cm e o bloco 2 com 19 cm x 39 cm x 19 cm. A argamassa utilizada nas juntas verticais e horizontais, com 10 mm de espessura, era composta de cimento CP II, cal hidratada e areia média, na proporção de 10%, 10% e 80%, respectivamente. Os blocos foram assentados com os furos na vertical, sem nenhum revestimento lateral. Fora produzida uma parede para cada tipo de bloco em escala real, com dimensões de 3,15 m x 3,00 m, sendo a superfície efetiva de aquecimento do forno de 2,50 m x 2,50 m. Empregou-se um forno vertical normatizado, com capacidade térmica de 1.200°C, equipado com quatro queimadores alimentados por gás liquefeito de petróleo (GLP), programado para que o aumento da temperatura ocorresse segundo a curva padronizada da ISO 834 (2014). Utilizou-se de uma trena

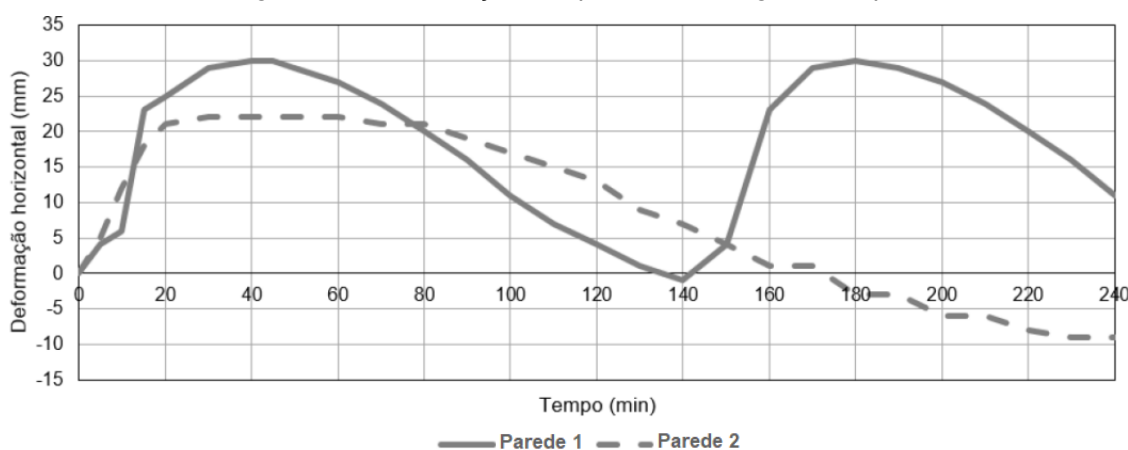
a laser para acompanhar a evolução dos deslocamentos horizontais no centro da amostra e câmera termográfica para auxiliar na identificação de fissuras. Foram utilizados 14 termopares do tipo K, dos quais cinco foram posicionados na parte interna do forno e nove na face não exposta.

Os resultados experimentais na parede 1, com bloco de 14 cm de espessura, o critério de ultrapassar limite médio da temperatura dos termopares foi atingido aos 76,0 minutos e o limite máximo de temperatura em um dos pontos se deu aos 81,0 minutos. Enquanto, para a parede 2, com bloco de 19 cm de espessura, foi atingido aos 115,0 minutos a temperatura média termopares e 150 minutos o limite máximo de temperatura em um dos pontos medidos. Avaliando-se as curvas de temperatura dos dois ensaios, as amostras apresentam aumento na taxa de aquecimento logo após ultrapassar a temperatura de 100°C. Esse desempenho está relacionado ao fim da evaporação da água de composição dos materiais empregados durante a fabricação dos blocos cerâmicos, efeito esse observado em outros trabalhos.

Apesar de ter ocorrido a primeira fissura aos três minutos na parede 1, e 4 minutos na parede 2, respectivamente, os autores fizeram o teste de estanqueidade, quando as paredes apresentavam liberação excessiva de fumaça e elevados gradientes térmicos; entretanto, em nenhuma ocorreu a inflamação do chumaço de algodão, caracterizando, assim, as paredes como estanques. Desse modo, durante toda a realização dos ensaios, as paredes não produziram gases quentes, por meio das fissuras, capazes de propagar o incêndio para cômodo adjacente.

Os autores Hennemann et al. (2017) fizeram o acompanhamento da variação da deformação das paredes durante todo o ensaio, avaliando, assim, o critério de estabilidade estrutural, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Deformação das paredes ao longo do tempo



Fonte: Hennemann et al. (2017).

Eles verificaram, aos 40 minutos, que as paredes apresentaram deslocamentos horizontais máximos de 30,0 mm e 22,0 mm nas paredes 1 e 2, respectivamente. As amostras curvaram-se em direção ao fogo, sendo que, ao longo do tempo, a parede 2 gerou um deslocamento reverso de até -9,0 mm. A parede 1 teve um novo ciclo de deslocamento, atingindo 30,0 mm novamente aos 180 minutos e, posteriormente, até 11,0 mm, quando o ensaio fora encerrado. A parede 1, de menor espessura, apresentou uma taxa de deslocamento mais acentuado e com maior amplitude ao comparado com a parede 2, mostrado na Figura 18. Esse comportamento deve-se ao fato de esta possuir menor massa volumétrica e menor inércia, tornando-a mais susceptível às deformações térmicas provocadas pelo aquecimento.

Hennemann et al. (2017) concluem que a espessura da alvenaria exerceu influência em sua resistência ao fogo e governa o desempenho das paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico. Nesse estudo, o aumento da espessura da alvenaria em 5 cm levou o aumento do tempo de resistência ao fogo em mais de 30%.

2.4.7 Coelho (2017)

Coelho (2017) fez um estudo do comportamento de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos submetidos ao incêndio. Os blocos que compunham a parede tinham dimensões de 9 cm x 19 cm x 19 cm e resistência à compressão de 3,16 MPa. Em seu estudo, Coelho (2017) ensaiou seis paredes de alvenaria de vedação com dimensão de 1,50 m x 1,50 m, constituídas com os blocos mencionados acima. Das seis paredes, duas sem revestimento em nenhuma das faces, duas com revestimento em apenas uma face e as outras duas com revestimento em ambas as faces, todos com espessura de 1,0 cm. Foi utilizada argamassa industrializada, tanto para o assentamento quanto para o revestimento dos blocos.

Nos ensaios, Coelho (2017) aqueceu apenas uma das faces da parede, atendendo à curva ISO 834 (2014) e introduzidos três termopares tipo K na parte interna do forno e cinco na face não exposta ao fogo. Cinco das paredes ensaiadas atingiram o critério de isolamento e uma delas, sem revestimento nas faces, atingiu o critério de estanqueidade, após o chumaço de algodão inflamar por meio da passagem dos gases quentes pelas fissuras provocadas pelo aquecimento.

Nos seus estudos, Coelho (2017) determinou a taxa de aquecimento médio *versus* tempo para cada situação analisada. O autor constatou que a menor taxa de

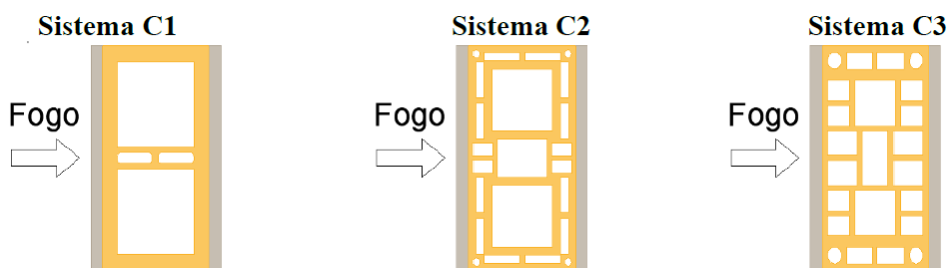
aquecimento se deu para as paredes com revestimento em ambas as faces e, consequentemente, a maior para a parede sem revestimento. Resultado esperado, pois as paredes com revestimento em ambas as faces tiveram a menor taxa, em virtude da espessura do conjunto parede-revestimento ser maior, assim a transferência de calor tornou-se mais lenta. O tempo de resistência ao fogo para a parede com revestimento em ambas as faces foi de 79,1 minutos, sendo mais de 50% do tempo para a parede sem revestimento, que foi de 52,1 minutos. Nas paredes com revestimento apenas em uma face, o tempo médio de resistência ao fogo foi de 67,7 minutos.

O estudo de Coelho (2017) demonstrou a importância de ensaiar o parâmetro de resistência ao fogo das paredes de vedação, visto que são poucos os estudos realizados com o intuito de avaliar tais parâmetros para esse tipo de alvenaria. Além do mais, os ensaios desenvolvidos pelo autor não consideraram nenhum carregamento aplicado à parede.

2.4.8 Bottin et al. (2018)

Bottin et al. (2018) fizeram um estudo do comportamento de três paredes de alvenaria estrutural com dimensões de 3,15 m x 3,00 m, tomando como variável a disposição dos alvéolos dos blocos, sendo três blocos diferentes com 4 (C1), 19 (C2) e 23 alvéolos (C3), conforme Figura 19. As paredes foram carregadas com uma carga distribuída da ordem de 90 kN/m e avaliados os critérios de estabilidade, de estanqueidade e de isolamento térmico durante 240 minutos de ensaio.

Figura 19 – Características da disposição dos alvéolos dos blocos



Fonte: Bottin et al. (2018).

Os blocos possuíam dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm, com seus furos dispostos na vertical, utilizando argamassa industrializada com 10 mm de espessura para o assentamento, tanto na vertical quanto na horizontal, e revestimento também de argamassa industrializada em ambas as faces com 1,5 cm de espessura. Os três

tipos de blocos utilizados nas paredes tinham a mesma relação entre a área líquida/área bruta de 0,41.

Durante os ensaios, os autores constataram fissuras nas três amostras, porém elas não comprometeram a estanqueidade do sistema. Na análise da capacidade estrutural, as paredes apresentaram deslocamentos máximos de 32 mm aos 180 minutos, 20 mm aos 190 minutos e 27 mm aos 70 minutos, para as paredes com os blocos C1, C2 e C3, respectivamente. Destaca-se que os sistemas C1 e C3 obtiveram deslocamento reverso por certo período de exposição ao fogo. Na análise do isolamento térmico, os sistemas apresentaram temperaturas acima dos limites médios estabelecidos por normas de 201 minutos para o sistema C1, 158 minutos para o sistema C3, enquanto o sistema C2 não ultrapassou nenhum dos limites normativos durante o decorrer do ensaio, atingido 133,4°C para a temperatura média dos pontos de medição e 150,3°C para o limite pontual.

Bottin et al. (2018) concluíram em seus estudos que a disposição dos alvéolos foi decisiva perante o desempenho do sistema quanto ao isolamento térmico. O sistema C3, com maior número de alvéolos, apresentou menor tempo de resistência ao fogo, sendo 66% inferior ao sistema C2, enquanto este apresentou um desempenho de aproximadamente de 16% superior ao do sistema C1.

2.4.9 Bezerra Junior (2019)

Bezerra Junior (2019) fez um estudo do comportamento de paredes de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos comuns revestidas de pasta de gesso e de alvenaria de bloco de gesso submetidas a altas temperaturas, em que se avaliou o isolamento térmico e a estanqueidade. Far-se-á menção, no momento, apenas aos resultados das alvenarias de vedação de blocos cerâmicos comuns, em virtude das similaridades dos estudos neste trabalho. O autor utilizou blocos cerâmicos de dimensões de 9 cm x 19 cm x 19 cm, argamassa industrializada para assentamentos dos blocos e revestimento de gesso em uma ou nas duas faces das paredes, variando a espessura em 10 mm, 15 mm e 20 mm. Não foram aplicadas cargas nas paredes; e a resistência característica à compressão dos blocos foi de 2,33 MPa.

Nos estudos, Bezerra Junior (2019) ensaiou seis paredes de alvenaria de vedação com dimensão de 1,50 m x 1,50 m, sendo três paredes com revestimento apenas na face exposta ao fogo e três com revestimento em ambas as faces, com variação de espessura de 10 mm, 15 mm e 20 mm cada, sendo, portanto, uma

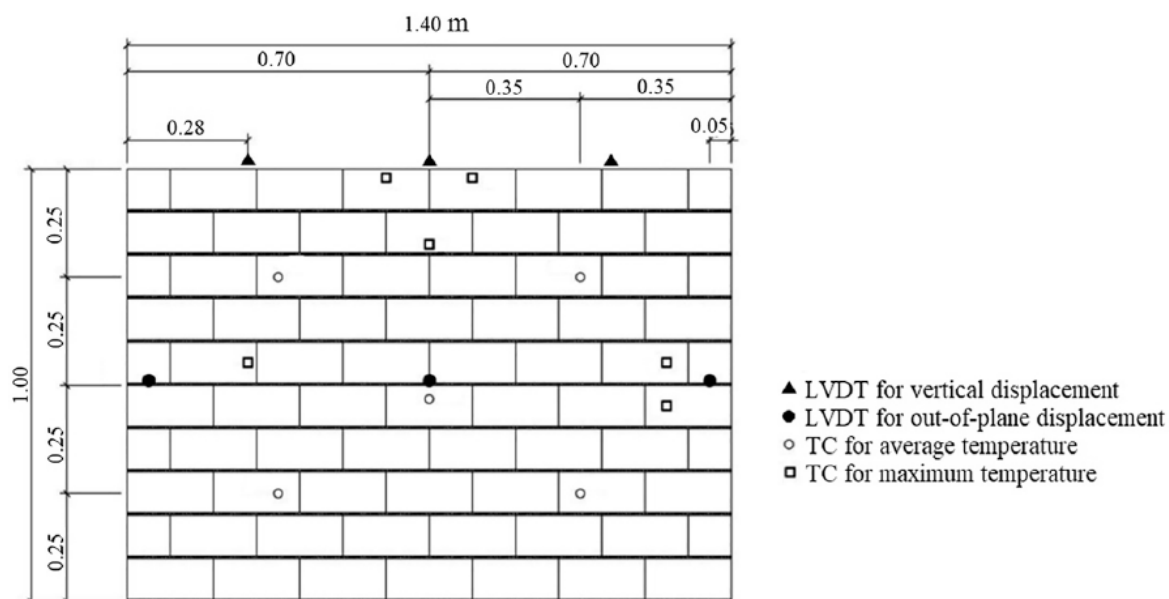
amostra para cada tipo de parede. No experimento, o autor aqueceu apenas uma das faces da parede, atendendo à curva ISO 834 (2014), introduzindo cinco termopares tipo K em cada uma das faces. Os ensaios foram paralisados aos 120 minutos de duração para preservação do forno.

Bezerra Junior (2019) percebeu que as fissuras nas paredes ocorreram na junção bloco-argamassa. As paredes atenderam aos requisitos normativos da NBR 10636 (ABNT, 2022), quanto à estanqueidade e ao isolamento térmico. Entretanto, a parede 10C1 (parede com 10 mm de revestimento de gesso apenas na face exposta ao fogo) apresentou pior desempenho térmico com temperatura média na face não exposta de 130,3°C. A parede 20C2 (parede com 20 mm de revestimento de gesso em ambas as faces) apresentou temperatura média na face não exposta de 52,1°C. O autor constatou que a espessura total da parede, incluso o revestimento e a parede, proporcionou maior contribuição ao isolamento térmico. Desse modo, as paredes 20C1 (parede com 20 mm de revestimento de gesso apenas na face exposta ao fogo) e 10C2 (parede com 10 mm de revestimento de gesso em ambas as faces) apresentaram curvas de aquecimento muito próximas, chegando a uma temperatura média em torno dos 63°C aos 120 minutos.

2.4.10 Oliveira et al. (2021)

Oliveira et al. (2021) fez uma série de ensaios de parede em situação de incêndio com carga inicial aplicada, utilizando blocos de concreto com dimensões de 201 mm x 100 mm x 93 mm. As paredes tinham dimensões de 1,0 m x 1,40 m, inseridas medidores de deslocamento nas direções vertical e horizontal da parede, bem como de temperatura na face não exposta ao fogo, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Dimensões e posição dos medidores das paredes ensaiadas

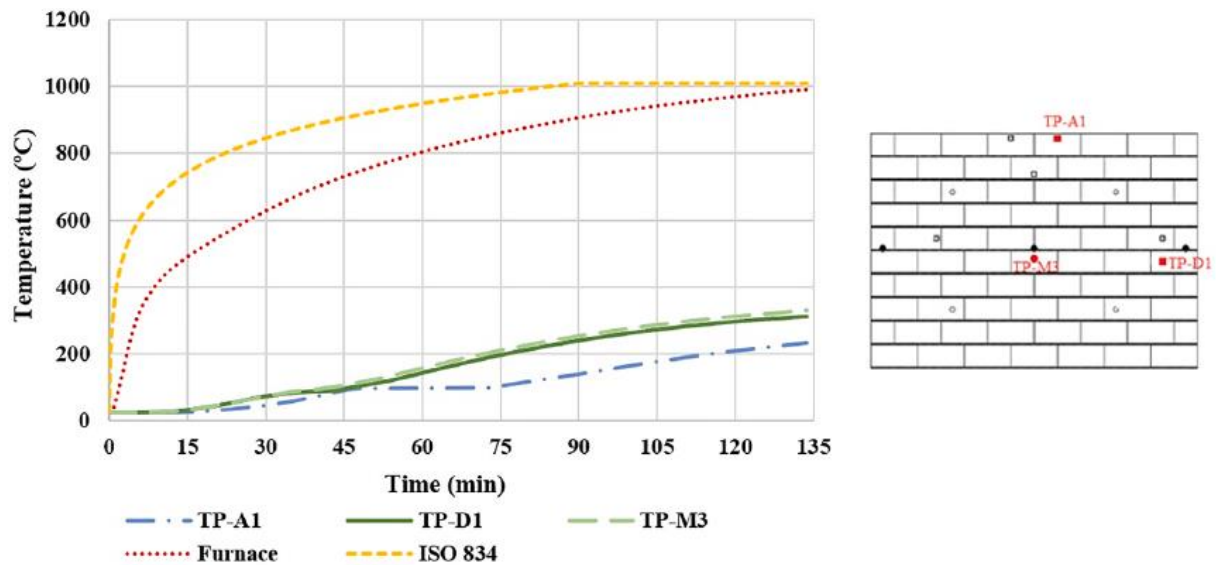


Fonte: Oliveira et al. (2021).

Os autores ensaiaram seis paredes, sendo duas com carga 149 kN/m e duas com carga de 228 kN/m, posteriormente submetidas ao incêndio até atingir um dos critérios de falha. Das seis paredes, tomaram-se duas a serem submetidas a uma carga de 149 kN/m e à exposição do fogo durante 90 minutos e, posteriormente, fazia-se o rompimento para avaliar a capacidade de carga em altas temperaturas. Todas as paredes foram submetidas à curva padrão ISO 834 (2014).

Em seus resultados, Oliveira et al. (2021) observaram que, no início da exposição ao fogo, durante os primeiros 15 minutos, não houve aumento de temperatura na face não exposta, devido à inércia térmica, conforme Figura 21.

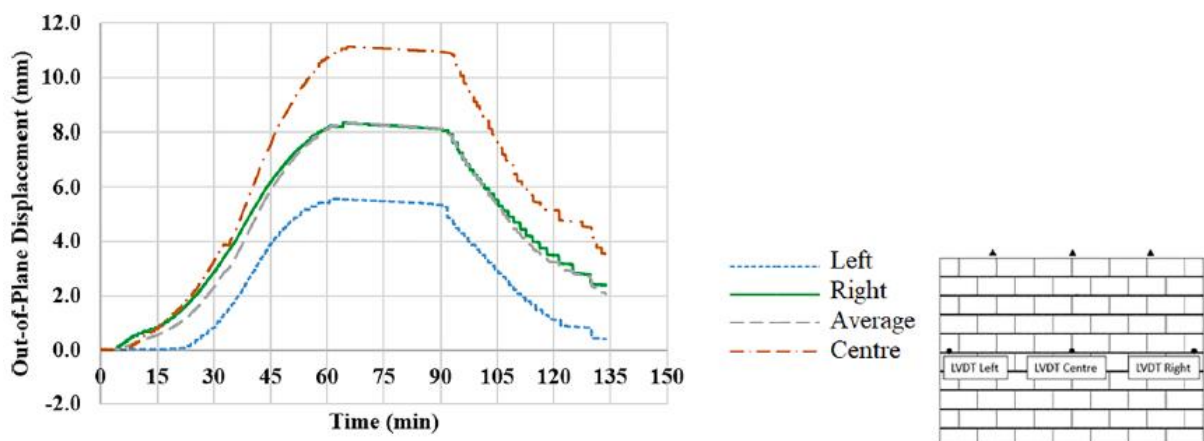
Figura 21 – Comportamento da temperatura no ensaio de uma parede



Fonte: Oliveira et al. (2021).

Observaram, também, como vários outros autores, um patamar de temperatura próxima aos 100°C, indicada pela evaporação da água contida nos blocos e na argamassa de assentamento. As paredes também se curvaram em direção ao fogo devido ao gradiente térmico; porém, quatro paredes apresentaram um patamar em seus deslocamentos laterais, quando, posteriormente, ocorreu uma redução em seus deslocamentos até o fim do ensaio. A Figura 22 mostra o comportamento de uma das paredes ensaiadas por Oliveira et al. (2021).

Figura 22 – Deslocamento lateral de uma das paredes



Fonte: Oliveira et al. (2021).

Duas das seis paredes ensaiadas, com carregamentos diferentes, não apresentaram redução em seus deslocamentos, demonstrando uma dispersão nos resultados, típicas das estruturas de alvenaria, segundo esses autores.

As paredes com menores cargas aplicadas (149 kN/m) atingiram sua capacidade de carga em um tempo médio de 133 minutos, enquanto as paredes com cargas de 228 kN/m tiveram seu tempo médio aos 61 minutos. Quanto à capacidade de isolamento térmico, as paredes apresentaram um tempo médio de 71 minutos ao atingir a temperatura máxima em pelo menos um dos pontos medidos.

Vários outros autores como, Nahhas et al. (2007), Nguyen and Meftah (2012) e Oliveira et al. (2021) perceberam em seus estudos que o nível de carga tem uma influência bastante significativa na resistência ao fogo das estruturas de alvenaria.

O Quadro 2 mostra um resumo das citações feitas sobre as alvenarias de bloco estrutural e de vedação em situação de incêndio. Em todos os estudos apresentados foi utilizada a curva incêndio padrão ISO 834 (2014).

Quadro 2 – Resumo dos estudos feitos sobre alvenaria submetida ao fogo

Autor (Ano)	Estudo	Dimensões do bloco (mm) /Tipo de alvenaria	Carregamento	Tamanho do CP (parede) (m)	Tempo de exposição	Considerações
Nahhas et al. (2007)	Resistência ao fogo de paredes constituídas por blocos vazados: Experimentos e modelagem térmica.	193,6 x 490 x 197 Estrutural	130 kN/m	2,82 x 2,80	6 horas	Deslocamento horizontal máximo em torno de 43 mm aos 40 minutos. O termopar mais afastado da face aquecida apresentou temperatura em torno de 400°C após 6 horas de exposição da parede.
Nguyen et al. (2009)	Comportamento das paredes de alvenaria submetidas a fogo: Modelagem e estudos paramétricos no caso de blocos vazados de argila queimada.	300 x 570 x 100 Estrutural	Sem carga	3,00 x 3,00	4 horas	Deslocamento horizontal máximo no meio do vão em torno de 60 mm aos 30 minutos, ocorrendo uma redução para 49 mm aos 240 minutos de exposição ao fogo.
Nguyen e Meftah (2012)	Comportamento de paredes de alvenaria bloco cerâmico durante o fogo. Parte 1: Análise experimental.	560 x 300 x 100 560 x 200 x 200 560 x 275 x 200 Estrutural	Sem carga 130 kN/m 90 kN/m	3,00 x 3,00	4 horas	Ocorreu o efeito <i>spalling</i> aos 20 minutos em uma das paredes. Nas análises de deslocamentos, todas as paredes curvaram-se em direção ao fogo. Ocorreram maiores deslocamentos nas paredes sem carga.
Nguyen e Meftah (2014)	Comportamento de paredes de alvenaria bloco cerâmico durante o fogo. Parte 2: Modelagem de elementos finitos 3D e avaliação de <i>spalling</i> .	560 x 200 x 200 560 x 275 x 200 Estrutural	130 kN/m	3,00 x 3,00	4 horas	Na simulação numérica, as paredes deformaram-se em direção ao fogo, devido a uma maior expansão dos materiais da face exposta. Os resultados da análise numérica foram bem próximos do experimental, representando-a de forma bastante satisfatória.

Rigão, Lima e Soares (2015)	Aumento de temperatura e solicitação da alvenaria estrutural submetida a temperaturas elevadas.	190 x 290 x 140 Estrutural	78,0 kN/m	0,90 x 1,00	6 horas	As paredes levaram um tempo médio de 209 minutos para atingir o isolamento térmico. Ocorreu aumento da carga em virtude da dilatação da parede, em quase 100% da carga inicial, após 200 minutos de ensaio.
Hennemann et al. (2017)	Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação.	190 x 390 x 140 190 x 390 x 190 Estrutural	Sem carga	3,15 x 3,00	4 horas	O isolamento térmico foi atingido aos 76,0 e 115,0 minutos, para as paredes de 140 mm e 190 mm de espessura, respectivamente. Verificou-se, aos 40 minutos, que as amostras 1 e 2 apresentaram deformações máximas de 30,0 mm e 22,0 mm, respectivamente.
Coelho (2017)	Estudo do Comportamento das Alvenarias de Vedação em Blocos Cerâmicos, Submetidos a Altas Temperaturas.	190 x 190 x 90 Vedação	Sem carga	1,50 x 1,50	Até atingir o limite determinado por norma.	Foi realizado ensaio à quente, nas temperaturas de 200°C, 300°C, 400°C, 500°C e 600°C, constatando-se uma resistência à compressão dos blocos de 2,0 MPa. O tempo de resistência ao fogo para a parede com revestimento em ambas as faces foi de 79,0 minutos; para a parede sem revestimento, de 52,0 minutos; e 67,7 minutos com revestimento em uma face.
Bottin et al. (2018)	Estruturas de alvenaria em situação de incêndio: avaliação experimental em escala real da influência da geometria dos blocos cerâmicos no desempenho estrutural às altas temperaturas.	140 x 290 x 190 Estrutural	90 kN/m	3,15 x 3,00	4 horas	As paredes apresentaram deslocamentos máximos de 32 mm aos 180 minutos, 20 mm aos 190 minutos e 27 mm aos 70 minutos, para as paredes com os blocos C1, C2 e C3, respectivamente. Entretanto os sistemas C1 e C3 obtiveram uma redução do deslocamento por certo período de exposição ao fogo. Concluíram em seus estudos que a disposição dos alvéolos foi decisiva perante o desempenho do sistema quanto ao isolamento térmico.

Bezerra Junior (2019)	Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos revestidas de gesso submetidas a elevadas temperaturas características de processo de incêndio.	190 x 190 x 90 Vedação	Sem carga	1,50 x 1,50	2 horas	Todas as amostras atenderam aos requisitos normativos de estanqueidade e de isolamento térmico. Entretanto, a parede 10C1 apresentou pior desempenho térmico com temperatura média na face não exposta de 130,3°C. A parede 20C2 apresentou temperatura média na face não exposta de 52,1°C.
Oliveira et al. (2021)	Alvenaria estrutural de blocos de concreto, sem revestimento, com carga inicialmente aplicada submetida ao incêndio	201 x 100 x 93 Estrutural	149 kN/m 228 kN/m	1,00 x 1,40	Até o critério de falha	As paredes curvaram em direção ao fogo. Paredes com maiores cargas aplicadas atingiram a capacidade de carga em menos tempo de exposição ao fogo. As paredes atingiram seu critério de isolamento em um tempo médio de 71 minutos.

Fonte: O Autor (2023).

Em resumo, o que foi exposto neste capítulo e no Quadro 2, percebe-se a variabilidade nas dimensões e tipos de blocos utilizados nas pesquisas, bem como o tamanho das paredes analisadas influencia no comportamento em situação de incêndio. Apenas duas pesquisas citadas analisaram o comportamento dos blocos cerâmicos comuns, ambas sem carregamento; as demais verificaram o desempenho das paredes com bloco cerâmico estrutural, apesar de duas delas não aplicarem carregamento.

Os ensaios tinham uma variação nas dimensões das paredes analisadas e o tempo de exposição ao fogo, na maioria dos ensaios foi de 4 horas, entretanto algumas foram até atingir um dos critérios de falha da parede. Durante os ensaios o efeito do *spalling* ocorreu em apenas uma pesquisa citada. As pesquisas destacaram que as paredes curvaram em direção ao fogo e apresentaram em sua maioria patamares de temperatura aos 100°C, tanto na argamassa de assentamento quanto nos blocos cerâmicos. Assim, percebeu-se uma lacuna significativa no estudo das paredes de alvenaria em situação de incêndio, e mais ainda quando estes elementos estão submetidos a carregamentos, principalmente nas pesquisas desenvolvidas no Brasil.

Desse modo, mostra-se a importância e a relevância deste estudo que procurou compreender o comportamento das paredes de alvenaria de blocos cerâmicos comuns e de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, quando submetidas, simultaneamente, a um carregamento distribuído e ao fogo.

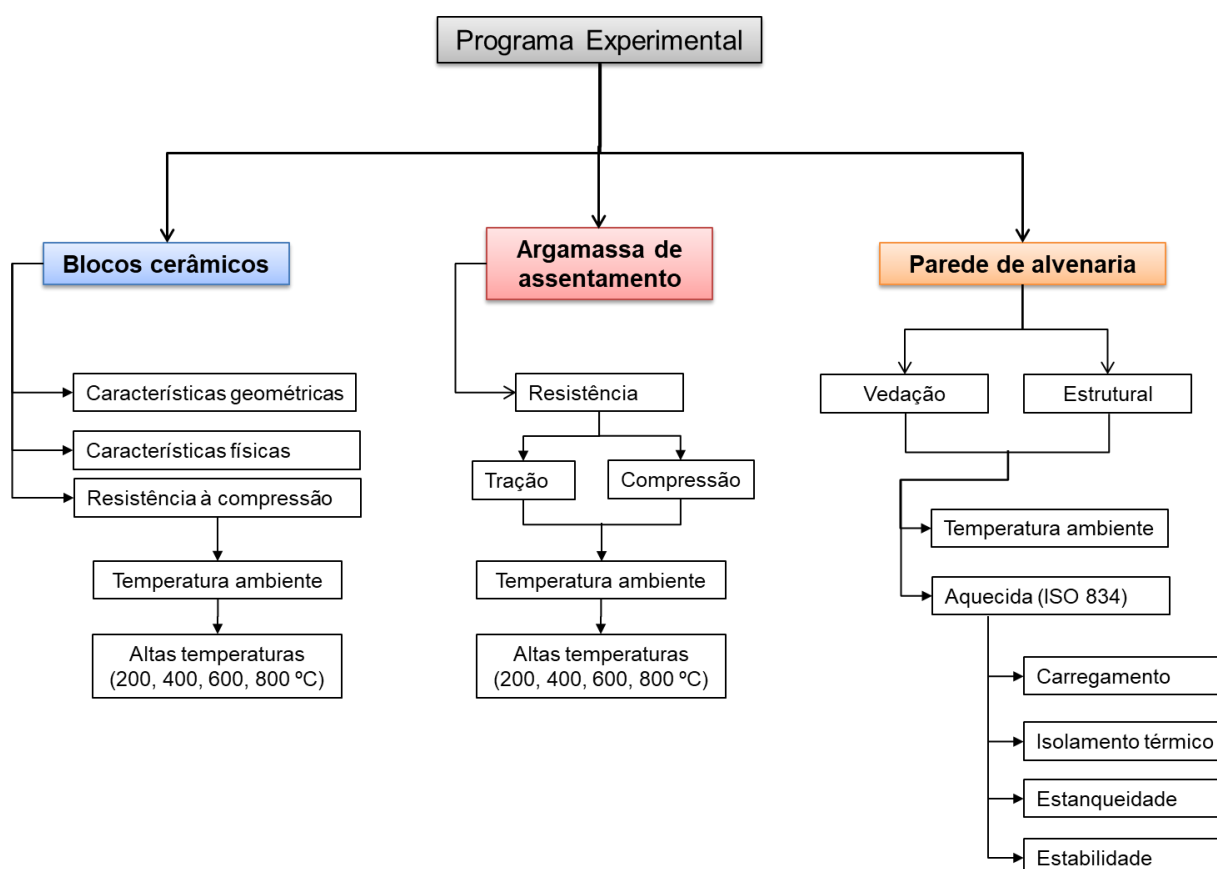
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesta etapa, serão apresentados os materiais, os equipamentos e os métodos empregados na pesquisa para atingir os objetivos. Este capítulo está organizado em duas seções: MATERIAIS E EQUIPAMENTOS e MÉTODOS.

A metodologia desta pesquisa consistiu em avaliar o comportamento de paredes de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos comuns e as de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais sob carregamento distribuído, quando submetidas as altas temperaturas. Foram avaliadas também as propriedades dos blocos cerâmicos e da argamassa de assentamento utilizadas para a confecção das paredes.

A Figura 23 mostra o fluxograma esquemático do programa experimental, demonstrando as etapas de estudo, os materiais envolvidos, os ensaios realizados e as variáveis envolvidas.

Figura 23 – Fluxograma esquemático do programa experimental



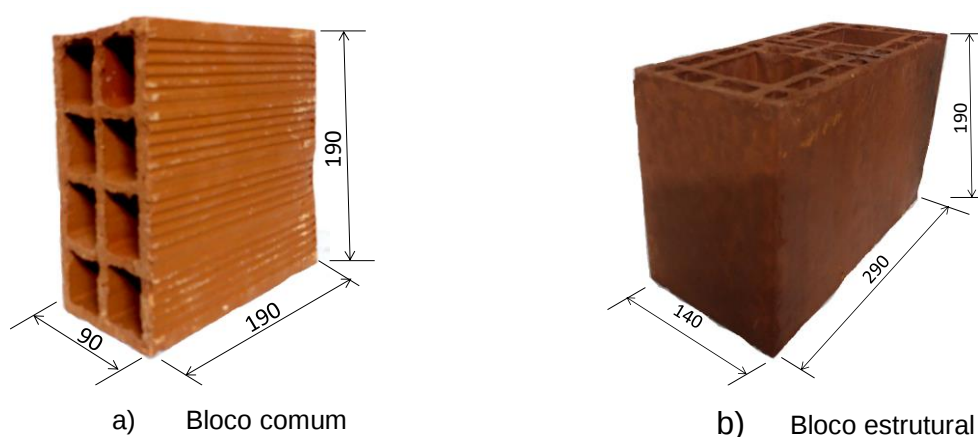
Fonte: O Autor (2023).

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.1.1 Bloco cerâmico

Os blocos cerâmicos comuns (BC), para paredes de vedação, utilizados eram constituídos por blocos de oito furos, cujas dimensões nominais de comprimento, largura (espessura) e altura eram respectivamente 190 mm, 90 mm e 190 mm, atendendo, portanto, aos requisitos da NBR 15270-1 (ABNT, 2017), e classificados segundo a mesma norma como classe VED15. Para moldagem de todas as paredes de vedação, utilizaram-se os blocos cerâmicos do mesmo lote (ver Figura 24a).

Figura 24 – Forma e dimensões dos blocos cerâmicos, unidades em mm



Fonte: O Autor (2023).

Os blocos cerâmicos estruturais (BE), para as paredes estruturais, tinham as dimensões nominais de comprimento, largura (espessura) e altura, da seguinte forma: 290 mm, 140 mm e 190 mm, respectivamente, atendendo aos requisitos da norma citada acima, sendo classificados segundo a mesma norma como classe EST40 (ver Figura 24b). Para moldagem das paredes estruturais, utilizaram-se blocos cerâmicos de dois lotes, tendo nomenclaturas de BE (lote 1) e BE2 (lote 2).

Os blocos cerâmicos comuns foram fornecidos pela Indústria Cerâmica Araçá Ltda., localizada na cidade de Timbaúba/PE e os blocos cerâmicos estruturais fornecidos pela Cerâmica Buenos Aires Ltda, localizada na cidade de Buenos Aires/PE. Os ensaios de verificação de conformidade dos blocos foram realizados de acordo com as prescrições da NBR 15270-2 (ABNT, 2017).

3.1.2 Argamassa de assentamento

As argamassas utilizadas para assentamentos dos blocos cerâmicos para confecção das paredes, tanto de vedação quanto estrutural, foram argamassas cimentícias industrializadas, com especificações técnicas para assentamento e revestimento de alvenarias, segundo a norma NBR 13281 (ABNT, 2023), fornecida pela empresa Rhotac Indústria e Comércio de Argamassa Ltda., localizada no município de Maceió/AL. De acordo com o fornecedor, a argamassa foi produzida segundo a NBR 14081 (ABNT, 2012). A indicação da composição do traço das argamassas empregadas nesta pesquisa consta na Tabela 3.

Tabela 3 – Traço de argamassa utilizada

Tipo	Cimento (kg)	Areia (kg)	Aditivo – IJT (kg)	a/m (kg/kg)
Tipo 1 (A1)	100	750	0,40	0,20
Tipo 2 (A2)	100	250	0,60	0,18
Tipo 3 (A3)	100	350	0,60	0,18

Fonte: O Autor (2023).

O aditivo IJT tem a função agregar algumas vantagens às argamassas utilizadas, como maior aderência entre os blocos, coesão, trabalhabilidade e menor exsudação. O fator a/m da Tabela 3, representa a relação entre a água de amassamento e a massa seca de argamassa.

3.1.3 Forno para ensaios térmicos

Os fornos utilizados para os ensaios térmicos dos vários corpos de prova (blocos, prismas de argamassa e paredes de alvenaria) foram de dois tipos. O forno menor, indicado na Foto 4, com dimensões horizontal, vertical e profundidade de 62,0 cm, 73,0 cm e 61,0 cm, respectivamente, utilizado para os ensaios térmicos dos blocos e prismas de argamassas.

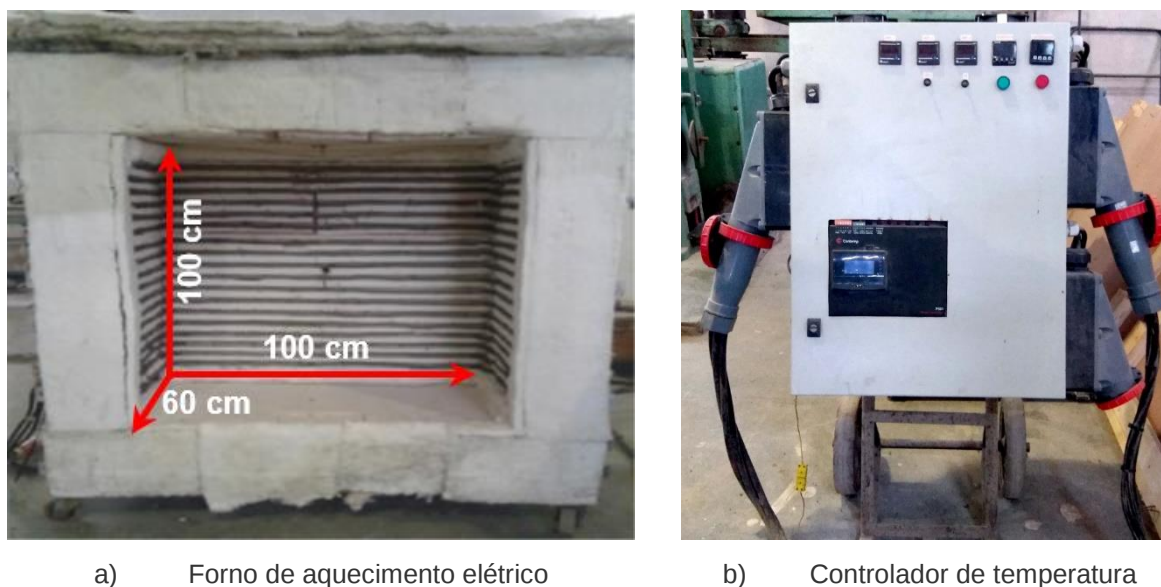
Foto 4 – Forno menor para ensaio térmico dos blocos e das argamassas



Fonte: O Autor (2023).

O forno maior para os ensaios das paredes de alvenaria têm dimensões horizontal e vertical de 1,0 m, correspondendo, portanto, a uma área efetiva de aquecimento de $1,0 \text{ m}^2$. A Foto 5 apresenta uma vista geral do forno e do equipamento controlador de programação de temperatura. O forno maior tem uma capacidade de operar a uma temperatura de até 1.370°C , conforme especificação do fabricante, cujo controlador permite o controle de temperatura conforme a programação desejada.

Foto 5 – Forno maior para ensaios das paredes



a) Forno de aquecimento elétrico

b) Controlador de temperatura

Fonte: O Autor (2023).

Ambos os fornos podem ser programados por controlador para diferentes taxas de aquecimento; no entanto, apenas o forno maior possuía capacidade suficiente e

satisfatória para representar o comportamento da curva de aquecimento característica de um incêndio padrão estabelecida pela ISO 834 (2014).

3.1.4 Equipamentos hidráulicos

Foram utilizados dois tipos de prensa para realização dos ensaios de determinação da resistência dos blocos cerâmicos e das argamassas de assentamento.

Na determinação da resistência à compressão dos blocos cerâmicos, foi utilizada a prensa hidráulica de capacidade de 3.000 kN, modelo 5590-HLV Series, da fabricante Instron (ver Foto 6a). Já para a determinação da resistência à compressão e à tração da argamassa, os ensaios foram feitos na prensa hidráulica de capacidade de 300 kN, modelo AGS-X 300 kN, da fabricante Shimadzu (ver Foto 6b). Optou-se por este equipamento por se ter uma maior precisão, visto que as resistências das argamassas eram menores, principalmente a tração, assim como a exigência normativa quanto à taxa de aplicação da carga.

Foto 6 – Prensas hidráulicas utilizadas



a) Prensa de capacidade de 3.000 kN.



b) Prensa de capacidade de 300 kN.

Fonte: O Autor (2023).

A realização dos ensaios de resistência à compressão dos blocos cerâmicos foi baseada nas prescrições normativas da NBR 15270-2 (ABNT, 2017), enquanto a

resistência à compressão e à tração da argamassa de assentamento, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005).

A realização da aplicação da carga nas paredes de alvenaria foi feita por meio de uma bomba hidráulica, modelo ZU4408LI-H, do fabricante Enerpac, e o cilindro hidráulico, do mesmo fabricante, com capacidade de carga de 2500 kN, pistão com 300 mm de curso e adaptado com rótula (Foto 7a e Foto 7b). Salienta-se que o sistema de aplicação de carga está esquematizado no tópico MÉTODOS. Convém destacar que o macaco hidráulico está fixo em uma viga intermediária do pórtico metálico; este aplica uma carga concentrada na viga metálica rígida e esta distribui a carga para parede de alvenaria.

Foto 7 – Sistema do macaco hidráulico



a) Bomba hidráulica.



b) Macaco hidráulico.

Fonte: O Autor (2023).

3.1.5 Equipamentos de medição

Para a medição da temperatura na parede de alvenaria na face interna (exposta ao fogo) e externa (não exposta ao fogo), foram utilizados termopares do tipo K (fio termopar e termosonda) – ver Foto 8. Para tal, foram colocados três termopares na parte interna do forno, nesse caso, a termosonda; cinco termopares na face externa da parede e três termopares na junta de argamassa de assentamento, sendo um na face exposta, um na face não exposta e outro no interior da espessura da junta.

Foto 8 – Termopares tipo K



a) Fio termopar



b) Termosonda.

Fonte: O Autor (2023).

Para leitura dos deslocamentos laterais da parede, foram utilizados dois potenciômetros elétricos com uma capacidade de medição de 500 mm, sendo posto um no meio da parede e outro na parte superior. Utilizou-se também dois transdutores do tipo defletoômetro elétrico indutivo (LVDT - *Linear Variable Differential Transformer*), com capacidade de medição de 50 mm para a medição dos deslocamentos verticais da viga metálica, posto na viga metálica (ver Foto 9).

Foto 9 – Medidores de deslocamentos



a) Potenciômetro elétrico.



b) Defletoômetro elétrico indutivo (LVDT).

Fonte: O Autor (2023).

O controle e medição da carga aplicada foi tomado por intermédio da célula de carga de capacidade de 500 kN, colocada entre o êmbolo do macaco hidráulico e as vigas metálicas rígidas que distribuirão a carga às paredes de alvenaria (ver Foto 10).

Foto 10 – Medidor de carga – célula de carga



Fonte: O Autor (2023).

Foram registradas imagens térmicas da face não aquecida das paredes com uma com a câmera termográfica, modelo FLIR i7, Foto 11, posto a uma distância 2,5 m da parede em posição que capturasse toda a face da mesma. Porém, só foi possível capturar as imagens dos últimos quatros ensaios, visto que, o equipamento só foi conseguido ao final dos experimentos, porém não comprometendo as análises e desenvolvimento da pesquisa. Servindo, desse modo, como complemento nas análises realizadas.

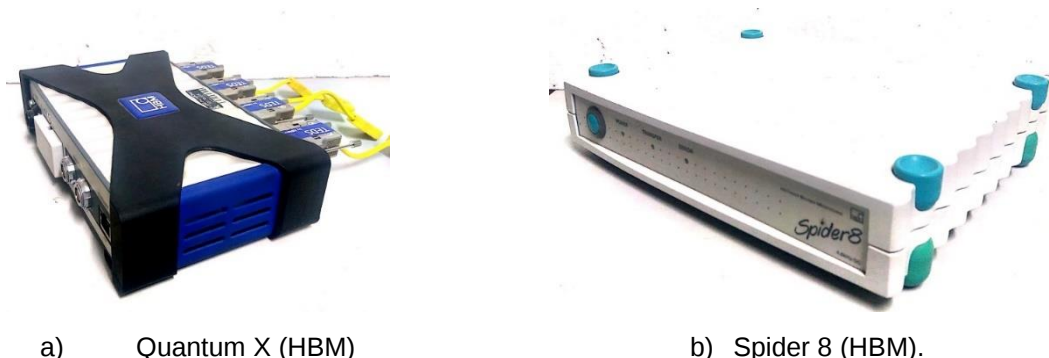
Foto 11 – Câmera termográfica



Fonte: O Autor (2023).

Para a obtenção dos dados, foram utilizados três *datalogger*, um do modelo Quantum X (HBM) e três do modelo Spider 8 (HBM), feitos por meio do *software* computacional *Catman*, instalado em dois computadores para realização das leituras durante o procedimento dos ensaios das paredes de alvenaria (ver Foto 12).

Foto 12 – Equipamentos de aquisição de dados



a) Quantum X (HBM)

b) Spider 8 (HBM).

Fonte: O Autor (2023).

3.2 MÉTODOS

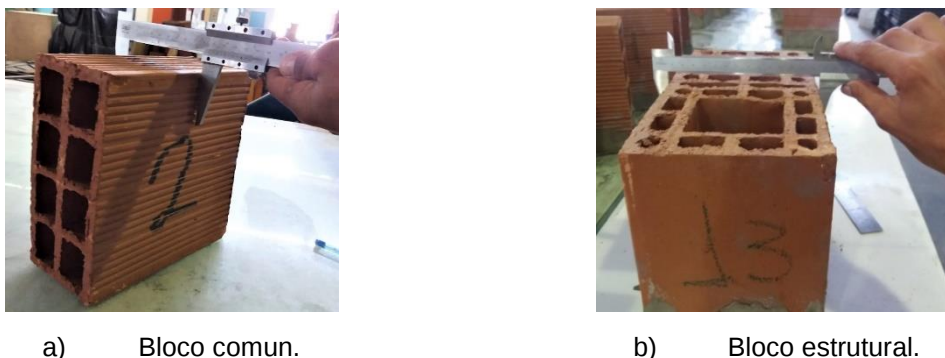
Nesta etapa, serão expostos os métodos e procedimentos utilizados para a realização dos ensaios como: caracterização dos blocos cerâmicos e argamassas de assentamento, resistências dos blocos cerâmicos e argamassa em temperatura ambiente e altas temperaturas, ensaio das paredes de alvenaria.

3.2.1 Caracterização geométrica dos blocos

Para a realização da caracterização geométrica dos blocos cerâmicos, foram utilizados os parâmetros normativos da NBR 15270-2 (ABNT, 2017) - Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios.

Desse modo, conforme prescreve a NBR 15270-2 (ABNT, 2017), dos lotes fornecidos pela empresa, foram utilizadas 13 unidades para cada tipo de blocos, blocos cerâmicos comuns e estruturais, separados de forma aleatória, e preparados para os ensaios. Os blocos foram submetidos à medição de duas dimensões de cada região, largura (espessura), altura e comprimento, em locais diferentes e opostos. As medições das paredes externas e dos septos internos foram verificadas por quatro medidas em locais diferentes. Todas as medições foram realizadas com paquímetro analógico com resolução mínima de 0,05 mm (ver Foto 13).

Foto 13 – Caracterização geométrica dos blocos cerâmicos



Fonte: O Autor (2023).

Todas essas medições objetivaram verificar se os blocos estavam dentro dos parâmetros normativos para aceitação do lote. Os blocos apresentaram dimensões dentro da faixa dimensional exigida pela norma citada acima; desse modo, sendo aceito para utilização na pesquisa.

3.2.2 Caracterização física – Ensaio de absorção

Para a realização da caracterização física dos blocos cerâmicos, foram utilizados os parâmetros normativos da mesma norma NBR 15270-2 (ABNT, 2017). O parâmetro do índice de absorção exigido deve ficar entre os valores de 8% a 22% e de 8% a 25% de absorção de água para os blocos cerâmicos comuns e estruturais, respectivamente.

Foram utilizados para a amostragem, conforme prescreve a NBR 15270-2 (ABNT, 2017), seis unidades de blocos cerâmicos comuns e seis unidades de blocos estruturais; esses blocos foram os seis primeiros utilizados para a caracterização geométrica. Inicialmente os blocos foram colocados em uma estufa por um período mínimo de 6 horas a uma temperatura de 105°C. Posteriormente, os blocos eram retirados da estufa e fazia-se a verificação de sua massa até que duas dessas pesagens consecutivas em um intervalo de 1 hora não diferissem de 0,25% em relação à medição anterior, sendo portanto esta última pesagem a massa seca do bloco. As pesagens foram feitas com uma balança de capacidade de 4.100 g para os blocos cerâmico comuns e 150.000 g para os blocos cerâmicos estruturais, com resolução mínima 0,1 g e 5 g, respectivamente.

Em seguida, os blocos eram colocados em processo de saturação, sendo submersos em reservatório com água a temperatura ambiente, durante 24 h. Após

esse tempo, a amostra era retirada do recipiente, removido o excesso de água com um pano limpo e úmido, e pesada.

Durante o processo desse ensaio, com o objetivo de construir uma curva de absorção *versus* tempo, foi realizado o mesmo procedimento descrito do ensaio normatizado nos diferentes tempos submersos (1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 e 96 horas), determinando-se, assim, as absorções parciais dos blocos cerâmicos.

3.2.3 Resistência dos blocos

Na realização dos ensaios de resistência à compressão dos blocos cerâmicos, foram empregados, também, os parâmetros normativos da norma NBR 15270-2 (ABNT, 2017).

Para o caso, foram usados para a amostragem os 13 blocos cerâmicos utilizados para a caracterização geométrica, conforme prescreve a NBR 15270-2 (ABNT, 2017). Os blocos foram capeados (ver Foto 14) e armazenados no galpão à temperatura ambiente até o procedimento do ensaio. Para a realização dos ensaios, os blocos eram submersos em água durante 24 horas, quando eram retirados do recipiente e eliminado o excesso de água para realização do ensaio de compressão. Os blocos eram ensaiados de modo saturado, sendo aplicada uma taxa de carga de 0,05 MPa/s.

Foto 14 – Blocos cerâmicos capeados



a) Bloco comum



b) Bloco estrutural.

Fonte: O Autor (2023).

Os ensaios de resistência à compressão dos blocos cerâmicos foram realizados na prensa com capacidade de 3.000 kN, conforme está mostrando a Foto 15.

Foto 15 – Ensaio de resistência à compressão de blocos cerâmicos



c) Bloco comum



d) Bloco estrutural.

Fonte: O Autor (2023).

A determinação da resistência dos blocos sob altas temperaturas também fora executada nessa prensa.

3.2.4 Resistência das argamassas

A argamassa industrializada utilizada no assentamento dos blocos das paredes de alvenaria foi ensaiada quanto a sua resistência à tração, na flexão por três pontos, e à compressão, adotando-se os procedimentos normativos da norma da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para dosagem da argamassa cimentícia empregada nas paredes de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos comuns (Tipo 1 – A1), utilizou-se a proporção recomendada pelo fabricante e indicado na Tabela 3. Entretanto, para a argamassa de assentamento das paredes de alvenaria com blocos cerâmicos estruturais, foram realizados vários testes de argamassa, para definir a argamassa a ser utilizada na execução das paredes, sendo utilizados os traços de argamassas mostrados na Tabela 3. Porém, após definir o traço de argamassa, os procedimentos de ensaios foram os mesmos para ambas argamassas.

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram durante 48 horas no molde (ver Foto 16a). Posteriormente, eles foram mantidos em cura nas condições ambientes até a realização do ensaio, aos 28 dias, com tolerância de realização de 8 horas.

Foram produzidos seis corpos de prova (CP) prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) para ensaio à tração na flexão e doze corpos de prova, utilizados para realizar os ensaios de resistência à compressão – ver Foto 16.

Foto 16 – Corpos de prova de argamassa



a) CP para ensaios à tração na flexão.

b) CP para ensaios à compressão.

Fonte: O Autor (2023).

Para a realização dos ensaios de tração por flexão e de compressão, adotou-se o procedimento da norma NBR 13279 (ABNT, 2005), em que foram utilizados os equipamentos mostrados na Foto 17, realizados na prensa, com capacidade de carga de 300 kN. Com o corpo de prova devidamente posicionado, a prensa hidráulica era programada e acionada para aplicação de carga com uma taxa de 50 N/s, para o ensaio de resistência à tração, e de 500 N/s, para o ensaio de resistência à compressão, de acordo com os parâmetros normativos.

Foto 17 – Equipamento de ensaio de resistência das argamassas



a) Ensaio à tração na flexão.



b) Ensaio de compressão.

Fonte: O Autor (2023).

A resistência à tração na flexão é determinada segundo a Equação 5.

$$f_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3} \quad (5)$$

Em que:

f_f é a resistência a tração na flexão, em MPa;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;

L é a distância entre os suportes, em mm.

Já a resistência à compressão é determinada segundo a Equação 6.

$$f_c = \frac{F_c}{1600} \quad (6)$$

Em que:

f_c é a resistência à compressão, em MPa;

F_c é a carga máxima aplicada, em N.

3.2.5 Resistência dos primas

Foram realizados prismas com os blocos cerâmicos e as argamassas empregados nesta pesquisa, para, com isso, segundo a NBR 16868-3 (ABNT, 2020), estimar a capacidade de carga teórica das paredes de alvenaria. Utilizaram-se seis prismas para cada lote de bloco cerâmico e para cada tipo de argamassa (Foto 18).

Foto 18 – Grupo de prismas para ensaio à compressão



Fonte: O Autor (2023).

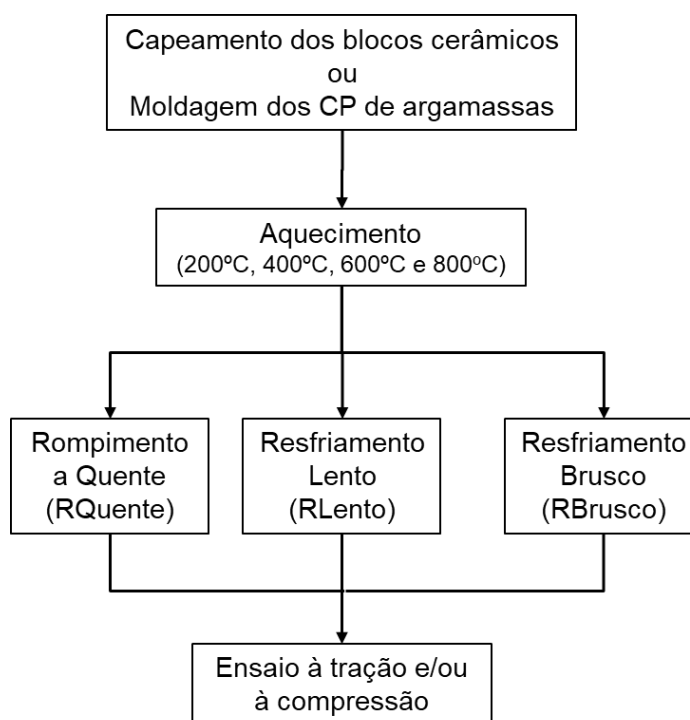
3.2.6 Blocos e argamassas sob altas temperaturas

Foram realizados ensaios de corpos de prova de blocos cerâmicos e de argamassa para entender seu comportamento quando submetidos a altas temperaturas. A metodologia de ensaio foi similar aos estudos realizados por Borges

(2018). As amostras foram aquecidas no forno menor (Foto 4) às temperaturas de 200°C, 400°C, 600°C e 800°C a uma taxa de 5°C/min. Ao atingir a temperatura de ensaio, mantinha-se esta temperatura durante uma hora para uniformizar a temperatura interna das amostras, e, posteriormente, realizava-se o ensaio à tração e/ou à compressão à quente ou com resfriamento dos corpos de prova.

As amostras foram ensaiadas em três condições de ensaio diferentes para cada temperatura de análise (200°C, 400°C, 600°C e 800°C): ensaio à quente (RQuente) – as amostras eram retiradas do forno e levadas à prensa para rompimento; ensaio com resfriamento brusco (RBrusco) – retiravam-se os corpos de prova do forno e submetiam-nos a jatos d'água durante 10 minutos, e, após 24 horas, eram rompidos; e ensaio com resfriamento lento (RLento) – permanecia-se com as amostras no interior do forno desligado, durante 24 horas, e rompiam-nas, posteriormente. A Figura 25 apresenta o fluxograma de procedimento dos ensaios das amostras sob altas temperaturas.

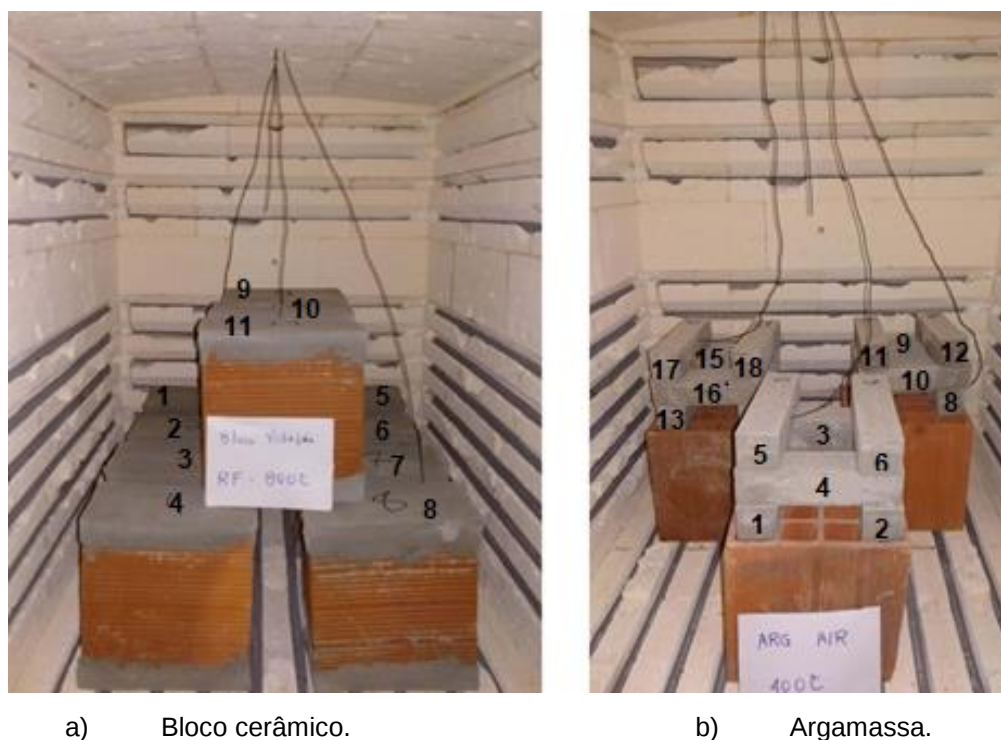
Figura 25 – Fluxograma de ensaio sob altas temperaturas



Fonte: O Autor (2023).

A Foto 19 mostra a disposição dos materiais no interior do forno para ensaios sob altas temperaturas e suas respectivas identificações.

Foto 19 – Esquema da disposição dos materiais no forno



Fonte: O Autor (2023).

Foram colocados no forno 11 blocos cerâmicos comuns para cada procedimento de ensaio (RQuente, RBrusco e RLento), espaçados entre si, para que a temperatura atingisse todas as amostras de forma equivalente, conforme a Foto 19a. Desse modo, o forno foi acionado 12 vezes para poder se fazer todos os procedimentos de rompimento para as quatro temperaturas em estudo. Já os corpos de prova de argamassa foram dispostos em forma de fogueira, de modo a se ter uma maior uniformização da temperatura nas amostras, como mostra a Foto 19b. Foram colocadas 18 amostras de prismas para cada temperatura de estudo, dispostas em três grupos, cada grupo com seis prismas para cada tipo de procedimento de ensaio; assim, o forno, na análise das argamassas, foi acionado quatro vezes. Para acompanhar a evolução da temperatura, foram colocados quatro termopares, sendo três na face externa das amostras e um na parte interna do forno para medir a temperatura dos gases.

Destaca-se que foram feitos ensaios térmicos apenas para os blocos cerâmicos comuns, visto que o forno menor não tinha espaço suficiente para colocar mais do que quatro amostras de blocos cerâmicos estruturais. Já para as argamassas, foram realizados todos os procedimentos e ensaios sob altas temperaturas tanto para

argamassas de assentamento das paredes com blocos cerâmicos comuns e estruturais.

3.2.7 Paredes de alvenaria

Foram confeccionadas paredes de alvenaria com dimensões de 1,60 m de altura e 1,50 m de largura. As paredes foram construídas sobre pórticos metálicos articulados, servindo como sustentação, amarração e apoio durante o transporte até o local de ensaio. As paredes não foram revestidas, para, com isso, avaliar-se a situação mais desfavorável em uma edificação.

Entretanto, é importante destacar que as dimensões das paredes confeccionadas para este estudo, 1,60 x 1,50 m, foram divergentes das prescrições normativas estabelecidas pela NBR 5628 (ABNT, 2022), 2,50 x 2,50 m. Tal consideração foi necessária, em virtude das dimensões do forno para seu aquecimento, das limitações do pórtico de reação, de outros equipamentos contidos na instituição, bem como da segurança dos técnicos e pesquisador para o desenvolvimento de paredes com as dimensões normativas.

É importante registrar que as paredes de alvenaria de blocos cerâmicos comuns, paredes de vedação, tiveram seus blocos assentados com os furos na horizontal, enquanto as paredes com blocos estruturais, paredes estruturais, seus blocos foram dispostos na vertical. Para todas as paredes, foram utilizadas juntas de argamassa na vertical e na horizontal, com espessura de 10 mm, como se pode observar na Foto 20. As juntas horizontais das paredes de vedação foram colocadas em toda a face do bloco cerâmico comum. O preenchimento das juntas nos blocos estruturais foi feito com juntas totais, isto é, colocada argamassa em toda a região horizontal dos septos do bloco estruturais.

Foto 20 – Paredes de bloco cerâmico executadas



a) Parede com bloco comun.



b) Parede com bloco estrutural.

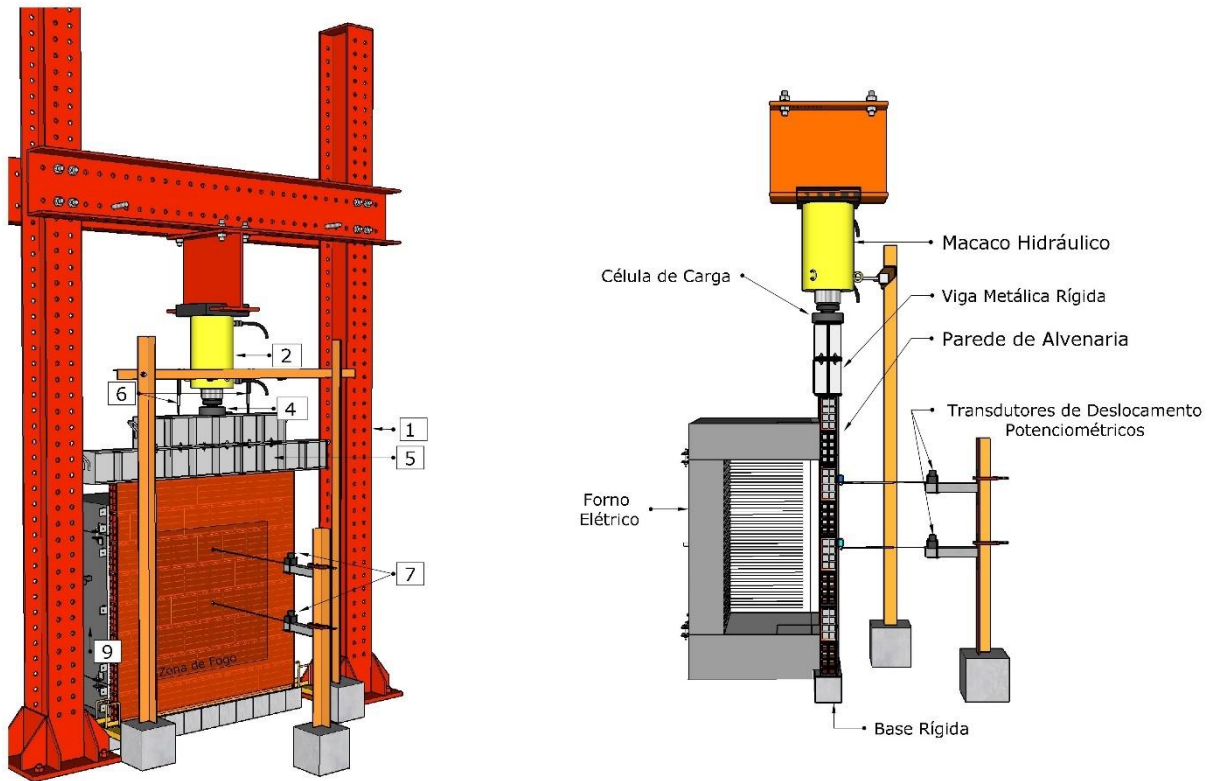
Fonte: O Autor (2023).

As paredes foram armazenadas no galpão da instituição e ficaram protegidas das intempéries até o momento do ensaio, o qual ocorreu após 28 dias de executadas tais paredes.

3.2.8 Configuração do ensaio

A seguir, mostra-se a montagem e a visão geral do experimento para o ensaio das paredes de alvenaria em situação ambiente e submetidas ao incêndio (Figura 26 e Foto 21).

Figura 26 – Montagem do experimento: ensaio de parede

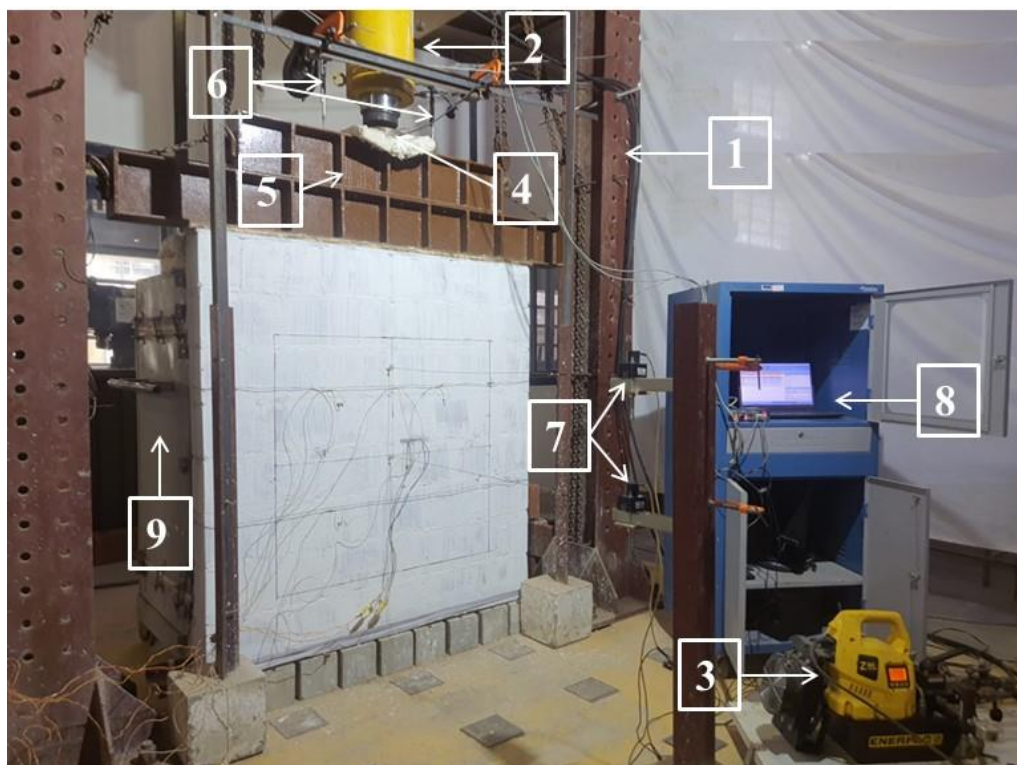


a) Perspectiva.

b) Vista transversal.

Fonte: O Autor (2023).

Foto 21 – Visão geral do experimento ensaio de parede



Fonte: O Autor (2023).

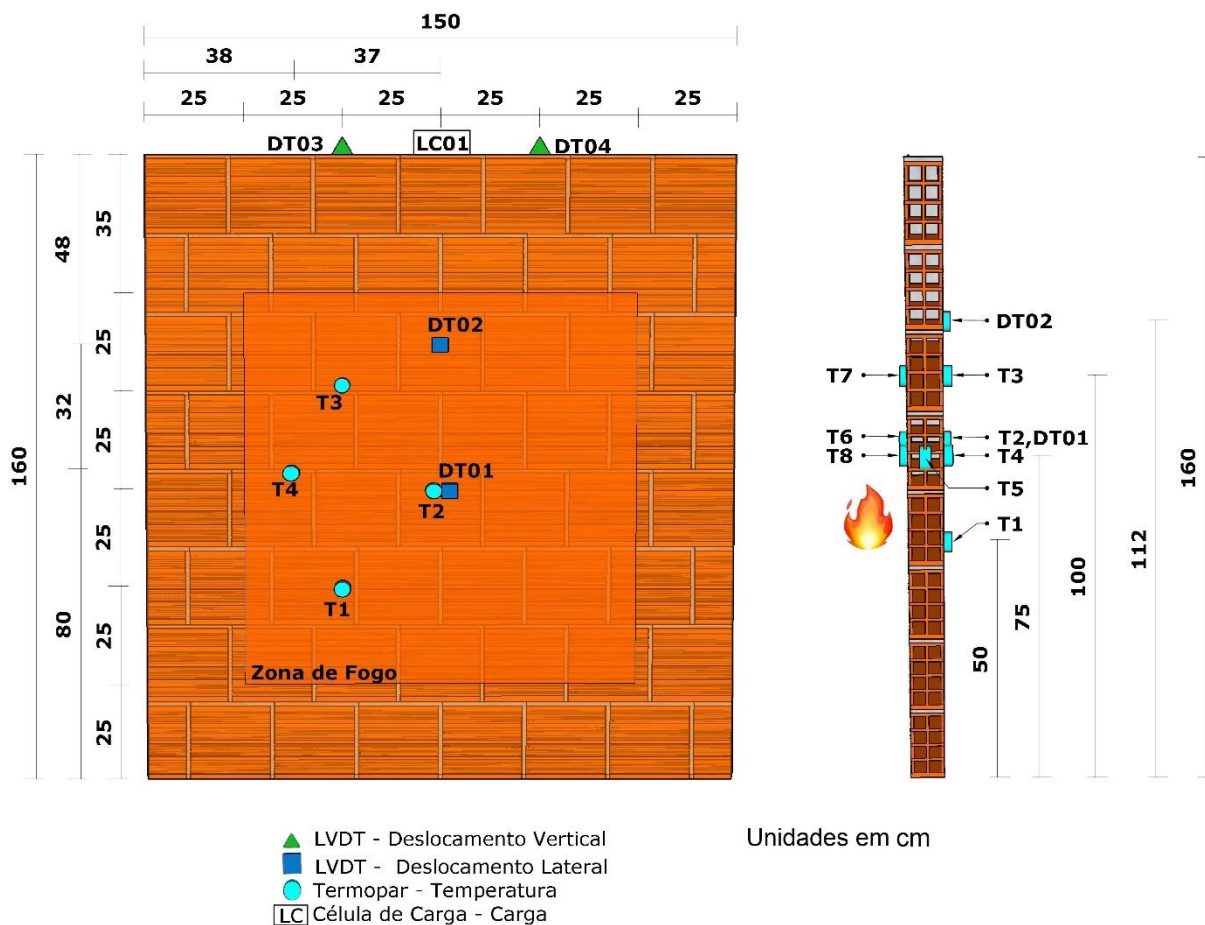
O pórtico 2D (1) consiste em dois pilares e uma viga rígida no qual é fixado o macaco hidráulico (2), para a aplicação da carga mecânica por meio da bomba hidráulica elétrica (3), com válvulas de controle, que permitem o controle de velocidade de carga e travamento do êmbolo do macaco hidráulico para restrição ou não do deslocamento vertical da parede. A carga aplicada é monitorada pela célula de carga (4), colocada entre o pistão do macaco hidráulico e um conjunto composto por duas vigas metálicas rígidas (5) para transferência de carga de forma distribuída. Acima da viga metálica, foram colocados dois LVDT (6) para acompanhar os deslocamentos verticais e dois transdutores de deslocamento potenciométricos (7), no plano da parede, para verificar os deslocamentos laterais. Um esquema com o posicionamento da instrumentação aqui referida encontra-se demonstrado na Figura 27. Todos os dados eram armazenados, continuamente, por um sistema de aquisição de dados (8).

Para os ensaios de resistência ao fogo, o forno (9) foi posto em uma das faces da parede, e a interface de contato entre a parede e o forno foram isoladas com manta de fibra cerâmica para evitar a perda de calor.

3.2.9 Instrumentação da parede

A instrumentação das paredes foi feita conforme o esquema da Figura 27. Foram colocados dois transdutores de deslocamentos potenciométricos de 500 mm (DT01 e DT02, inseridos no eixo vertical da parede a $\frac{1}{2}$ e a $\frac{3}{4}$ da altura da parede, respectivamente, para medir o deslocamento lateral da parede. Já o deslocamento vertical foi medido por meio de dois LVDTs (DT03 e DT04), distanciados 25 cm do eixo da parede. A medição das cargas foi obtida por uma célula de carga (LC01) de 500 kN posicionada entre o macaco hidráulico e as vigas metálicas.

Figura 27 – Instrumentação para ensaios das paredes



Fonte: O Autor (2023).

Para acompanhar a evolução da temperatura na parede, foram dispostos 8 (oito) termopares (T1 a T8) tipo K entre a face exposta e a não exposta ao fogo. Também foi colocado um termopar (T5) no meio da junta horizontal de argamassa de assentamento, entre as faces externas e internas da parede, conforme ilustrado. Os termopares T4, T5 e T8; T3 e T7; T2 e T6 estão na mesma altura, distribuídos entre a face não exposta e a exposta ao fogo, conforme mostra a Figura 27.

O forno é acionado para simular o incêndio – a carga térmica –, quando a carga mecânica prevista para o respectivo ensaio atingir o nível desejado, fechando-se, posteriormente, as válvulas de controle da bomba hidráulica para mantê-la. O comportamento de cada parede de alvenaria foi verificado quanto ao isolamento térmico, à estanqueidade e à estabilidade, conforme prescreve a NBR 10636 (ABNT, 2022).

3.2.10 Amostras de paredes de alvenaria

No total, foram ensaiadas 18 paredes com blocos cerâmicos, conforme os parâmetros indicados na Tabela 4. Esta tabela indica o tipo de bloco constituinte das paredes, bloco cerâmico comum (BC) ou bloco cerâmico estrutural (BE), tipo de argamassa de assentamento (A1, A2 ou A3), tipo de ensaio realizado, temperatura ambiente (AMB) ou resistência ao fogo (RF), assim como carga mecânica aplicada antes da aplicação da carga térmica para a realização dos ensaios de resistência ao fogo.

Tabela 4 – Paredes de blocos cerâmicos ensaiadas

Parede de referência	Tipo de bloco	Tipo de argamassa	Tipo de teste	Carga aplicada (kN)	Carga distribuída aplicada (kN/m)
P01 BC, A1, AMB	Comum	1	Ambiente	--	--
P02 BE, A2, AMB	Estrutural	2	Ambiente	--	--
P03 BE, A2, AMB	Estrutural	2	Ambiente	--	--
P04 BE, A2, AMB	Estrutural	2	Ambiente	--	--
P05 BE, A3, AMB	Estrutural	3	Ambiente	--	--
P06 BE, A3, AMB	Estrutural	3	Ambiente	--	--
P07 BE, A3, AMB	Estrutural	3	Ambiente	--	--
P08 BC, A1, RF, 00	Comum	1	Resistência ao fogo	0	0
P09 BC, A1, RF, 00	Comum	1	Resistência ao fogo	0	0
P10 BC, A1, RF, 45	Comum	1	Resistência ao fogo	45	30
P11 BC, A1, RF, 45	Comum	1	Resistência ao fogo	45	30
P12 BC, A1, RF, 105	Comum	1	Resistência ao fogo	105	70
P13 BC, A1, RF, 105	Comum	1	Resistência ao fogo	105	70
P14 BE, A2, RF, 70	Estrutural	2	Resistência ao fogo	70	47
P15 BE, A2, RF, 140	Estrutural	2	Resistência ao fogo	140	93
P16 BE, A3, RF, 70	Estrutural	3	Resistência ao fogo	70	47
P17 BE2, A3, RF, 70	Estrutural	3	Resistência ao fogo	70	47
P18 BE2, A3, RF, 140	Estrutural	3	Resistência ao fogo	140	93

Fonte: O Autor (2023).

Nos ensaios em temperatura ambientes, a carga é aplicada até a ruptura da parede. Portanto, não há carga, aplicada inicialmente, indicada na coluna 5 da Tabela 4. Nos ensaios de resistência ao fogo, a carga é aplicada inicialmente e, em seguida, aciona-se o forno para aquecer uma das faces da parede, aplicando assim a carga térmica, até a falha da parede, determinando-se, com isso, a sua resistência ao fogo. A falha da parede ao fogo pode ser determinada de três formas, conforme especificado na NBR 5628 (ABNT, 2022) e descrito a seguir:

- a) falha quando a parede não consegue manter a estabilidade ou a capacidade de carga;
- b) falha por estanqueidade, quando há passagem de chamas ou gases quentes que conseguem ignar um chumaço de algodão;
- c) falha por isolamento térmico, quando a temperatura em um termopar for maior que 180°C ou a média das temperaturas dos termopares for maior que 140°C à temperatura ambiente da face não exposta ao fogo.

Os valores de carga distribuída entre 30 kN/m e 100 kN/m correspondem a valores normalmente atuantes nas edificações de alvenaria estrutural de 3 a 5 pavimentos empregados no Brasil, desse modo, procurou-se utilizar estes parâmetros para análise neste estudo. Assim como, também foram estes os parâmetros empregados nos vários estudos analisados no referencial teórico, que corroboraram para o entendimento do comportamento das paredes de alvenaria, sendo portanto, uma forma de comparar e avaliar os vários estudos realizados.

4 CARACTERIZAÇÃO E RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados como: resistência à compressão e à tração dos materiais (bloco cerâmicos e argamassas) tanto em temperatura ambiente quanto sob altas temperaturas; índice de absorção dos blocos, resistência dos prismas de dois blocos. Assim, será dividido em subtópicos para melhor compreensão e discussão dos resultados.

4.1 BLOCOS CERÂMICOS

4.1.1 Características geométricas

Todos os blocos cerâmicos comuns e blocos cerâmicos estruturais atenderam aos critérios relativos aos parâmetros geométricos, isto é, suas dimensões (comprimento, largura e espessura), espessura das paredes externas (septos externos) e septos internos dos blocos.

Entretanto, registra-se que, com relação aos parâmetros de desvio do esquadro, dos 13 blocos cerâmicos de cada tipo analisados, cinco blocos cerâmicos comuns não atenderam e dois blocos cerâmicos estruturais não cumpriram este requisito. Com relação ao critério de planeza de suas faces, apenas dois blocos cerâmicos comuns atenderam a esse parâmetro, e, nos blocos cerâmicos estruturais, 11 blocos atenderam, ver Tabela 5.

Tabela 5 – Características geométricas dos blocos cerâmicos que atenderam aos requisitos

Bloco cerâmico	Parâmetro geométrico	Desvio de esquadro	Planeza
Comum (BC)	13	8	2
Estrutural (BE)	13	11	11

Fonte: O Autor (2023).

Esses resultados demonstram, portanto, que os blocos cerâmicos comuns têm muitas imperfeições durante seu processo de fabricação, principalmente em relação à planeza de suas faces, podendo comprometer ainda mais quando usado para função portante, que não é indicado para tal finalidade, por ter prioridade de aplicabilidade apenas como parede de vedação e/ou divisória, apesar de algumas citações como; Gusmão et al. (2009) e Silva, Corrêa e Oliveira (2015) fazerem menção

de seu uso como parede portante. Em contrapartida, os blocos cerâmicos estruturais apresentaram um melhor comportamento quanto aos parâmetros geométricos, apesar de exibirem um percentual de 15% fora do critério de desvio do esquadro. Esse tipo de bloco deve ter um critério mais rigoroso no controle de qualidade de sua produção, pois sua aplicabilidade tem função estrutural nas edificações.

4.1.2 Resistência à compressão

A Tabela 6 mostra a resistência característica e média à compressão dos blocos cerâmicos utilizados nesta pesquisa.

Tabela 6 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos

Bloco cerâmico	Dimensões (mm)	$f_{bk, est}$ (MPa)	f_{bm} (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)
Comum (BC)	19 x19 x 9	2,01	2,84	0,54	19,90
Estrutural (BE)	19 x 29 x 14	5,12	6,15	1,07	17,40
Estrutural (BE2)	19 x 29 x 14	3,52	5,03	1,31	26,10

Fonte: O Autor (2023).

Os blocos cerâmicos apresentaram resultados quanto à resistência característica à compressão em temperatura ambiente dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 15270-2 (ABNT, 2017).

A resistência característica à compressão ($f_{bk, est}$) dos blocos cerâmicos comuns foi 34% maior, segundo a exigência mínima da norma que é de 1,5 MPa. Já para os blocos cerâmicos estruturais, a resistência característica à compressão apresentou uma diferença de mais 30 % entre os dois lotes utilizados. Percebe-se, também, que as amostras apresentam um coeficiente de variação (CV) bastante elevado, demonstrando, com isso, uma grande variabilidade das resistências, porém dentro do que se tem como referência para os materiais cerâmicos, em virtude do modo de produção e dos componentes utilizados durante sua fabricação. Desse modo, é importante ressaltar que o processo de produção dos blocos cerâmicos, seja comum ou estrutural, tenha um controle de qualidade maior por parte da indústria cerâmica para minimizar essa variabilidade apresentada neste estudo.

4.1.3 Índice de Absorção de Água (AA)

Os resultados dos índices de absorção estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Índice de absorção para os blocos cerâmicos

Bloco cerâmico	Dimensões (mm)	M _{s,m} (g)	M _{u,m} (g)	AA (%)
Comum (BC)	19 x19 x 9	2386,8	2660,4	11,47
Estrutural (BE)	19 x 29 x 14	6300,8	6969,2	10,62

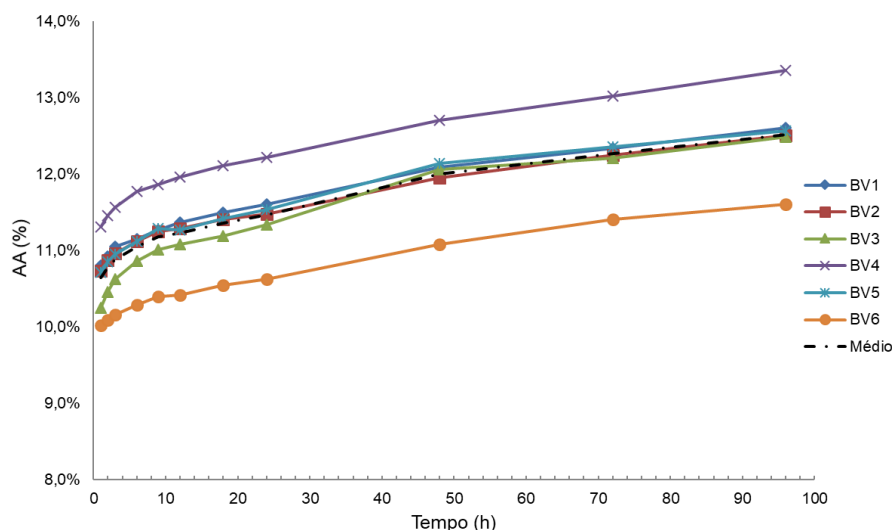
Fonte: O Autor (2023).

Na Tabela 7, os valores de M_{s,m}, M_{u,m} e AA representam a massa seca média, massa úmida saturada média após 24 horas e o índice de absorção de água médio dos blocos, respectivamente.

O índice de absorção de água (AA) foi levemente maior para os blocos cerâmicos comuns quando comparados com os blocos cerâmicos estruturais, desse modo indicando maior porosidade entre as partículas de sua composição, podendo acarretar maior fragilidade dos blocos e diminuição da resistência mecânica. Este efeito pode ter sido induzido em virtude de sua queima ou mistura da massa de seus componentes.

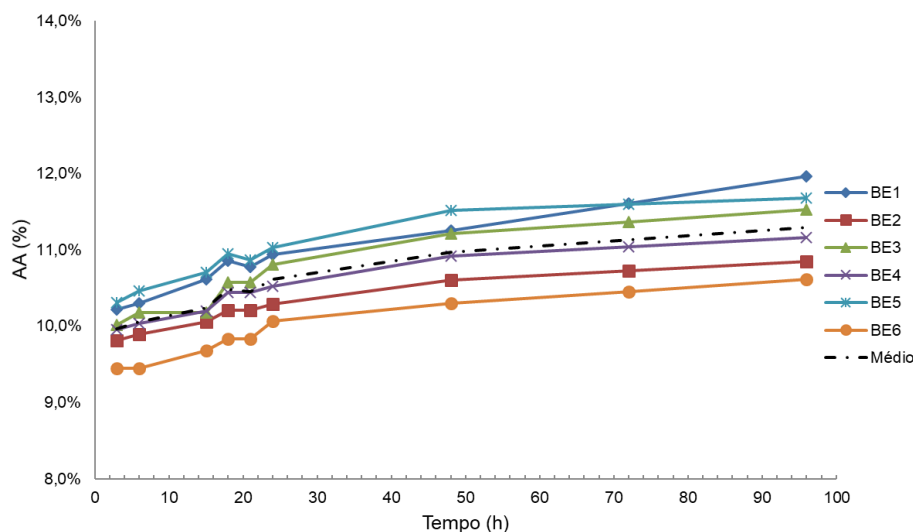
Observa-se que os índices de absorção dos blocos cerâmicos atenderam aos parâmetros normativos, ficando, portanto, dentro do intervalo indicado. Durante o processo de determinação dos índices de absorção, foram aferidas as massas úmidas saturadas dos blocos, ao longo do tempo, para, com isso, verificar a evolução desse índice de absorção de água ao longo tempo. A Figura 28 e a Figura 29 mostram a evolução dos índices de absorção dos blocos cerâmicos comuns e estruturais, respectivamente.

Figura 28 – Curva de evolução do AA dos blocos cerâmicos comuns



Fonte: O Autor (2023).

Figura 29 – Curva de evolução do AA dos blocos cerâmicos estruturais



Fonte: O Autor (2023).

Observa-se nos gráficos que os blocos cerâmicos absorvem bastante água na primeira hora, após imersos, ocorrendo uma evolução de seu índice AA ao longo do tempo. Porém, decorridas 24 horas de sua imersão, os blocos continuam a absorver água a uma taxa bem menor, tendendo a se estabilizar ao longo do tempo.

4.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A Tabela 8 indica a resistência característica (f_{ck}), a resistência característica média (f_{cm}) à compressão, a resistência média à tração, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) das argamassas utilizadas na execução das paredes de alvenaria, realizadas no mesmo dia do ensaio das paredes.

Tabela 8 – Resistência da argamassa de assentamento

Argamassa	f_{ck} (MPa)	f_{cm} (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)	f_{tm} (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)
Tipo 1 (A1)	1,40	1,86	0,28	13,44	0,78	0,16	20,51
Tipo 2 (A2)	10,38	12,47	1,27	10,18	4,07	0,98	24,08
Tipo 3 (A3)	6,27	10,24	2,41	23,54	3,11	0,49	15,76

Fonte: O Autor (2023).

A argamassa de assentamento (Tipo 1) aplicada nas paredes de vedação, com blocos cerâmicos comuns, apresentou uma resistência à compressão média menor que a resistência dos blocos comuns. De acordo com Gomes (1974 apud RIZZATTI

et al., 2012), a resistência da argamassa deve permanecer entre 0,7 a 1,0 vezes a resistência característica do bloco estrutural.

Durante a execução das paredes estruturais, foram confeccionadas amostras de argamassas, e rompidas no mesmo dia do ensaio das paredes, que apresentaram resistências, conforme a Tabela 8. Percebe-se que as resistências das argamassas ficaram bem acima da resistência dos blocos estruturais utilizados. Com isso, a relação entre a resistência do bloco cerâmico estrutural e a resistência médias das argamassa ultrapassaram a referência mencionada acima. Desse modo, entende-se que ocorrerá menos deformabilidade nas juntas das argamassas de assentamento, em virtude de maior rigidez, com isso, levará a menor deformabilidade da parede, induzindo a uma mudança do modo de ruptura da parede estrutural.

4.3 PRISMAS

A resistência à compressão dos prismas está indicada na Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência à compressão dos prismas

Prisma	Tipo de argamassa	f_{pk} (MPa)	f_{pm} (MPa)	Desvio padrão (MPa)	CV (%)
Prisma (PBC)	A1	1,08	1,36	0,15	11,36
Prisma (PBE)	A2	2,71	3,50	0,36	10,26
Prisma (PBE)	A3	1,45	2,08	0,38	18,25
Prisma (PBE2)	A3	1,67	2,75	0,61	22,05

Fonte: O Autor (2023).

Considerando o mesmo bloco cerâmico estrutural (BE) e alterando a argamassa de assentamento, a resistência média à compressão do Prisma (PBE) com argamassa tipo A3 foi de 59,4% da do Prisma (PBE) com argamassa A2, entretanto, ocorreu uma redução da resistência da argamassa de assentamento entre elas de apenas 17,9%. Assim, percebe que a argamassa de assentamento tem uma influência significativa na resistência dos prismas e, conseqüentemente nas paredes de alvenaria.

Em contrapartida, para os primas executados com blocos cerâmicos estruturais (BE2), que apresentaram resistência média inferior entre os blocos cerâmicos (BE) de 18,2%, ver Tabela 6, utilizando a argamassa com resistência à compressão

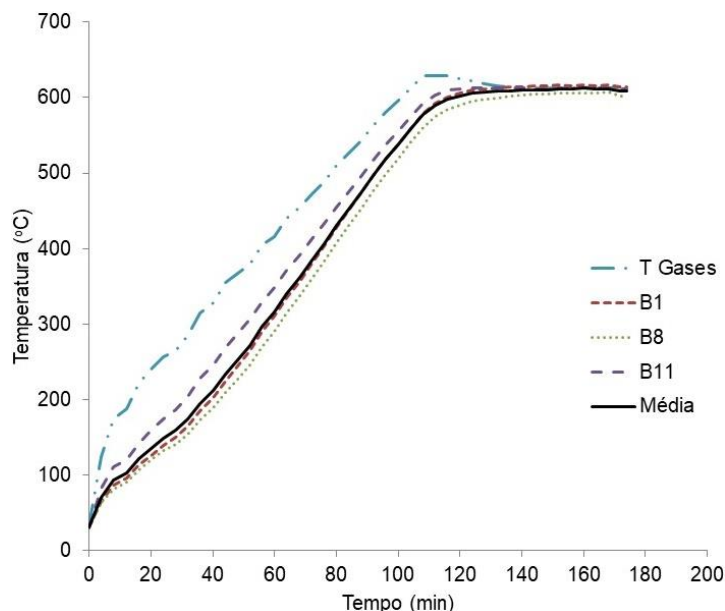
equivalentes (A3), estes primas apresentaram uma diferença 32,2% a maior para a resistência média dos prismas com blocos cerâmicos estruturais tipo BE2. Assim, nota-se novamente o quanto a argamassa de assentamento tem influência na resistência dos prismas e, conseqüentemente na capacidade de carga das paredes de alvenaria confeccionadas com blocos cerâmicos.

4.4 BLOCO E ARGAMASSA SOB ALTAS TEMPERATURAS

4.4.1 Bloco cerâmico

O forno nas quatro temperaturas analisadas (200°C, 400°C, 600°C e 800°C) mostrou de forma bem definida a taxa de aquecimento e o patamar de temperatura, atendendo ao programa experimental. Todos os ensaios tiveram suas temperaturas monitoradas; no entanto, será exposto a seguir apenas o registro do ensaio do aquecimento dos blocos cerâmicos à temperatura de 600°C, conforme Figura 30. Os demais gráficos estão no Apêndice B.

Figura 30 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 600°C)



Fonte: O Autor (2023).

Percebe-se que a temperatura dos gases (T Gases) apresentou uma taxa de aquecimento um pouco maior no início do ensaio, até os 50 minutos; posteriormente, a taxa foi equivalente a 5°C/min, apesar de ainda está com uma temperatura maior que a média dos blocos. As temperaturas medidas na face dos blocos (B1, B8 e B11)

foram equivalentes entre si. Evidencia-se que, no patamar, as temperaturas da face dos blocos e dos gases convergiram para o valor de 600°C, conforme previsto, demonstrando, assim, uma uniformização entre as temperaturas.

A Tabela 10 mostra a resistência média (f_{bm}) e a resistência característica à compressão (f_{bk}) dos blocos cerâmicos comuns em temperatura ambiente e as respectivas resistências residuais das quatro temperaturas analisadas e condições de ensaio (rompimento à quente, rompimento após resfriamento brusco e rompimento após resfriamento lento).

Tabela 10 – Resistência média e característica à compressão dos blocos cerâmicos comuns sob altas temperaturas

Temperatura °C	Resistência média e característica à compressão (MPa)							
	Ambiente		RQuente		RLento		RBrusco	
	f_{bm}	f_{bk}	f_{bm}	f_{bk}	f_{bm}	f_{bk}	f_{bm}	f_{bk}
Ambiente	2,84	2,01	-	-	-	-	-	-
200	-	-	3,83	2,53	2,87	1,92	2,95	2,19
400	-	-	5,20	4,23	3,97	2,74	3,09	2,46
600	-	-	4,86	2,98	3,23	1,83	2,98	2,06
800	-	-	4,17	2,97	-	-	-	-

Fonte: O Autor (2023).

Ressalta-se, para o caso, que não foi possível determinar a resistência residual dos blocos cerâmicos para as temperaturas de 800°C nas condições de ensaio com resfriamento lento e brusco, pois seus capeamentos desintegraram-se durante o processo de aquecimento e/ou resfriamento.

Percebe-se, pois, na Tabela 10, que a resistência residual média foi maior que a resistência em temperatura ambiente para todos os critérios de rompimento, sendo maior quando o rompimento ocorre ainda com os blocos quentes. Para melhor compreensão e análise dos dados, foi definida a Equação 7 como a relação entre as resistências médias residuais à compressão e a resistência médias à compressão em temperatura ambiente.

$$k_{bm} = \frac{f_{bm,T}}{f_{bm}} \quad (7)$$

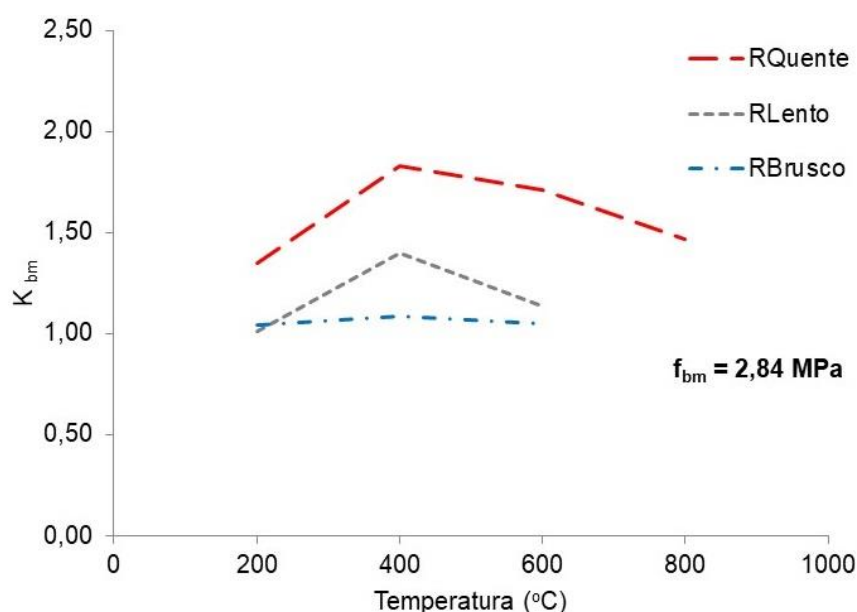
Em que:

$f_{bm,T}$ é a resistência residual média à compressão na temperatura de ensaio;

f_{bm} é a resistência média à compressão em temperatura ambiente.

A Figura 31 mostra o comportamento da resistência residual dos blocos cerâmicos sob variadas temperaturas e condições de ensaio.

Figura 31 – Comportamento dos blocos cerâmicos sob altas temperaturas



Fonte: O Autor (2023).

As resistências residuais médias para temperatura de 200°C foram equivalentes as da temperatura ambiente para o Resfriamento Lento (RLento) e Resfriamento Brusco (RBrusco); porém, para o ensaio com Rompimento à Quente (RQuente), o valor foi 35% maior (Figura 31). Já para temperatura de 400°C, a resistência residual média com RQuente foi 83% maior que a temperatura ambiente, enquanto para as demais condições de ensaio ocorreu um aumento de 40% para RLento e apenas 9% para RBrusco. Para a temperatura de 600°C, as resistências para as condições de ensaio com resfriamento lento e brusco foram equivalentes ao da temperatura ambiente, enquanto, para o rompimento à quente, apresentou-se um aumento de 71% e 47% para as temperatura de 600°C e 800°C, respectivamente.

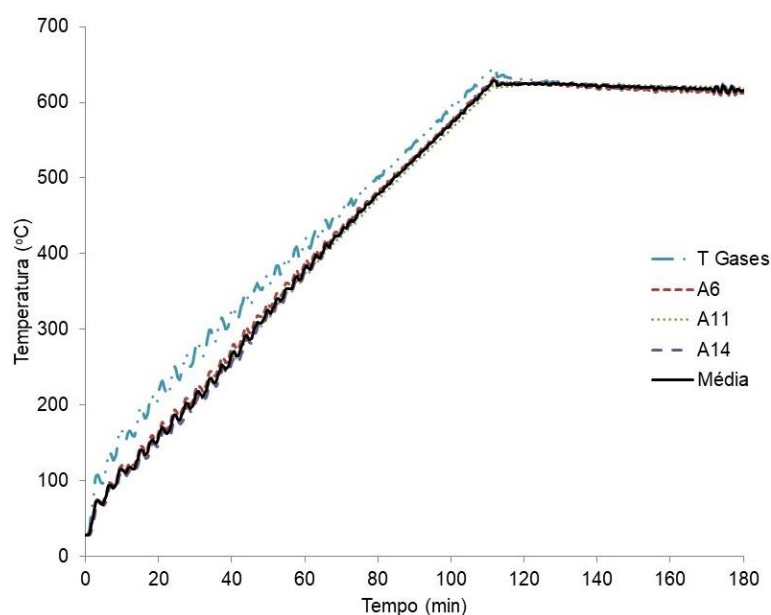
Como percebido por Ingham (2009), em que os blocos cerâmicos não sofrem alteração quando aquecidos até a temperatura de 1.000°C, a resistência à compressão dos blocos cerâmicos não sofreu redução em nenhuma das condições de análise, mesmo fazendo o resfriamento brusco de sua temperatura. Aliás, percebe-se que ocorreu ganho de resistência, quando os blocos foram rompidos ainda

quentes. Assim, percebe-se que ao serem aquecidos os blocos cerâmicos não reduzem suas propriedades quanto a resistência mecânica, bastante característico desses materiais cerâmicos.

4.4.2 Argamassa de assentamento

O aquecimento das amostras de argamassas nas quatro temperaturas (200°C, 400°C, 600°C e 800°C) também se comportou de forma satisfatória, apresentando, bem definida, a taxa de aquecimento e o patamar de temperatura. Os ensaios também tiveram todas suas curvas de temperaturas monitoradas; porém, será mostrada por meio da Figura 32 apenas a curva do aquecimento das argamassas à temperatura de 600°C. Os demais gráficos estão no Apêndice B.

Figura 32 – Temperaturas de ensaio de argamassa para 600°C



Fonte: O Autor (2023).

A temperatura dos gases (T Gases) apresentou uma taxa de aquecimento um pouco maior no início do ensaio, até os 60 minutos, posteriormente, comportou-se conforme definido no programa experimental em que as temperaturas da face dos corpos de prova foram equivalentes à temperatura dos gases. O patamar de temperatura apresentou-se bem definido na temperatura de análise (600°C) durante uma hora. As temperaturas A6, A11 e A14 são os valores das temperaturas dos termopares postos na face das amostras dos prismas de argamassa, conforme mostra a Foto 19b.

As resistências médias à tração e à compressão das amostras das argamassas ensaiadas em temperatura ambiente e sob altas temperaturas estão expostas na Tabela 11.

Tabela 11 – Resistência média à tração na flexão e à compressão das argamassas sob altas temperaturas

Temperatura °C	Resistência média à tração na flexão (MPa)				Resistência média à compressão (MPa)			
	Ambiente	RQuente	RLento	RBrusco	Ambiente	RQuente	RLento	RBrusco
Ambiente	0,78	-	-	-	1,86	-	-	-
200	-	0,46	0,62	0,34	-	2,58	1,81	1,32
400	-	0,27	0,38	0,21	-	1,29	0,95	0,92
600	-	0,15	0,14	0,11	-	0,88	0,69	0,50
800	-	-	-	-	-	0,32	-	-

Fonte: O Autor (2023).

A resistência à tração na flexão em todas as temperaturas analisadas e as condições de rompimento foram menores que a resistência em temperatura ambiente. Já para a resistência à compressão, ocorreu um aumento na resistência residual, quando rompida à quente para a temperatura de 200°C. A Equação 8 e a Equação 9 mostram a relação entre a resistência residual média à tração e à compressão na temperatura de análise e em temperatura ambiente, respectivamente.

$$k_{tm} = \frac{f_{tm,T}}{f_{tm}} \quad (8)$$

$$k_{cm} = \frac{f_{cm,T}}{f_{cm}} \quad (9)$$

Em que:

$f_{tm,T}$ é a resistência residual média à tração na flexão na temperatura de ensaio.

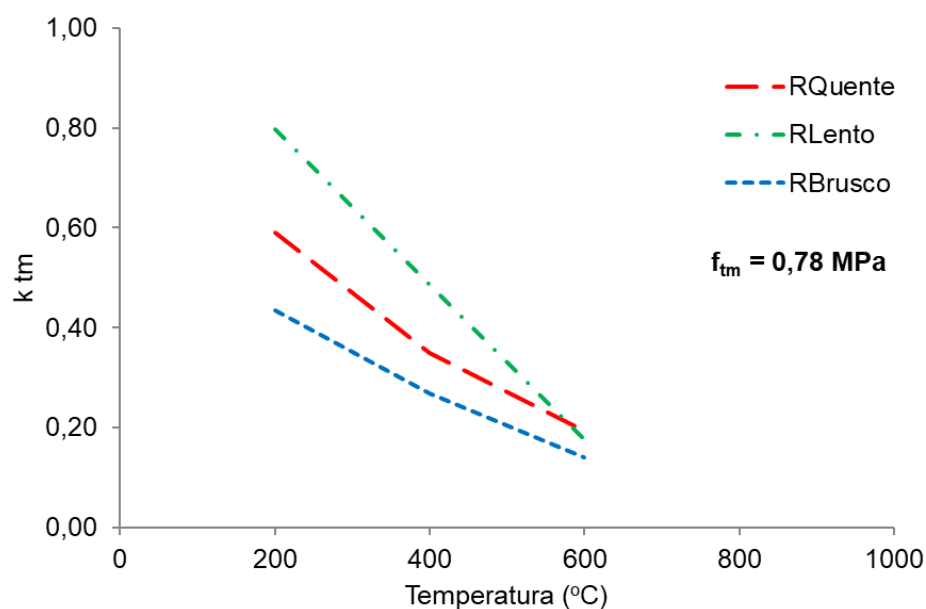
f_{tm} é a resistência média à tração na flexão em temperatura ambiente.

$f_{cm,T}$ é a resistência residual média à compressão na temperatura de ensaio.

f_{cm} é a resistência média à compressão em temperatura ambiente.

A Figura 33 mostra o comportamento da resistência residual à tração das amostras das argamassas nas quatro temperaturas de análise e nas condições de ensaios.

Figura 33 – Comportamento à tração na flexão das argamassas sob altas temperaturas

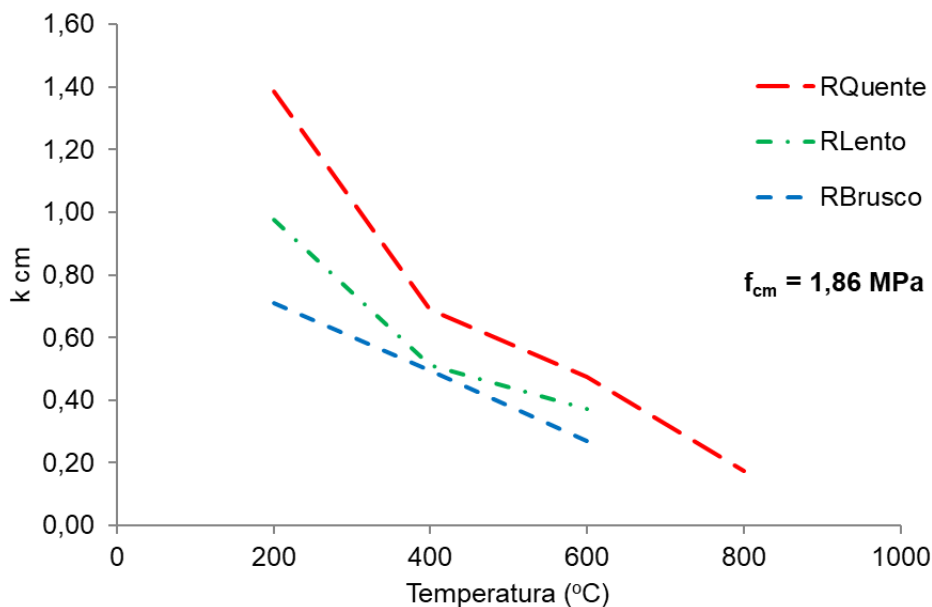


Percebe-se, nesse aspecto, que ocorreu uma queda bastante significativa da resistência residual junto à todas as condições de ensaio, na medida em que a temperatura de análise foi sendo elevada. A resistência residual à tração na flexão foi menor que a de referência em todas as condições de ensaio e de temperaturas analisadas, ocorrendo redução de mais de 80% para a temperatura de 600°C. Já na temperatura de 200°C, apresentou-se uma resistência menor que a de referência; porém, em alguns estudos como de Karahan (2011), a redução para o resfriamento lento foi da ordem de apenas 7,2% quando a temperatura foi de 400°C. A esse respeito, Rigão et al. (2021), em seus estudos, constataram uma redução para o resfriamento lento de 39%.

Desse modo, torna-se claro que o aumento da temperatura reduz de forma significativa a resistência à tração das argamassas cimentícias, consonante a estudos de outros pesquisadores. Observa-se, também, que, para todas as temperaturas, a resistência residual à tração foi sempre menor, quando a argamassa é resfriada bruscamente com água, conforme observado, também, em Borges (2018) e Rigão et al. (2021). Tal redução se dar em virtude da desidratação em virtude da evaporação da água contida nos poros das amostras de argamassas.

A Figura 34 mostra o comportamento da resistência residual à compressão das amostras de argamassas nas quatro temperaturas analisadas.

Figura 34 – Comportamento à compressão das argamassas sob altas temperaturas



Fonte: O Autor (2023).

A resistência residual à compressão das argamassas à temperatura de 200°C apresentou um ganho de 40% para a condição de ensaio, quando rompido à quente (RQuente); uma redução de apenas 3% para o ensaio com resfriamento lento (RLento), entretanto um decréscimo de 30% para o resfriamento brusco (RBrusco). Já para as temperaturas de 400°C e 600°C, as resistências reduziram em todas as condições de ensaio, apresentando maiores quedas com resfriamento brusco e lento.

As resistências residuais à tração apresentaram maiores reduções percentuais quando comparados com as de compressão para a mesma temperatura de análise. Tal efeito foi observado também nos trabalhos de Karahan (2011) e Borges (2018), justificado pelo surgimento de fissuras ou microfissuras nos corpos de prova durante o processo de aquecimento, comprometendo, portanto, a resistência à tração. Entretanto, durante a realização do ensaio à compressão, essas microfissuras são minimizadas a medida que os corpos estão sendo comprimidos, induzindo e sinalizando, desse modo, a menores reduções de sua capacidade de carga.

Não foi possível determinar a resistência residual à tração das argamassas para as temperaturas de 800°C nas três condições de ensaio, pois os corpos de prova se desintegravam ao serem retirados do forno ou durante o transporte para a realização dos procedimentos/ensaio (Ver Foto 22).

Foto 22 – Ensaio na condição: a) RBrusco e b) RQuente



a)



b)

Fonte: O Autor (2023).

Desse modo, foi possível utilizar apenas 5 amostras para o ensaio de resistência residual à compressão à quente, o qual apresentou uma resistência residual de apenas 17,0% da resistência em temperatura ambiente.

De modo geral, o comportamento da resistência à compressão sob altas temperaturas das argamassas apresenta equivalência ou maiores que na temperatura ambiente para temperaturas de 200°C quando ainda estão quentes ou quando são resfriadas lentamente. Por outro lado, para maiores temperaturas sua resistência tem reduções mais acentuadas para o resfriamento brusco e lento.

Portanto, em uma situação de combate ao incêndio, deve ser avaliado de forma cuidadosa e cautelosa o resfriamento das paredes de alvenaria, pois as resistências das argamassas, elemento que as compõe através das juntas de assentamento, podem ser bastante afetadas como foi mostrado no estudo acima. Visto que as argamassas de assentamento têm influência no comportamento das paredes de alvenaria, induzindo a mudanças no modo de ruptura e de sua capacidade de carga.

Por outro lado, a forma de resfriamento adota neste e em outros estudos como, Karahan (2011), Borges (2018), Rigão et al. (2021), não retratar de modo fidedigno o procedimento de resfriamento adotado pelos corpos de bombeiros. Porém, dar um indicativo do comportamento e desempenho da resistência residual dos blocos cerâmicos e argamassas.

Desse modo, é importância fazer-se ensaios com uso de jatos de água, próprios do combate a incêndio, visando compreender o quão combatida (ou não)

ficam estas estruturas em situações reais, fazendo, inclusive as devidas comparações entre os resultados desenvolvido nestes e em outros estudos, comparando-os e verificando as correções entre suas resistências e procedimentos.

5 PAREDE DE ALVENARIA EM TEMPERATURA AMBIENTE

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados nas paredes de alvenaria em temperatura ambiente, como: capacidade de carga das paredes de vedação e estruturais e seu modo de falha.

5.1 CAPACIDADE RESISTENTE DAS PAREDES

A Tabela 12 apresenta as cargas máximas determinadas de forma experimental para as paredes em situação ambiente ($f_{k,test}$). Para efeitos de comparação, também foram calculadas cargas máximas de ruptura previstas, conforme Parsekian e Soares (2010), Equação 10 ($f_{k,eq.10}$), e a NBR 16868-1 (ABNT, 2020), Equação 11 ($f_{k,eq.11}$); ambas formulações são tradicionalmente empregadas em projetos de alvenaria de blocos estruturais. Esclarece-se que não foram observadas diferenças relevantes entre as cargas máximas definidas pelas equações, devido à baixa esbeltez das paredes avaliadas.

Tabela 12 – Cargas máximas experimentais e previstas para as paredes em situação ambiente

Parede de referência	$f_{k,test}$ (kN)	$f_{k,eq.10}$ (kN)	$\frac{f_{k,test}}{f_{k,eq.10}}$	$f_{k,eq.11}$ (kN)	$\frac{f_{k,test}}{f_{k,eq.11}}$
P01 _{BC, A1, AMB}	148	-	-	-	-
P02 _{BE, A2, AMB}	223	389	0,57	399	0,56
P03 _{BE, A2, AMB}	416	389	1,07	399	1,04
P04 _{BE, A2, AMB}	228	389	0,59	399	0,57
P05 _{BE, A3, AMB}	144	208	0,69	213	0,68
P06 _{BE, A3, AMB}	290	208	1,39	213	1,36
P07 _{BE, A3, AMB}	147	208	0,71	213	0,69

Fonte: O Autor (2023).

$$\gamma_f f_k \leq 1,0 \frac{0,7 f_{pk}}{\gamma_m} \left[1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 t_{ef}} \right)^3 \right] A \quad (10)$$

$$f_k = 0,7 f_{pk} A \quad (11)$$

Em que:

- f_k é carga máxima da parede (kN).
- f_{pk} é a resistência característica à compressão do prisma (kN/m²).
- γ_f é o coeficiente de segurança das ações. Adotado 1,0.

γ_m	é o coeficiente de segurança da resistência dos materiais. Adotado 1,0.
h_{ef}	é a altura efetiva da parede (m).
t_{ef}	é a espessura efetiva da parede (m).
A	é a seção transversal da parede (m ²).

A parede P01_{BC, A1, AMB}, por ser de bloco cerâmico comum não foi aplicado as formulações acima para determinar a sua capacidade de carga, visto que não se aplicada para este tipo de parede, bem como, ainda não se tem uma formulação própria para paredes de vedação.

Observam-se valores de ruptura das paredes P02_{BE, A2, AMB}, P04_{BE, A2, AMB}, P05_{BE, A3, AMB}, P07_{BE, A3, AMB} abaixo dos previstos pelas equações analíticas, indicando que a variabilidade dos resultados obtidos nas paredes pode induzir a projetos contra a segurança.

Ainda observando as cargas máximas experimentais das paredes, verifica-se a influência da resistência da argamassa de assentamento. A redução de 18,0% na resistência à compressão da argamassa de assentamento A2 (12,47 MPa) para A3 (10,24 MPa), ver Tabela 8, resultou numa significativa baixa da resistência dos prismas e, conseqüentemente da carga teórica máxima das paredes, sendo maior que 45%. Ocorrendo contudo, também uma redução na sua capacidade de carga.

Essa redução é previsto pelas equações analíticas (Equação 10 e Equação 11), visto que dependem diretamente da resistência característica do prisma, que também foi bastante diferente entre os tipos de argamassas (ver Tabela 3), apesar de Curtin et al. (1982) mencionarem que ocorre pouca influência na resistência da parede estrutural, o que não foi observado nesses resultados.

A NBR 16868-1 (ABNT, 2020) recomenda, para evitar riscos de fissuras, que a argamassa de assentamento deve ser de 1,5 vezes a resistência característica específica do bloco. Porém, neste estudo, as argamassas empregadas na confecção das paredes estruturais ficaram acima desse parâmetro. Assim, uma argamassa mais resistente pode trazer menos deformabilidade nas juntas das paredes, e, conseqüentemente, proporcionar uma menor carga de ruptura da parede, induzindo a ruptura prematura dos septos externos dos blocos cerâmicos.

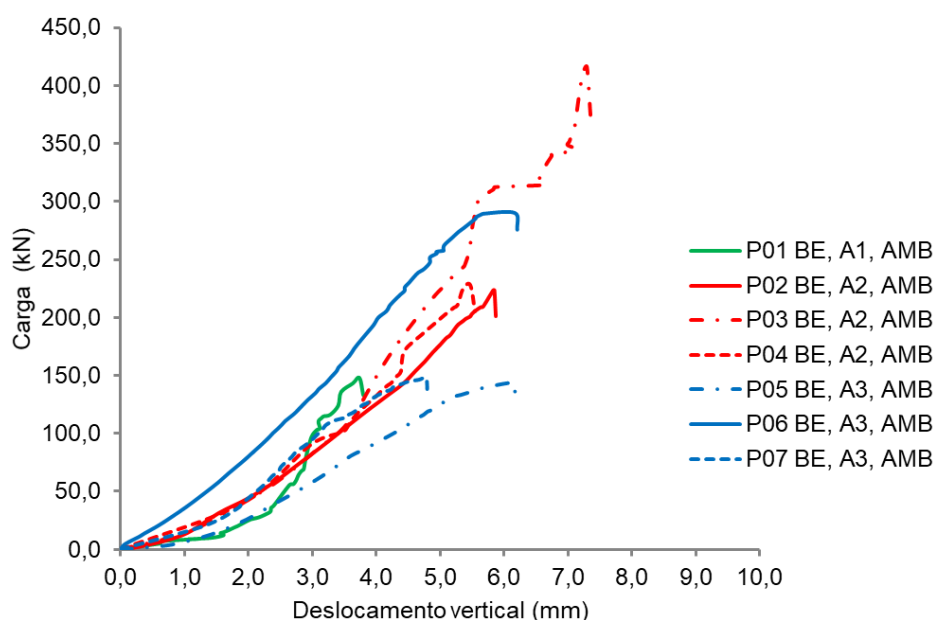
As paredes P05_{BE, A3, AMB} e P07_{BE, A3, AMB} (blocos estruturais com argamassa tipo 3 (A3) apresentaram valores para a capacidade resistente muito próximos a 150 kN, isto é, 100 kN/m. Percebe-se que os resultados mostrados na Tabela 12 para

essas paredes executadas com esses blocos apresentaram resultados próximos as cargas de serviços práticos, indicando, portanto, um risco à segurança estrutural das edificação.

5.2 CARGA *VERSUS* DESLOCAMENTO VERTICAL

A Figura 35 apresenta a curva de carga *versus* deslocamento vertical para as paredes ensaiadas até a ruptura em temperatura ambiente. Os deslocamentos apresentados foram obtidos pela média entre os dois LVDTs (DT03 e TD04) (ver instrumentação na Figura 27).

Figura 35 – Carga *versus* deslocamentos verticais das paredes ensaiadas à temperatura ambiente



Fonte: O Autor (2023).

As paredes estruturais com argamassa tipo 2 (A2) apresentaram comportamento similares entre a carga-deslocamento. No entanto, a parede P03 BE, A2, AMB apresentou uma carga de ruptura bem superior às demais (P02 BE, A2, AMB e P04 BE, A2, AMB), apesar de terem propriedades equivalentes, demonstrando uma dispersão significativa.

Já as paredes com argamassa tipo 3 (A3) tiveram comportamento bem diferentes entre si, quanto ao desempenho carga-deslocamento. As paredes P06 BE, A3, AMB e P07 BE, A3, AMB apresentaram carga de ruptura e deformação equivalentes, enquanto a P06 BE, A3, AMB teve o dobro do valor da carga de ruptura da médias das duas paredes com as mesmas características.

As paredes testadas tiveram alturas menores que o ensaio padrão, em virtude da limitação dos equipamentos do laboratório, o que foi mencionado anteriormente; entretanto, apesar de sua altura menor e de uma quantidade reduzida de ensaios, nota-se que as paredes apresentaram resultados bem diferentes com a mudança do tipo de argamassa de assentamento empregado, demonstrando, com isso, a influência de forma significativa na capacidade de carga das paredes. Ressalta-se, além disso, que maiores alturas das paredes de alvenarias, induzirão maiores esbeltez e, conseqüentemente as paredes tornar-se-ão mais suscetíveis aos efeitos de flambagem e, podendo levar a capacidade de carga ainda menores das constatadas nestes trabalho.

5.3 MODO DE RUPTURA

A Foto 23 mostra modo de falha da parede com blocos cerâmicos comuns não estruturais, parede de vedação, P01_{BC, A1, AMB}. A ruptura se deu nas primeiras fiadas da parede, ocorrendo nos septos externos dos blocos cerâmicos. Durante o ensaio ocorreu na última junta de assentamento uma fissura que se prolongou ao longo de todo o comprimento da parede. Sugiram também fissuras ao longo do bloco da penúltima fiada da parede e posteriormente ocorrendo a ruptura nesta região.

Foto 23 – Modo de falha da parede P01_{BC, A1, AMB}. (a) vista frontal e (b) vista posterior



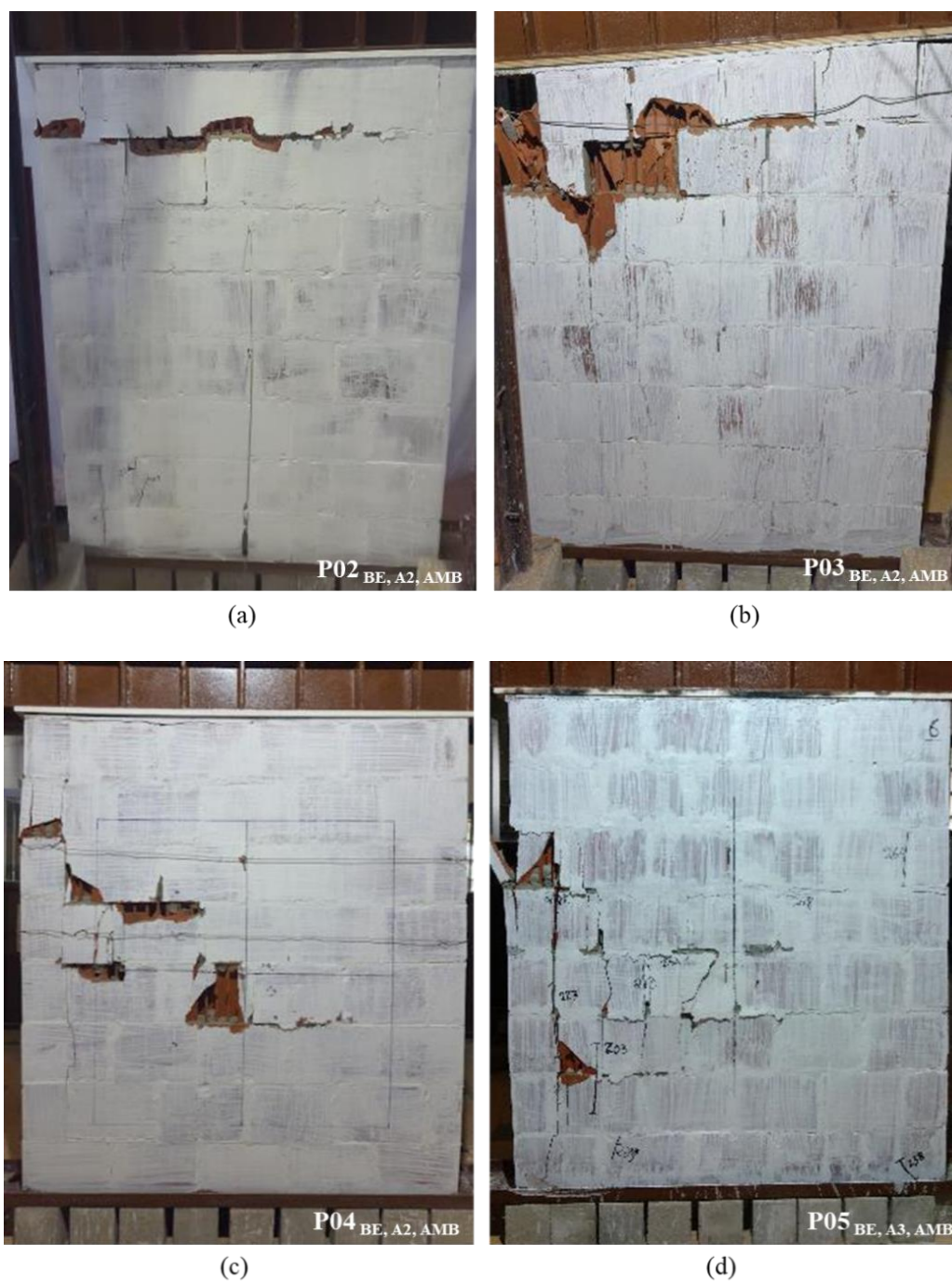
(a)

(b)

Fonte: O Autor (2023).

A Foto 24 mostra a vista frontal do modo de falha das paredes estruturais. A ruptura das paredes P02, P06 e P07 ocorreram inicialmente na região da parede externa do bloco junto à argamassa de assentamento, ocorrendo um prolongamento longitudinal ao longo de toda essa fiada, proporcionando a perda da capacidade de carga da parede e, consequente, sua falha mecânica.

Foto 24 – Modo de falha das paredes estruturais



Fonte: O Autor (2023).

Foto 24 (cont.) – Modo de falha das paredes estruturais



Fonte: O Autor (2023).

A ruptura das paredes P03, P04 e P05 tiveram sua falha em toda a região da parede externa do bloco, perdendo sua capacidade de carga; contudo, tal falha ocorreu tanto nos blocos nas fiadas superiores quanto nos blocos centrais da parede.

Percebe-se que a maioria das paredes estruturais tiveram sua falha ocorrendo em sua lateral esquerda, podendo indicar uma excentricidade ao longo do eixo longitudinal da parede, porém não se pode afirmar tal fato, visto que durante os ensaios o macaco hidráulico foi centrado ao eixo da parede, e não fora percebido nenhum causa que indicasse algum tipo de excentricidade ao sistema.

Evidencia-se que as paredes testadas não apresentaram um padrão de falha para os ensaios feitos em temperatura ambiente, conforme percebido também por Oliveira et al. (2021) em sua pesquisa. Portanto, é possível identificar uma significativa variabilidade nos resultados, típica de estruturas de alvenaria de blocos cerâmicos.

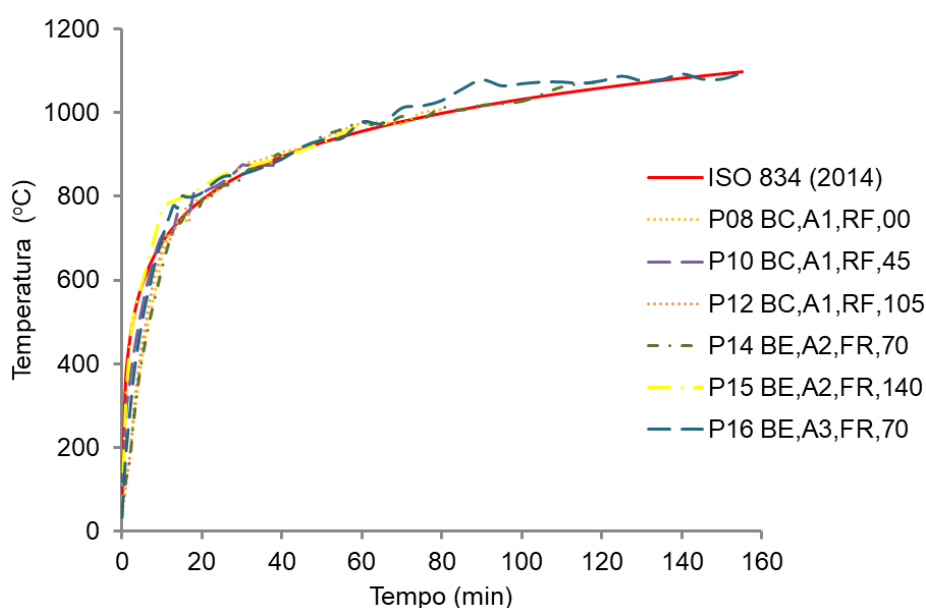
6 PAREDE DE ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados nas paredes de alvenaria em situação de incêndio, como: temperatura das faces expostas e não expostas, temperatura ao longo do substrato de argamassa de assentamento, capacidade resistente da parede, critério de falha das paredes (isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade) e seu modo de falha. Desse modo, será dividido em subtópicos para melhor compreensão e discussão dos resultados.

6.1 TEMPERATURA NO FORNO

A Figura 36 mostra a temperatura média interna dos gases do forno dos grupos das paredes ensaiadas sob incêndio e a curva de incêndio padrão ISO 834 (2014).

Figura 36 – Temperatura dos gases do forno



Fonte: O Autor (2023).

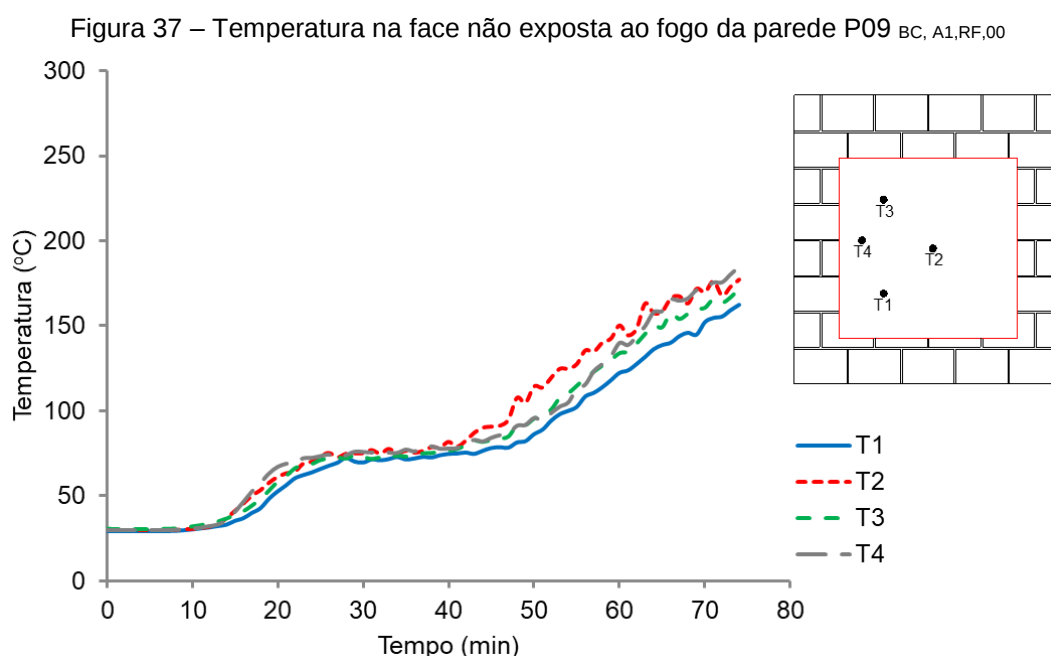
A curva da temperatura dos gases do forno apresentou menores valores até os primeiros 7 minutos, em virtude da inércia térmica do forno, porém, após esse tempo, a curva comportou-se de forma satisfatória e análoga à curva padrão ISO 834 (2014) até o final do ensaio para todas as amostras, apresentando, portanto, uma excelente representatividade de um incêndio padrão.

6.2 PAREDE DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Foram ensaiadas seis paredes com blocos cerâmicos comuns não estruturais, parede de vedação, com ou sem carregamento distribuído, para avaliar o comportamento frente ao fogo, conforme mostrado na Tabela 4. Acerca dessa questão, será destacado, a seguir, subtópico da avaliação das paredes frente às temperaturas, aos deslocamentos laterais, à capacidade de carga e ao modo de falha.

6.2.1 Temperatura nas paredes

A Figura 37 mostra a temperatura da face não exposta ao fogo da parede P09 BC,A1,RF,00, parede de vedação, que sofreu maior tempo de exposição ao fogo.



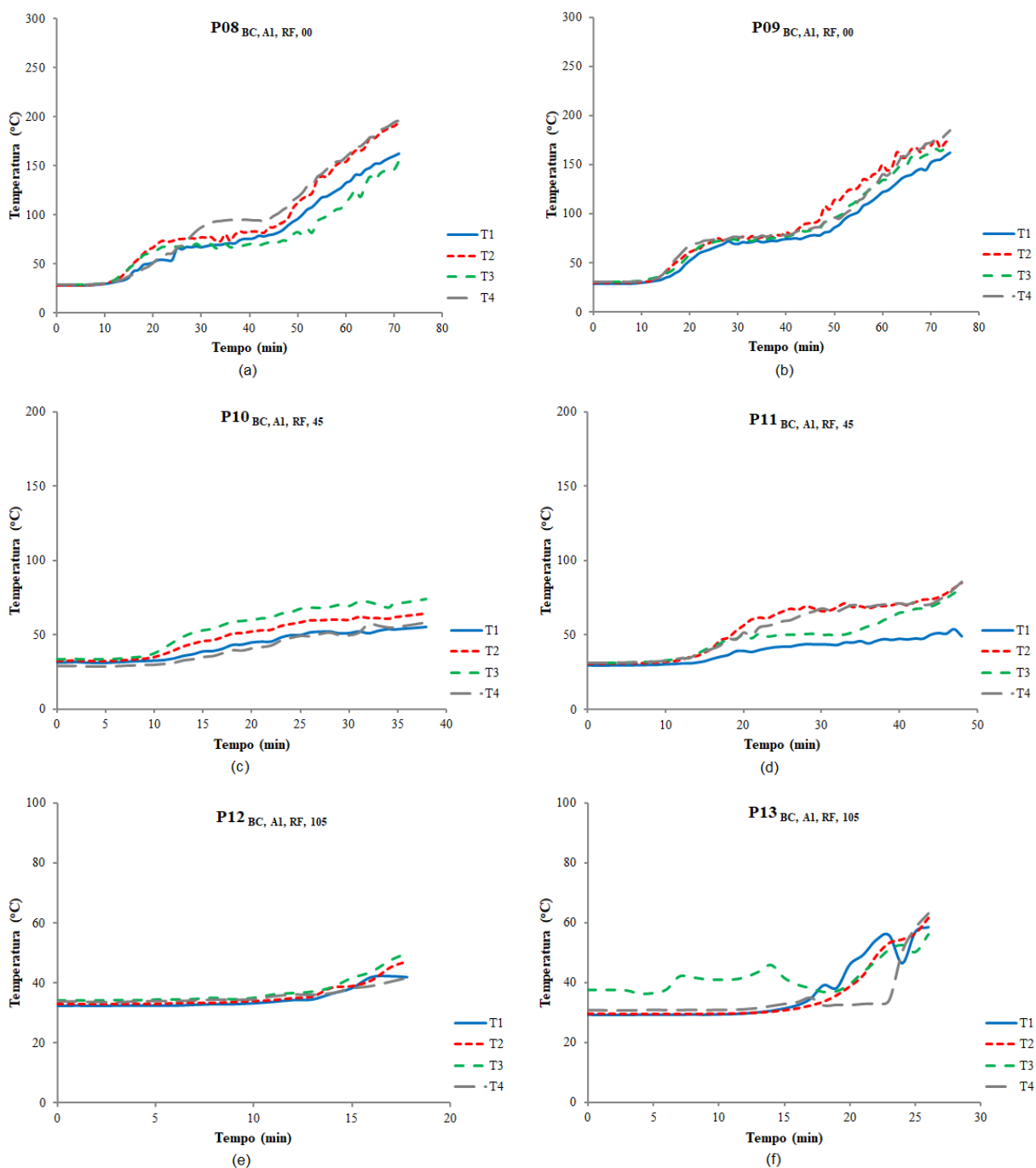
Fonte: O Autor (2023).

Quando comparadas as temperaturas entre os termopares, percebe-se uma diferença máxima entre as temperaturas de apenas 18°C entre os termopares T1 e T2, visto que T1 está medindo as temperaturas à 50 cm da altura da parede, ponto de medição de temperatura mais baixo, conforme esquema de instrumentação mostrado na Figura 27. A diferença entre os termopares começou a aumentar após 45 minutos quando surgiu uma fissura bastante próxima ao ponto de medição, liberando, com isso, gases quentes nessa região. Percebe-se, também, que as temperaturas começaram a aumentar na face não exposta após 15 minutos do início do ensaio térmico, tendo uma inércia térmica do próprio material na condução da temperatura.

Nesse intento, as temperaturas medidas no bloco (T1, T2 e T3) foram equivalentes à temperatura medida no substrato de argamassa (T4), como se observa também na Figura 37. Nesta mesma figura, percebe-se um patamar de temperatura próximo a 100°C, ocorrendo neste momento a evaporação de água contida no interior dos materiais, blocos cerâmicos e argamassa de assentamento.

A Figura 38 mostra a evolução das temperaturas da face não exposta ao fogo das paredes de vedação ensaiadas.

Figura 38 – Temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes de vedação



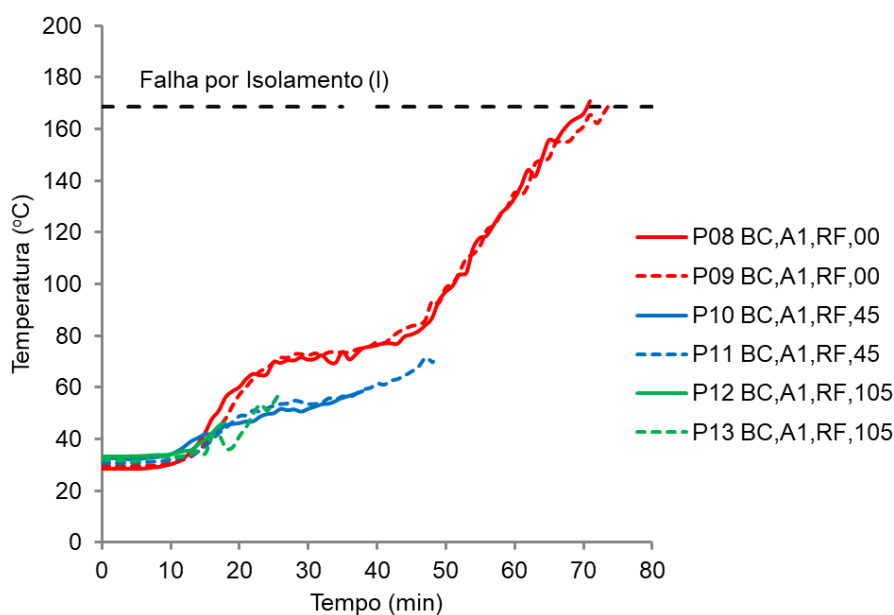
Fonte: O Autor (2023).

As temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes ensaiadas apresentaram resultados próximos entre seus pontos medidos, tendo uma excelente representatividade do comportamento térmico das paredes. As temperaturas da face não exposta ao fogo começaram a aumentar em torno de 12 minutos de exposição ao fogo. Ocorreu apenas na parede P13_{BC,A1,RF,105} uma temperatura maior no início do ensaio no termopar T3, pois este apresentou problemas durante o ensaio, não sendo possível sua troca. Porém, após 18 minutos, suas medições ficaram próximas aos valores médios dos demais termopares, não comprometendo os resultados.

Para melhor análise do critério de ruptura e comparação entre as paredes, foram tomadas as temperaturas médias dos termopares (T1, T2 e T3) inseridos nos blocos cerâmicos da face não exposta ao fogo.

A Figura 39 mostra a evolução das temperaturas médias dos termopares posicionados na face não exposta ao fogo dos blocos cerâmicos comuns das paredes ensaiadas, em situação de incêndio.

Figura 39 – Temperatura média na face não exposta ao fogo das paredes de vedação



Fonte: O Autor (2023).

Percebe-se que as temperaturas médias dos termopares nas paredes tiveram comportamento análogas entre si para a mesma condição de ensaio, ocorrendo uma leve dispersão após 15 minutos, momento em que as temperaturas foram menores para as paredes com carga, porém valores iguais para a mesma condição de carregamento. Entretanto, não identificou em nenhum estudo anterior a relação entre a carga mecânica e a variação da temperatura na face não exposta ao fogo.

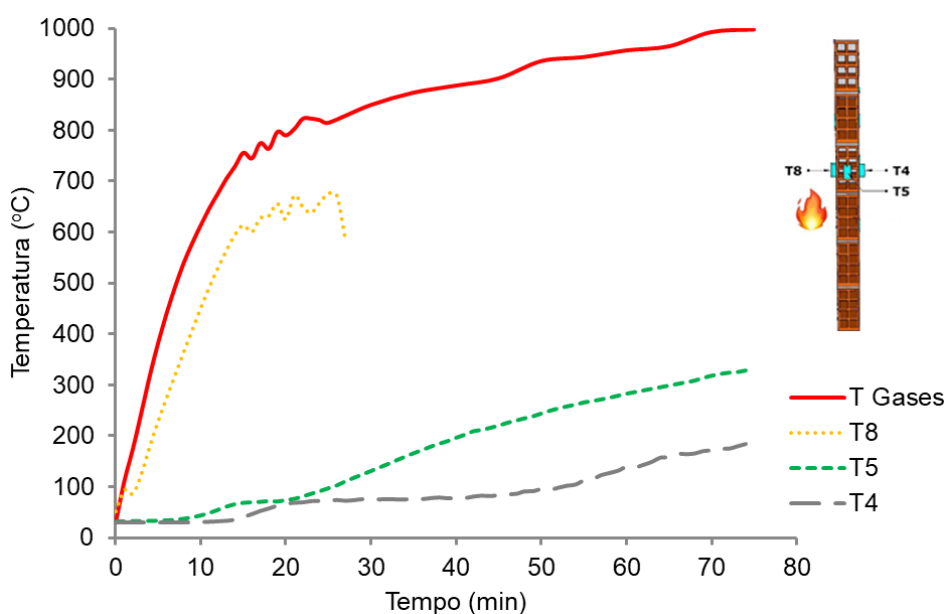
As paredes sem carga aplicada P08 e P09 atingiram a falha pelo critério do isolamento térmico, aos 71 min e 74 min, respectivamente, atingido 140°C acima da temperatura ambiente da média dos pontos medidos. As demais paredes (P10, P11, P12 e P13) falharam pelo critério de resistência mecânica, cuja discussão desses resultados estão expostos a seguir; porém, percebe-se, no gráfico, que essas falhas ocorrem com menos tempo de exposição para maiores carregamentos.

Nota-se que as duas paredes que atingiram a falha pelo critério de isolamento tiveram seu comportamento e temperaturas médias próximas entre si ao longo de todo o ensaio, resultando em um tempo médio de exposição ao fogo de 72 minutos.

6.2.2 Temperatura nas juntas de argamassa

A Figura 40 mostra a evolução da temperatura ao longo da espessura da junta horizontal de assentamento do substrato de argamassa da parede P9_{BC,A1,RF,00}.

Figura 40 – Temperatura ao longo da argamassa de assentamento da P09_{BC, A1,RF,00}



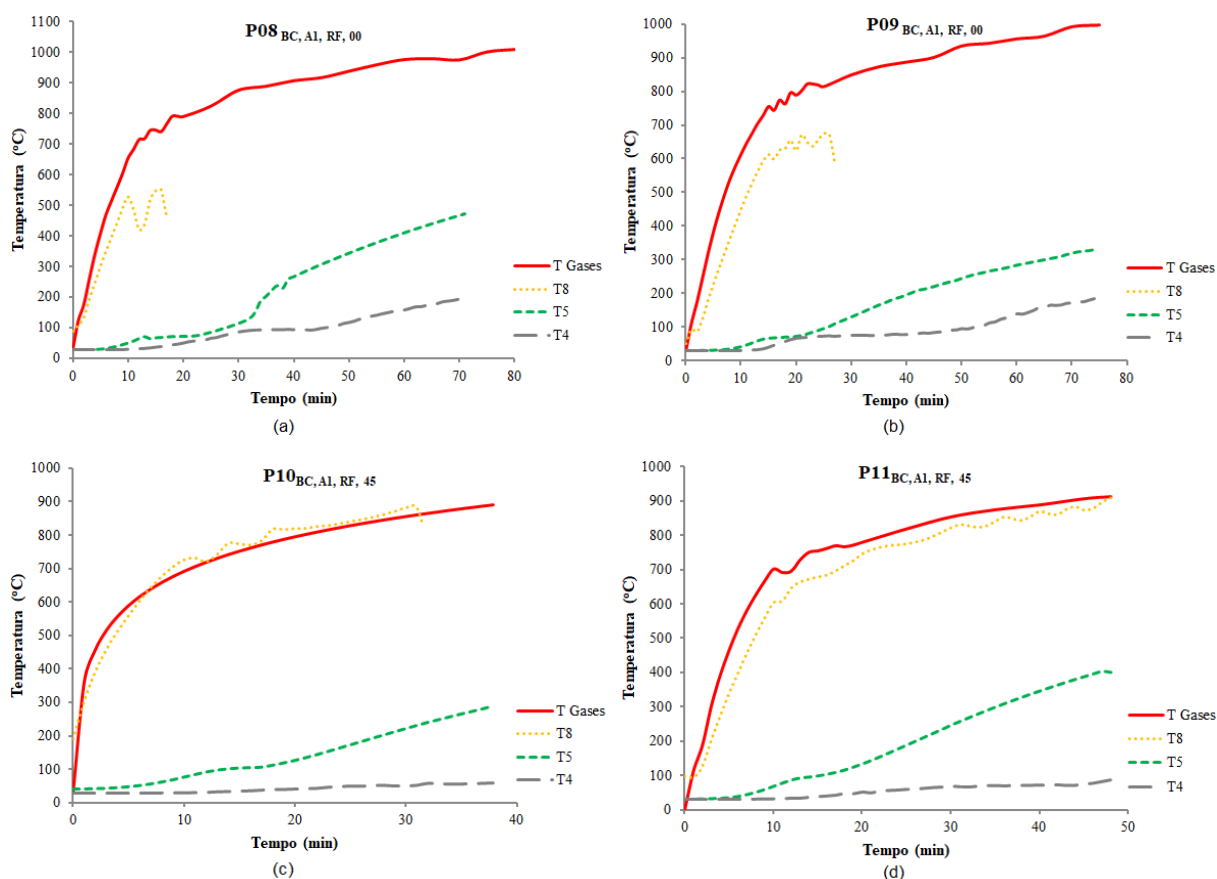
Fonte: O Autor (2023).

O termopar posto na argamassa na região exposta ao fogo (T8) apresentou no início do ensaio temperatura análogas à temperatura dos gases (T Gases); porém, após 25 minutos de exposição ao fogo ocorreu falha de leitura deste termopar após uma queda brusca na leitura das temperaturas. Entretanto, a temperatura dos gases continuou acompanhando a curva padrão de incêndio, como visto na Figura 36, assim não comprometendo os resultados e suas análises.

A Figura 40 mostra o patamar de temperatura próximo a 100°C, no intervalo entre 15 minutos e 20 minutos para o termopar T5, posicionado na metade da junta de assentamento, enquanto, no termopar T4, também na junta, porém na face não exposta, o patamar foi dos 20 minutos a 45 minutos, sendo mais prolongado, pois está mais afastado da incidência do fogo. Esse patamar de temperatura, proporcionado pela evaporação da água contida no substrato de argamassa, foi percebido também nos estudos de Nahhas et al. (2007), Nguyen & Meftah (2012) e Oliveira et al. (2021).

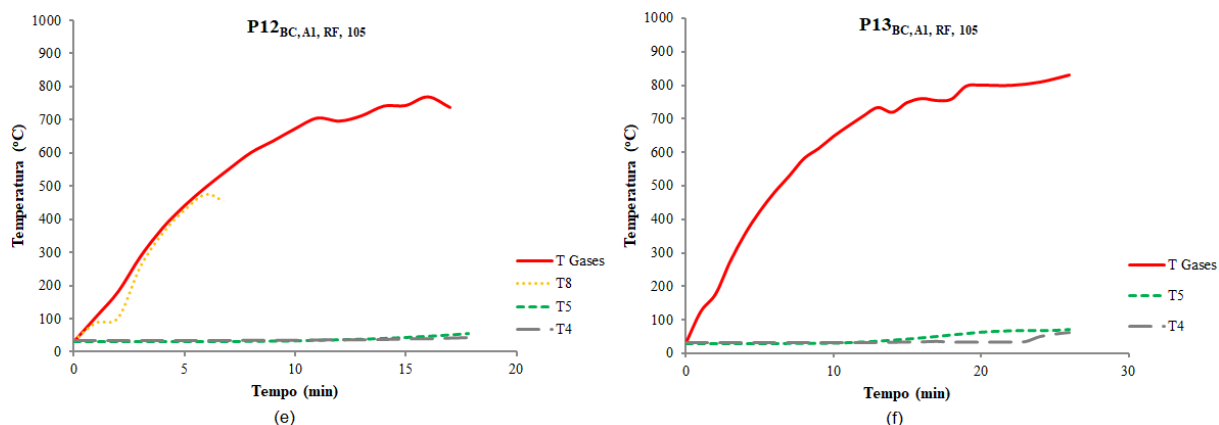
A Figura 41 mostra a evolução das temperaturas no substrato de argamassa de assentamento das paredes de vedação ensaiadas.

Figura 41 – Temperatura das argamassas de assentamento das paredes de vedação



Fonte: O Autor (2023).

Figura 41 (cont.) – Temperatura das argamassas de assentamento das paredes de vedação



Fonte: O Autor (2023).

As temperaturas das argamassas de assentamento das paredes tiveram comportamento idênticos entre si, apresentando patamar com início próximos dos 15 minutos de exposição ao fogo para o termopar T5, que está posicionado na metade da espessura da argamassa de assentamento. Ocorreu falha de leitura na maioria dos termopares posicionados na face da argamassa de assentamento exposta ao fogo (T8), porém não se alteraram os resultados e as suas respectivas análises, pois as temperaturas dos gases comportaram-se em conformidade a ISO 834 (2014).

Como mencionado anteriormente, em que a temperatura do substrato da argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos apresentou valores análogos as temperaturas médias da face não exposta ao fogo dos blocos cerâmicos. Desse modo, em um processo construtivo, quando for necessário introduzir revestimento nas paredes de vedação com as características apresentadas nesta pesquisa, sabe-se que os dois materiais (bloco cerâmico e argamassa) apresentaram temperaturas próximas entre si quando analisados termicamente.

6.2.3 Deslocamentos laterais

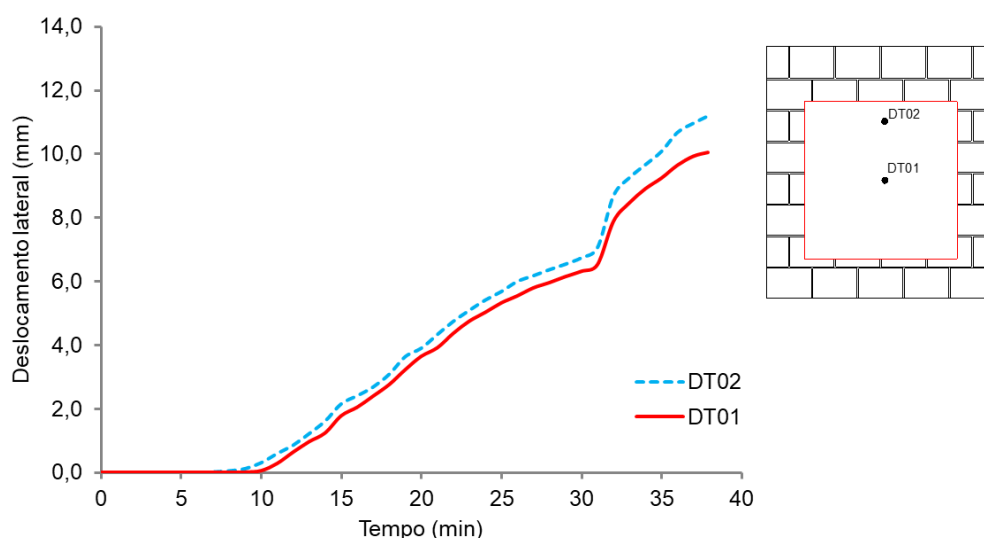
Foram avaliados, também, os deslocamentos laterais das paredes ao longo da exposição ao fogo. Os transdutores de deslocamento (DT01 e DT02), posicionados a $\frac{1}{2}$ e a $\frac{3}{4}$ da altura da parede, conforme a Figura 27, foram postos em todas as paredes ensaiadas.

A Figura 42 mostra o deslocamento da parede P10_{BC,Al,RF,45}. Percebe-se que não houve deslocamentos até os primeiros 10 min, visto que o gradiente de

temperatura entre as duas faces (exposta e não exposta ao fogo) ainda não era suficiente para provocar deslocamento horizontal em direção ao fogo.

Após esse tempo, os deslocamentos começaram a ocorrer sendo praticamente os mesmos tanto na metade quanto a $\frac{3}{4}$ da altura da parede (DT01 e DT02).

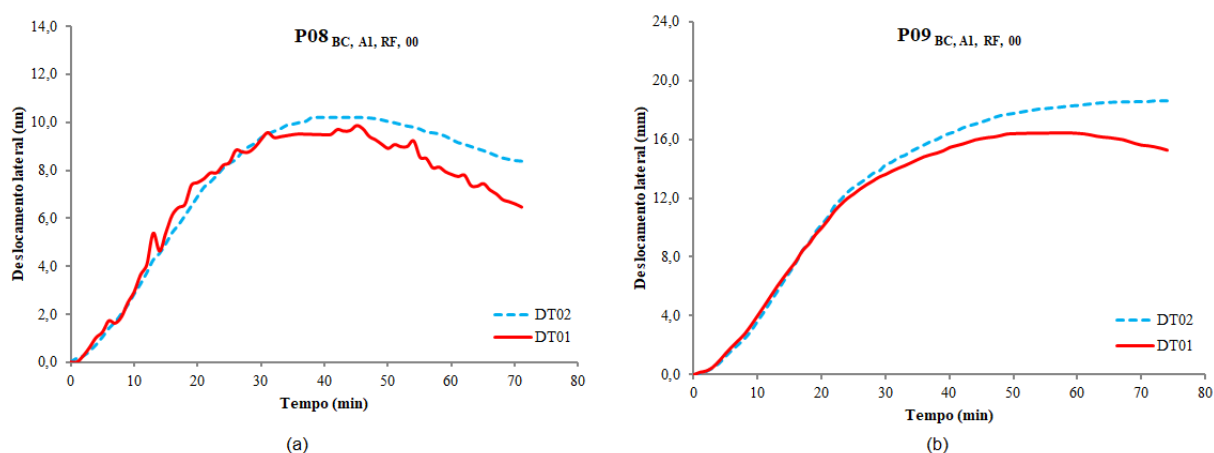
Figura 42 – Deslocamento lateral da parede P10_{BC,A1,RF,45}



Fonte: O Autor (2023).

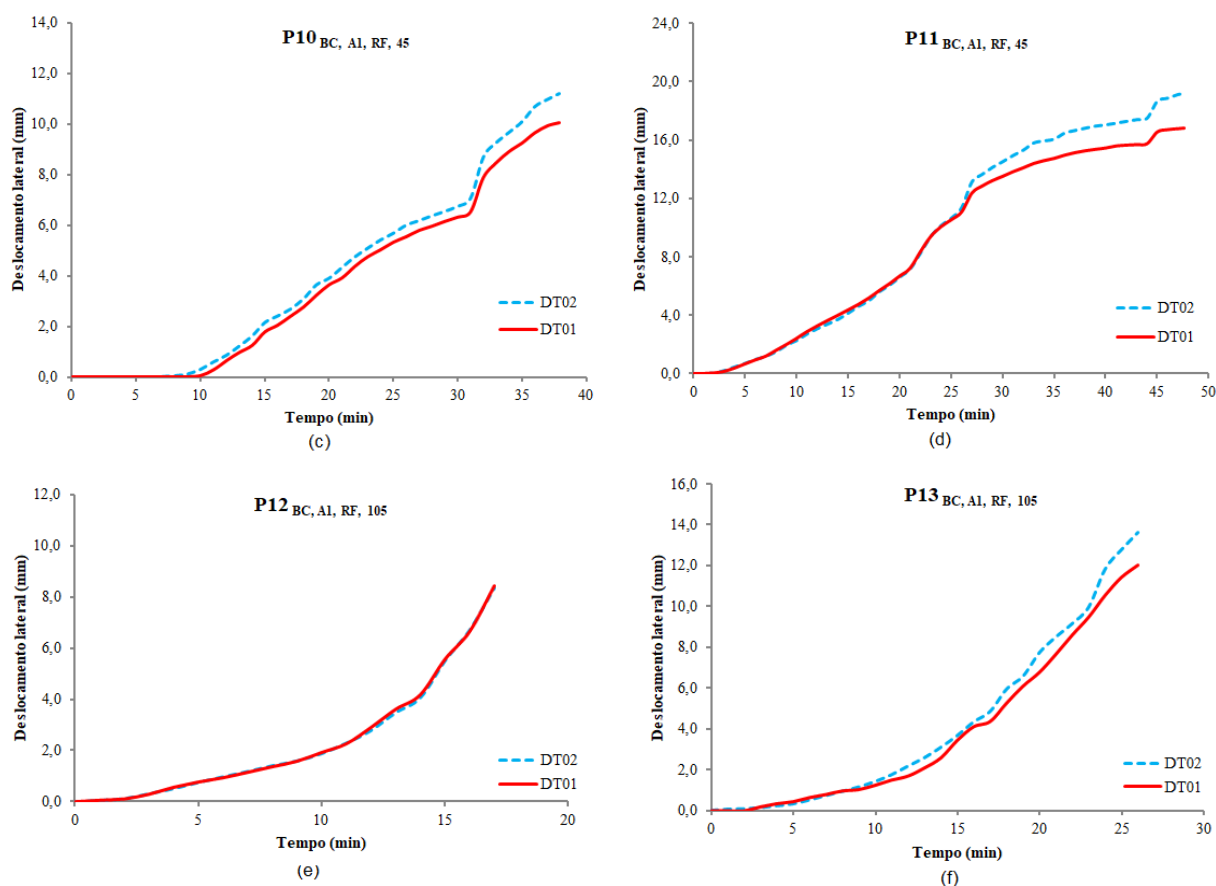
A Figura 43 mostra os deslocamentos das paredes de vedação ensaiadas em situação de incêndio. Percebe-se que as paredes sem carga (P08 e P09) apresentaram deslocamentos desde o início da aplicação da carga térmica, mas demonstraram um patamar e posterior redução de seus deslocamentos até o final do ensaio. As demais paredes, com carga, não apresentaram patamar de deslocamento e, portanto, não ocorreu redução de seus valores durante o ensaio.

Figura 43 – Deslocamentos laterais das paredes de vedação



Fonte: O Autor (2023).

Figura 43 (cont.) – Deslocamentos laterais das paredes de vedação

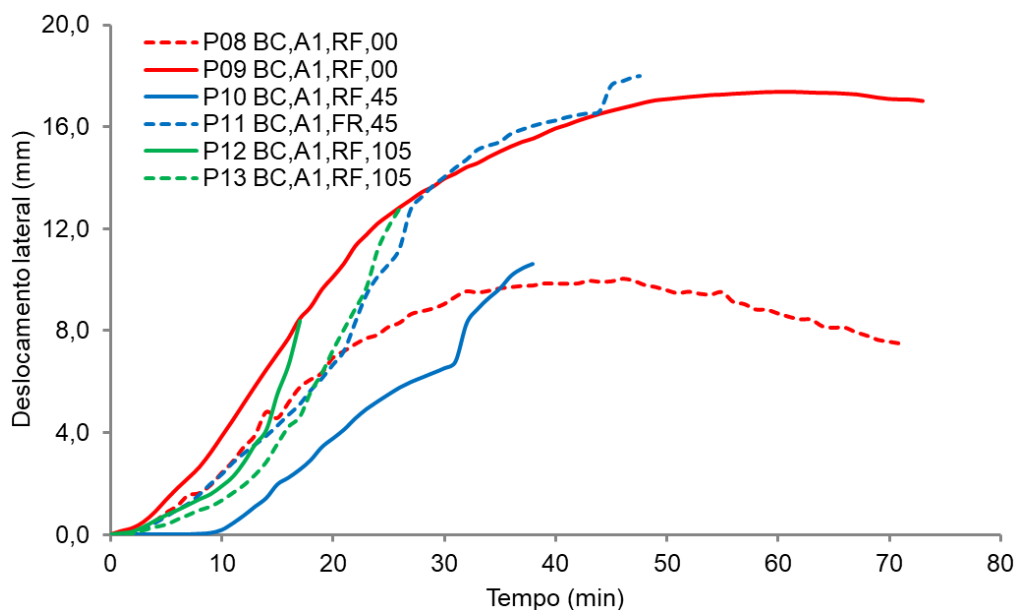


Fonte: O Autor (2023).

As paredes tiveram seus deslocamentos laterais superiores (DT01) e no ponto médio (DT02) análogos; porém, nos estudos de Nguyen & Meftah (2012), suas paredes com cargas apresentaram deslocamentos maiores a $\frac{3}{4}$ da altura, na região superior da parede. Todas as paredes curvaram-se em direção ao fogo.

A Figura 44 mostra os deslocamentos laterais médios, entre os pontos DT01 e DT02, das paredes de vedação, visto que seus valores foram praticamente idênticos entre si.

Figura 44 – Deslocamentos laterais médios das paredes de vedação



Fonte: O Autor (2023).

Nota-se por meio da Figura 44 que as paredes apresentaram deslocamentos laterais e que estes apresentaram resultados bem diferentes quando comparados ao grupo de paredes com as mesmas características e parâmetros analisados, mostrando a variabilidade das paredes executadas com estes tipos de blocos cerâmicos comuns.

6.2.4 Capacidade resistente

A Tabela 13 apresenta uma síntese da resistência ao fogo (RF) das paredes executadas com blocos cerâmico comuns não estruturais, paredes de vedação, ensaiadas em situação de incêndio, seja por falha no critério de isolamento térmico, seja por estanqueidade ou por resistência mecânica.

Tabela 13 – Resistência das paredes de vedação em situação de incêndio

Parede de referência	Temperatura média na face não exposta ao fogo (°C)	Resistência ao fogo (min.)	Critério de falha
P08 BC, A1, RF, 00	171	71	Isolamento térmico
P09 BC, A1, RF, 00	171	74	Isolamento térmico
P10 BC, A1, RF, 45	59	38	Resistência mecânica
P11 BC, A1, RF, 45	70	48	Resistência mecânica
P12 BC, A1, RF, 105	46	18	Resistência mecânica
P13 BC, A1, RF, 105	59	26	Resistência mecânica

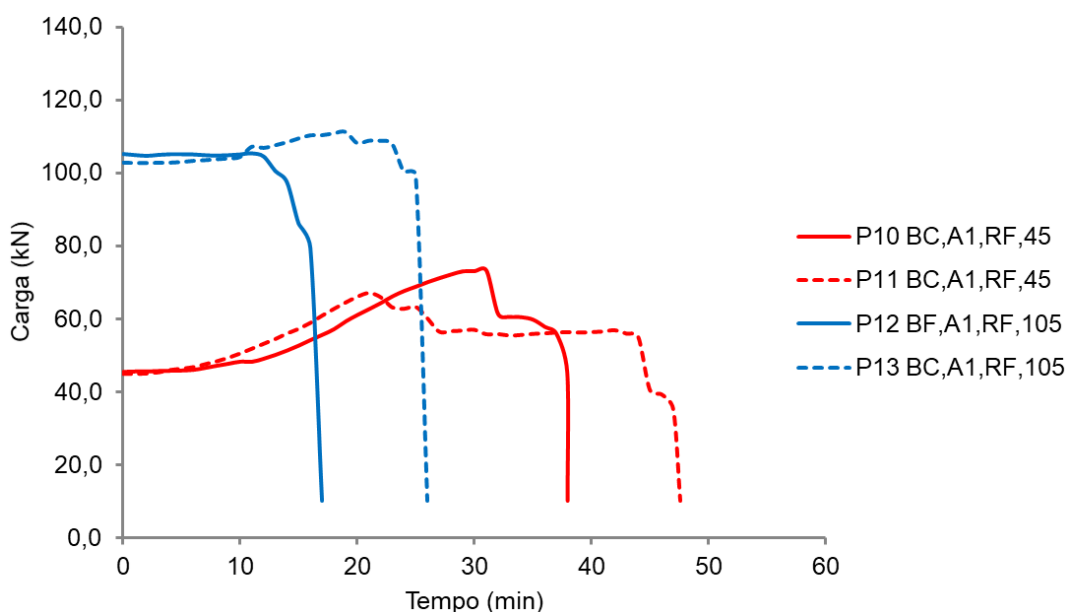
Fonte: O Autor (2023).

Ao aumentar a carga aplicada às paredes, elas passaram a falhar pelo critério de resistência mecânica. Desse modo, quanto maior o nível de carga, menor a resistência ao fogo das paredes. Para o nível de carga de serviço de 45 kN (equivalente a 30 kN/m), as paredes de vedação tiveram resistências ao fogo numa média de 43 min. Já para o nível maior de carga de 105 kN (equivalente a 70 kN/m), a resistência média ao fogo foi de 22 minutos. Valores esses bem menores que a resistência ao fogo média de 72 minutos obtida para as paredes sem carga aplicada, cuja falha se deu por isolamento térmico.

Como dito anteriormente, a pequena altura das paredes pode influenciar consideravelmente os resultados da resistência ao fogo pelo critério da capacidade resistente, visto que a esbeltez do elemento influencia na sua capacidade de carga, como observado por Byrne (1979), Nguyen & Meftah (2012) e Oliveira et al. (2021).

A Figura 45 mostra o comportamento da carga ao longo do ensaio das paredes de vedação que falharam pelo critério da resistência mecânica, ou seja, tiveram sua segurança estrutural comprometida.

Figura 45 – Perda de carga das paredes de vedação



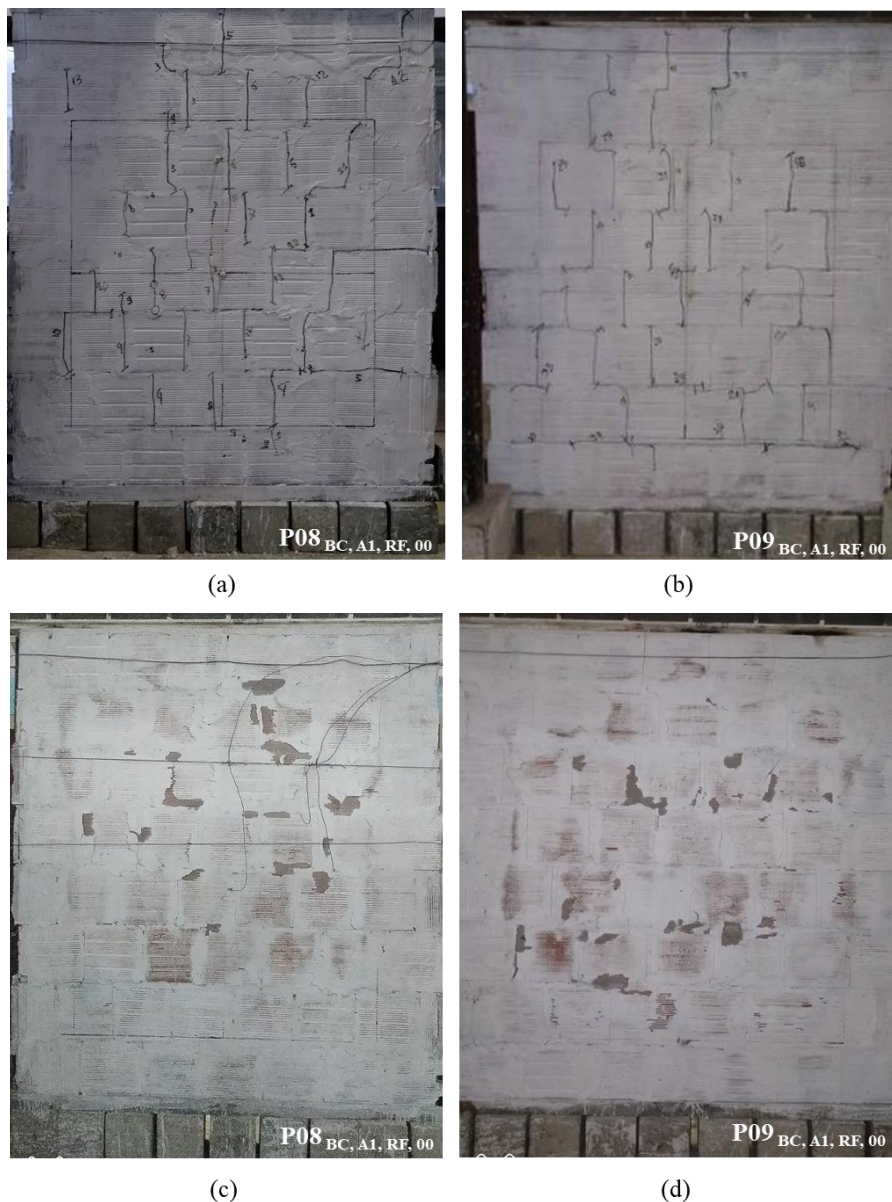
Fonte: O Autor (2023).

As paredes com carga aplicada de 45 kN registraram um aumento de carga proveniente de sua restrição à dilatação térmica, em virtude da carga térmica, e, posteriormente, uma redução e sua ruptura. Já com as paredes com maiores cargas, não foi registrado, praticamente, nenhum acréscimo até sua ruptura.

6.2.5 Modo de falha

A Foto 25, a Foto 26 e a Foto 27 mostram os modos de falha de cada grupo de paredes de vedação após o ensaio de resistência ao fogo.

Foto 25 – Modo de falha das paredes P08 e P09: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



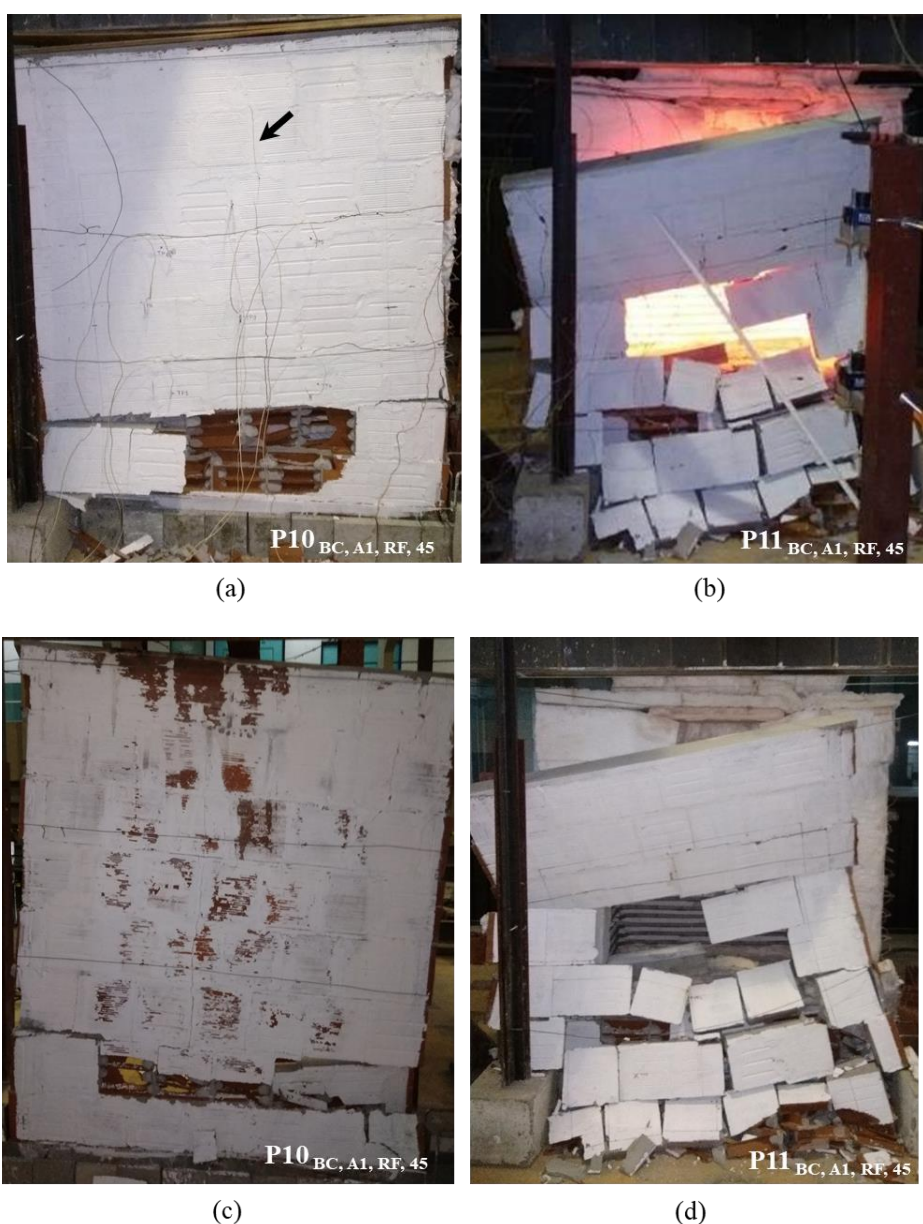
Fonte: O Autor (2023).

A Foto 25 mostra que ocorreram várias fissuras verticais e horizontais na junta de argamassa, isto é, na interface entre a argamassa e o bloco cerâmico para as paredes sem carga aplicada. Abertura máxima das fissuras em ambas as paredes foi da ordem de 2 mm, porém não sendo suficiente para atingir o critério de falha por estanqueidade, isto é, a queima do chumaço de algodão através da passagem dos gases quentes pela abertura da fissura. As paredes atingiram seu critério de falha pelo

critério de isolamento térmico em um tempo médio de exposição ao fogo de 72 min. conforme discutido no item 6.2.4.

As Foto 26 e Foto 27 mostram que nas paredes com carga ocorreram menos fissuras, porém algumas dessas aconteceram tanto na junta de argamassa quanto no próprio bloco cerâmico. Percebe-se na Foto 26 (a) um fissura vertical no meio e ao longo de toda a parede P10.

Foto 26 – Modo de falha das paredes: P10 e P11: (a) e (b) vista frontal; (c) vista posterior de P10 e (d) vista frontal de P11



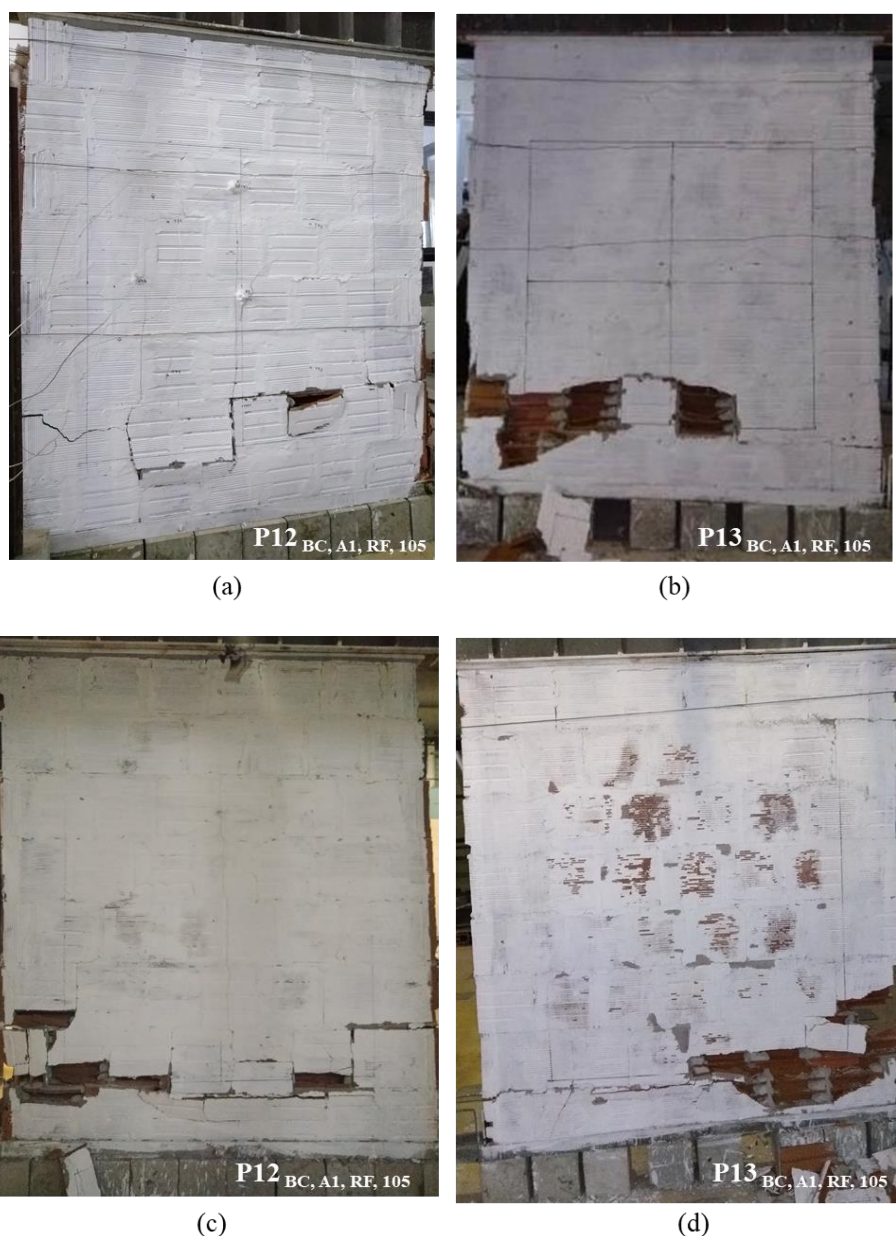
Fonte: O Autor (2023).

A Foto 26 (b) mostra o modo de falha da parede P11 BC, A1, RF, 45 em que ocorreu uma ruptura bastante abrupta e desmoronamento de toda parede após sua falha

mecânica, ruptura típica de alvenaria de vedação com carga. Durante o ensaio, surgiu também uma fissura vertical no meio da parede, tendo sido prolongada ao longo de toda sua altura, tanto nas juntas de argamassa quanto nos blocos cerâmicos.

A Foto 27 mostra a falha das paredes P12 e P13.

Foto 27 – Modo de falha das paredes P12 e P13: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

A ruptura das paredes com carga ocorreu, em sua maioria, nas primeiras fiadas de assentamento dos blocos, surgindo também fissura vertical na região central da parede, prolongando-se ao longo da primeira à penúltima fiada. Não ocorreu em

nenhuma das paredes de vedação o efeito de *spalling* na face exposta ao fogo, como pode ser observado nas fotos acima.

As imagens acima mostram que as paredes de blocos cerâmicos comuns não-estruturais quando aplicada qualquer dos níveis de carga (45 kN ou 105 kN) mudaram seu critério de falha por isolamento térmico para falharem pelo de resistência mecânica. Nota-se que as paredes não apresentaram muitas fissuras entre a argamassa e o blocos cerâmicos, como na situação das paredes sem carga, isto porque ficaram menos tempo de exposição ao fogo, bem como a carga inicialmente aplicada minimizam estas fissuras pela tensão aplicadas nos elementos.

Outra características da ruptura é que esta se deu na parte inferior a parede, região onde ocorrem maiores tensões, surgindo um deslocamento da parede externa dos blocos cerâmicos.

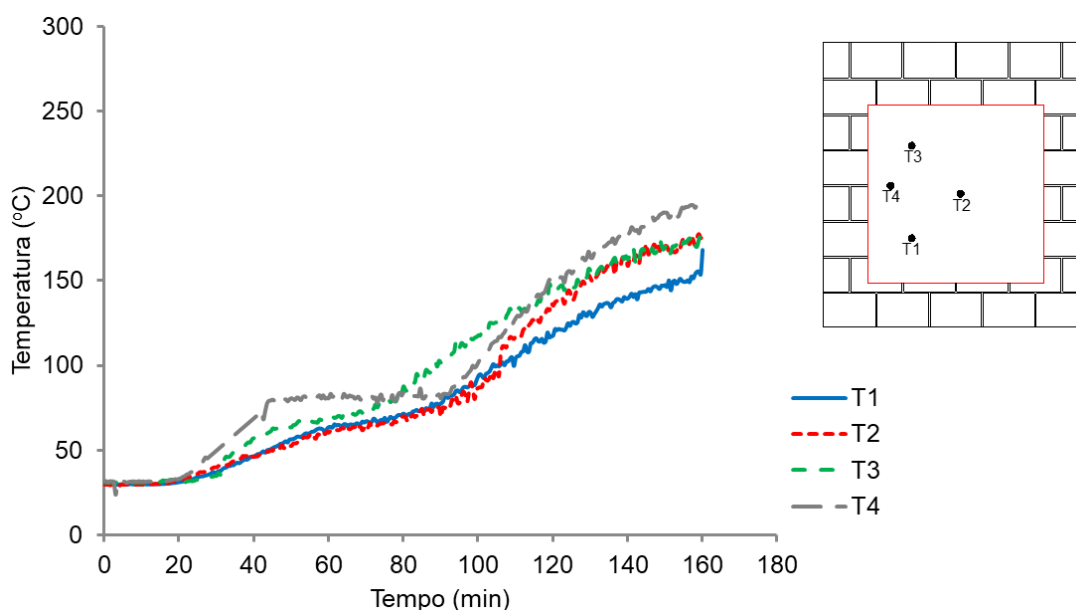
6.3 PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Foram ensaiadas cinco paredes com blocos estruturais com carga inicialmente aplicada para avaliar o comportamento frente ao fogo, conforme mostrado na Tabela 4. A seguir, serão mostrados e analisados o comportamento dessas paredes frente às altas temperaturas, os deslocamentos laterais, a capacidade de carga e o modo de falha.

6.3.1 Temperatura nas paredes

A Figura 46 mostra a temperatura da face não exposta ao fogo da parede estrutural P17 BE2,A3,RF,70.

Figura 46 – Temperatura na face não exposta da parede P17 BE2, A3,RF,70



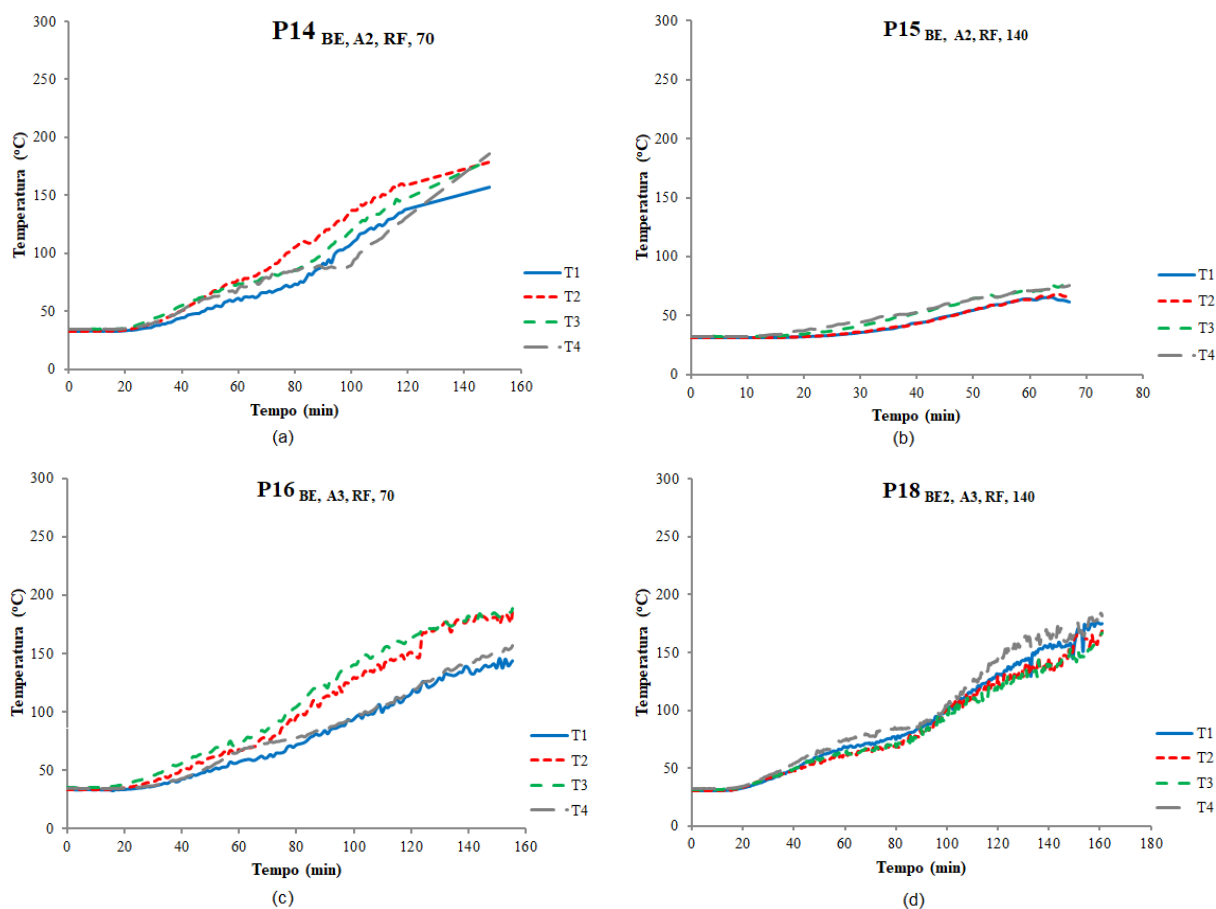
Fonte: O Autor (2023).

Percebe-se que as temperaturas na face não exposta ao fogo da parede apresentaram-se comportamento concordantes entre si, ocorrendo uma maior diferença de 25° em algumas leituras, aos 130 minutos de exposição ao fogo, entre os termopares T1 e T3, postos na parte inferior e superior da parede, conforme esquema mostrado na Figura 27, respectivamente. O aumento de temperatura começou a ocorrer após 21 minutos de exposição ao fogo, em virtude da inércia térmica do bloco cerâmico estrutural.

A temperatura no substrato de argamassa de assentamento foi maior que a temperatura dos blocos cerâmicos; esta também apresentou um patamar de temperatura próximos aos 100°C, aos 42 minutos de exposição ao fogo. Os termopares dos blocos cerâmicos também apresentaram um patamar de temperatura porém próximo aos 50°C.

A Figura 47 mostra a evolução das temperaturas da face não exposta ao fogo das paredes estruturais ensaiadas.

Figura 47 – Temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes estruturais ensaiadas



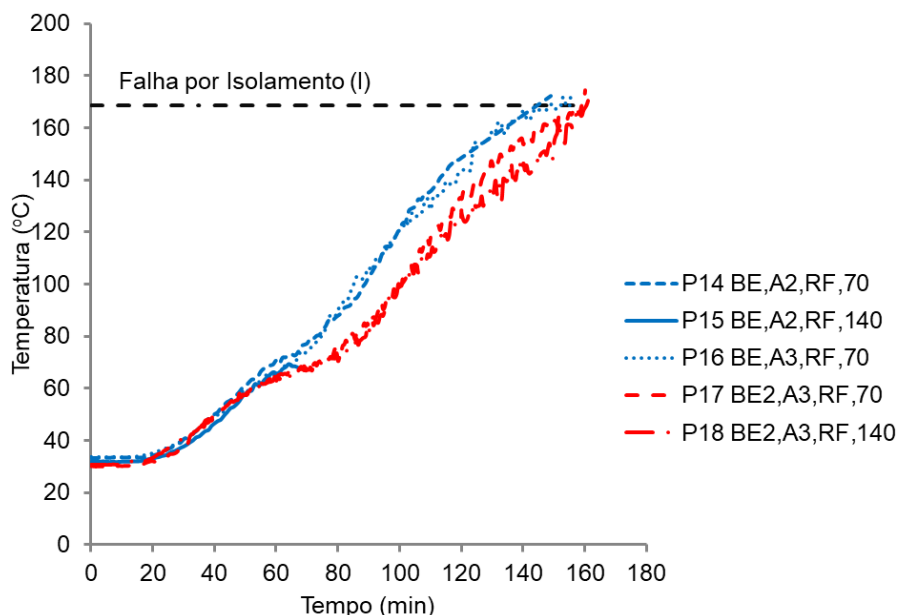
Fonte: O Autor (2023).

As temperaturas na face não exposta ao fogo das paredes estruturais apresentaram resultados correspondentes entre si, exibindo uma representatividade do comportamento térmico das paredes análoga, ocorrendo uma diferença maior, isto é, 30°C, entre as temperaturas dos termopares T1 e T3 na parede P16_{BE,A3,RF,70}. Em todas as paredes, as temperaturas começaram a aumentar aos 21 minutos de exposição ao fogo.

Destaca-se que a parede P14_{BE,A2,RF,70} teve seu ensaio interrompido aos 120 minutos de exposição ao fogo para preservação do forno, pois este estava com indício de dano ao equipamento, desse modo, para não ocorrer avaria e comprometer este e outros trabalhos experimentais programados do grupo de pesquisa foi decidido parar. Entretanto, não comprometeu as análises e resultado desta nem das demais paredes ensaiadas. Assim, foi feita uma extrapolação linear dos dados de temperatura com o comportamento ao qual estava tendo até atingir o critério de falha, que neste caso foi por isolamento térmico aos 149 minutos, como está abordado 6.3.4.

Para melhor análise do critério de ruptura e comparação entre as paredes, foram tomadas as temperaturas médias dos pontos medidos na face não exposta ao fogo dos três termopares postos nos blocos cerâmicos (T1 a T3) – Figura 48.

Figura 48 – Temperatura média na face não exposta ao fogo das paredes estruturais



Fonte: O Autor (2023).

As temperaturas médias nas paredes tiveram comportamento correspondentes entre si, ocorrendo uma dispersão após 60 minutos de exposição ao fogo, momento em que as paredes P17 e P18 apresentaram temperaturas menores que as P14 e P16. Tal diferença pode estar associada ao tipo de bloco estrutural empregado, visto que as paredes estruturais P17 e P18 foram produzidas com material de lote (lote 2) diferente dos demais, porém para o mesmo grupo de blocos cerâmicos apresentaram comportamentos semelhantes entre si, independentemente do nível de carregamento. Denotando desse modo que o carregamento não interfere no comportamento térmico das paredes de blocos cerâmicos. Em contrapartida, percebeu comportamento diferente ao para as paredes com blocos cerâmicos comuns, mencionado anteriormente.

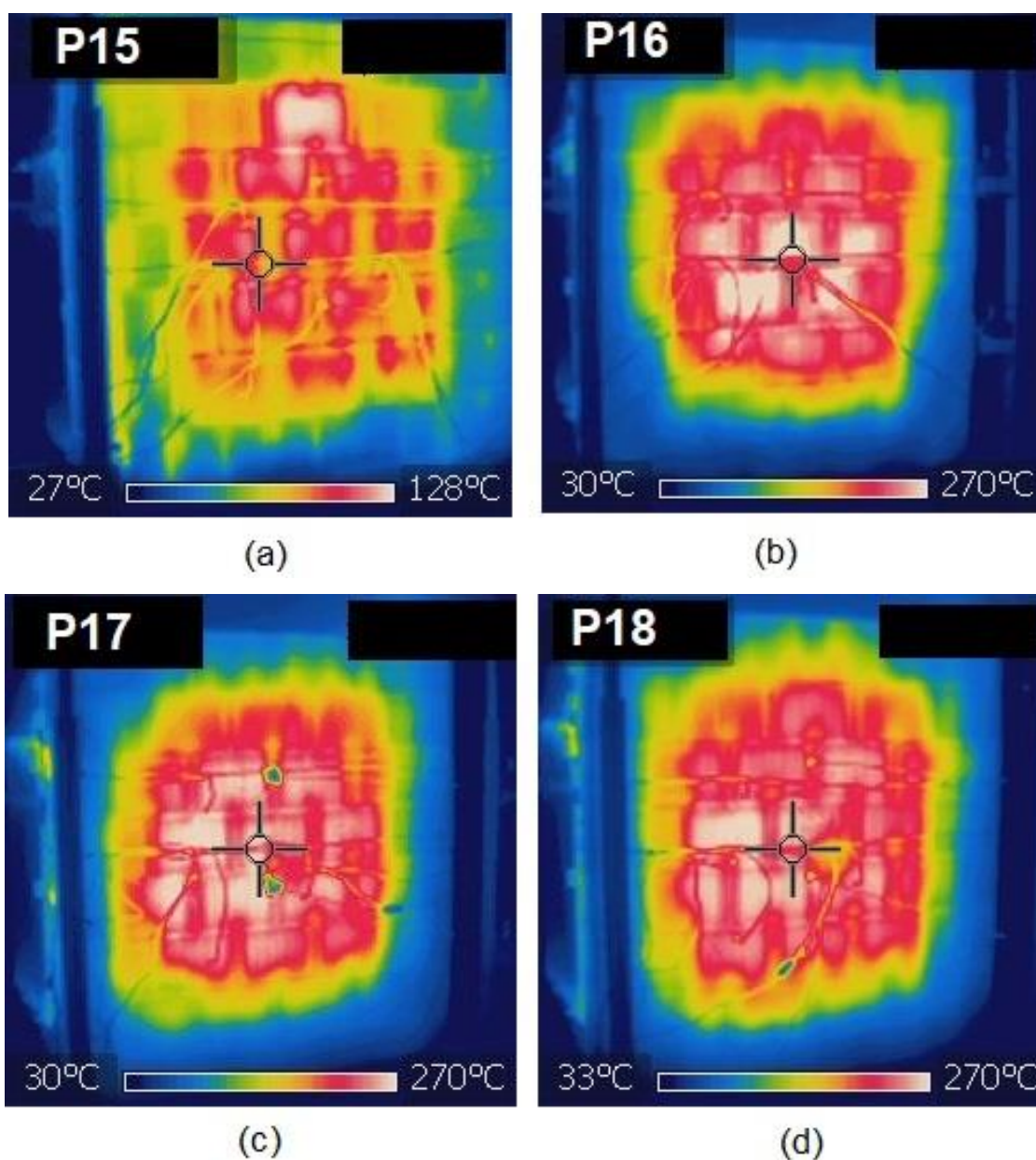
As paredes estruturais com cargas de 70 kN, aplicadas inicialmente, atingiram sua falha pelo critério de isolamento térmico em um tempo médio de 155 minutos. Observa-se, nesse aspecto, que a parede P18_{BE2,A3,RF,140} atingiu sua falha também pelo critério de isolamento térmico; porém, ressalta-se que a carga aplicada foi

reduzida por falha no sistema de bombas, caindo de forma significativa até atingir a carga de 72 kN aos 161 minutos, quando foi atingindo o critério de falha.

A parede P15 $BE, A2, RF, 140$ falhou pelo critério de resistência mecânica aos 68 minutos cuja discussão desses resultados estão expostos a seguir.

A Foto 28 mostra uma configuração térmica das faces não expostas ao fogo das paredes P15, P16, P17 e P18 no instante ao atingir o critério de falha.

Foto 28 – Imagens da FNEF das paredes: (a) P15 $BE, A, RF, 140$, (b) P16 $BE, A3, RF, 70$, (c) P17 $BE2, A3, RF, 70$ e (d) P18 $BE2, A3, RF, 140$



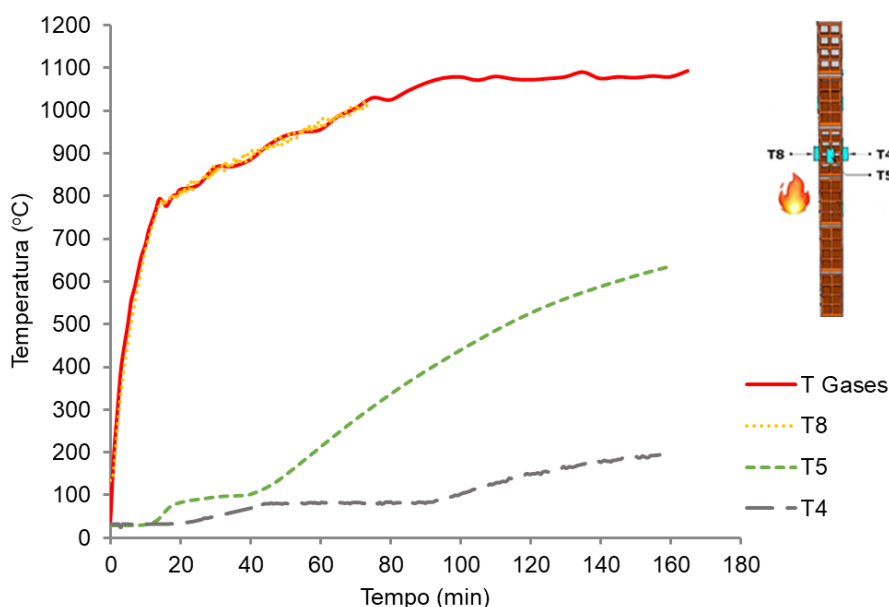
Fonte: O Autor (2023).

Percebe através das imagens que ocorre uma área bastante delimitada de aquecimento da parede, proveniente do forno, mostrando de forma bem definida o aquecimento da face não exposta ao fogo das quatro paredes. Na escala logo abaixo de cada imagem nota-se que a parede P15_{BE, A, RF, 140} que teve sua falha aos 68 minutos, por falha mecânica, a temperatura apresenta-se menor quando comparada com as demais paredes.

6.3.2 Temperatura nas juntas de argamassa

A Figura 49 mostra as temperaturas ao longo da espessura da junta horizontal de assentamento do substrato de argamassa da parede P17_{BE, A3, RF, 70}.

Figura 49 – Temperatura na argamassa da P17_{BE, A3, RF, 70}



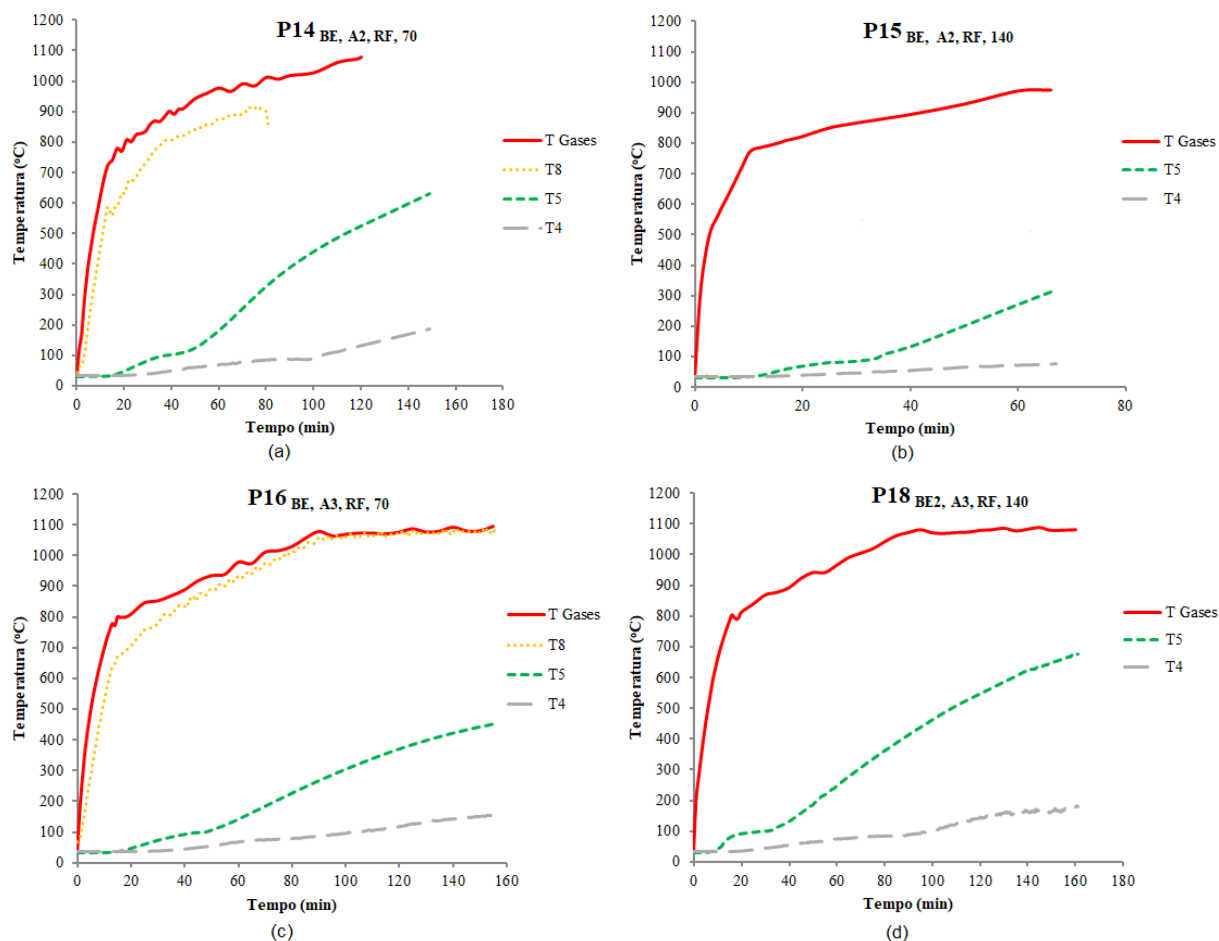
Fonte: O Autor (2023).

As temperaturas dos gases (T Gases) foram equivalentes as do termopar posto na argamassa na região exposta ao fogo (T8) até aos 75 minutos, ocorrendo uma falha na leitura desse termopar, mas sem comprometer os resultados.

A Figura 49 mostra o patamar de temperatura próximo a 100°C, no intervalo entre 18 minutos e 40 minutos para o termopar T5, posicionado na metade da junta horizontal de assentamento, enquanto, no termopar T4, também na junta, mas na face não exposta, o patamar foi dos 45 minutos aos 90 minutos, sendo mais prolongado, pois está mais afastado da incidência do fogo. Esse patamar ocorre, como já mencionado anteriormente, em virtude da água contida no substrato de argamassa.

A Figura 50 mostra a evolução das temperaturas no substrato de argamassa das paredes estruturais ensaiadas.

Figura 50 – Temperatura na argamassa das paredes estruturais



Fonte: O Autor (2023).

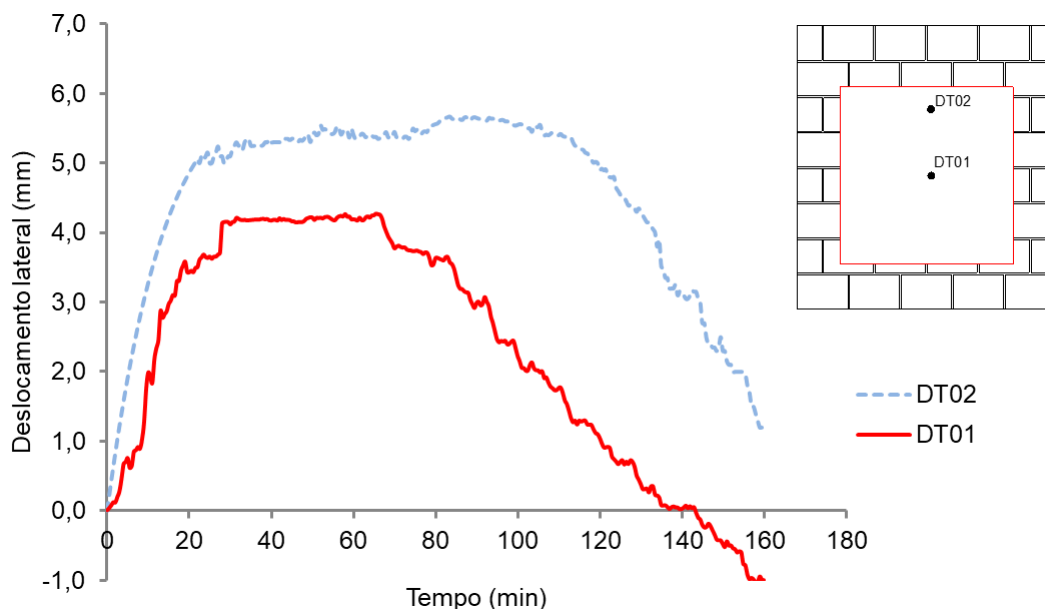
As temperaturas nas argamassas de assentamento exibiram similaridades, apresentando patamar com início próximo aos 20 minutos de exposição da parede ao fogo para o termopar T5, que está posicionado na metade da espessura da argamassa de assentamento. Ocorreu falha de leitura nos termopares T8 das paredes P14, P15 e P18, entretanto a temperatura dos gases foi equivalente à curva ISO 834 (2014), conforme mostrado anteriormente.

6.3.3 Deslocamentos laterais

A Figura 51 mostra os deslocamentos da parede P17_{BE, A3, RF, 70}. Ocorreu deslocamento nos pontos medidos (DT01 e DT02) logo após iniciada a carga térmica.

Os deslocamentos a $\frac{3}{4}$ da altura da parede foram maiores que os deslocamentos no meio do vão (DT01).

Figura 51 – Deslocamentos da parede P17 BE2, A3,RF,70



Fonte: O Autor (2023).

Observa-se que, nos dois pontos medidos, ocorreram patamares de deslocamentos

Após 25 minutos de exposição ao fogo, não houve deslocamento, apresentando um patamar para ambos os deslocamentos, sendo maior no DT02. Após os 65 minutos, ocorreu uma redução dos deslocamentos laterais na parte central da parede, implicando, portanto, diminuição da curvatura da parede em direção ao fogo até o término do ensaio.

A Figura 52 mostra os deslocamentos laterais das paredes estruturais submetidas ao incêndio.

Figura 52 – Deslocamentos laterais das paredes estruturais

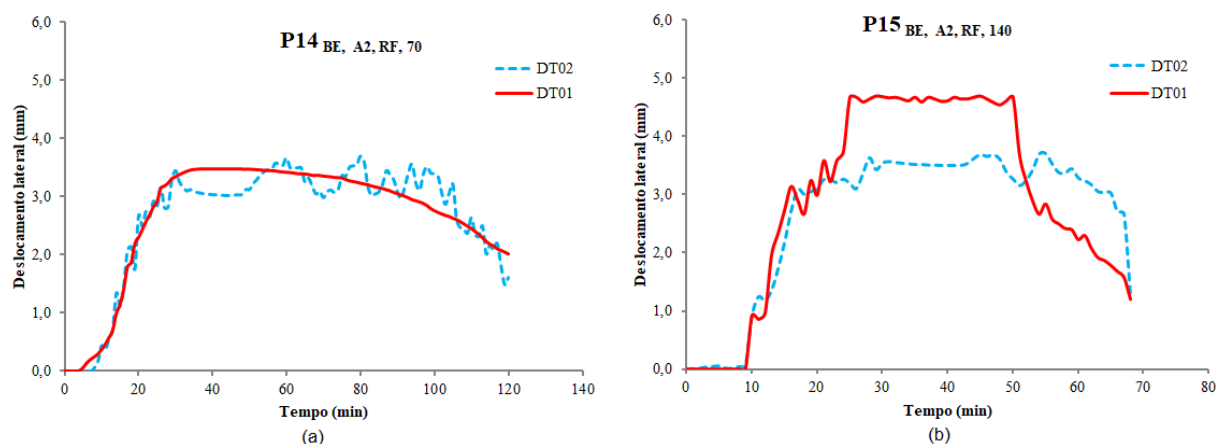
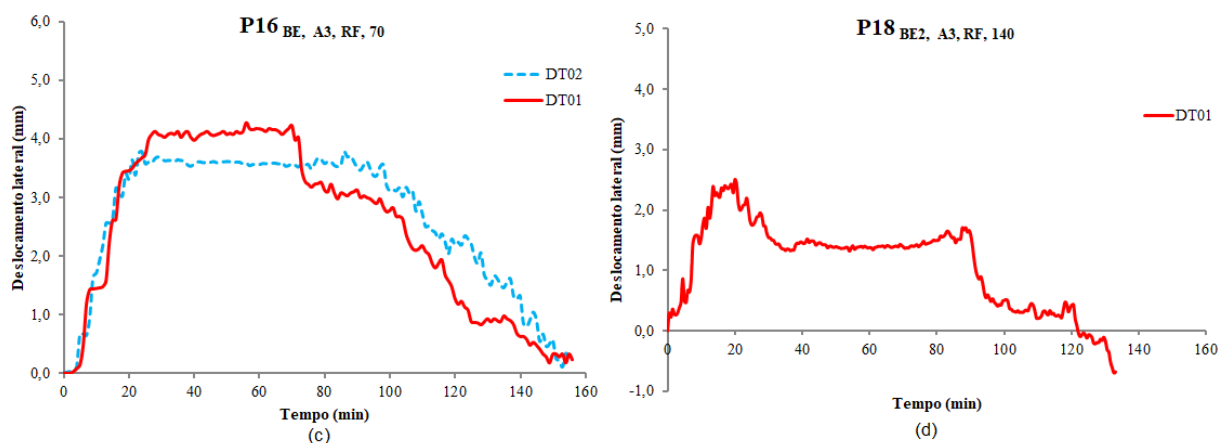


Figura 52 (cont.) – Deslocamentos laterais das paredes estruturais



Fonte: O Autor (2023).

Os deslocamentos laterais das paredes foram da ordem de 3 mm a 5 mm apenas, valores estes bem menores, quando comparados aos das paredes de vedação e, ainda, um pouco menores aos dos estudos realizados por Oliveira (2021), com alturas equivalentes a essas paredes estruturais ensaiadas. Percebe-se que as paredes P14_{BE, A2, RF, 70} e P16_{BE, A3, RF, 70} tiveram resultados análogos entre os pontos medidos (DT01 e DT02). Os deslocamentos da P15_{BE, A2, RF, 140} começaram após 9 minutos de exposição ao incêndio com os mesmos valores entre os pontos medidos e apresentando uma diferença a menor para o ponto posicionado a $\frac{3}{4}$ da altura da parede. Nos deslocamentos DT02 da parede P18_{BE2, A3, RF, 140}, não foi possível capturar os valores, pois ocorreram falhas e inconsistências nos dados de leitura.

Todas as paredes estruturais ensaiadas ao incêndio apresentaram um patamar de deslocamento, e, posteriormente, uma redução em seu valor, e, desse modo, uma redução da curvatura em direção ao fogo até a término do ensaio. Patamar e a

redução dos deslocamentos também foram observados nas pesquisas de Nahhas et al. (2007), Nguyen & Meftah (2012) e Oliveira et al. (2021).

Com base nesses resultados percebe-se que as paredes executadas com blocos cerâmicos comuns não-estruturais apresentaram maiores deslocamentos que as paredes de blocos cerâmicos estruturais, pois sua espessura é menor que as paredes de blocos estruturais, apresentando uma maior esbeltez, quando comparadas, desse modo sendo mais susceptível a tais efeitos. Também, pode-se concluir por ser uma parede mais esbelta esse efeito torna-se mais evidente do que para as paredes menos esbeltas, que é o caso das paredes de blocos cerâmicos estruturais.

6.3.4 Capacidade resistente

A Tabela 14 apresenta uma síntese da resistência ao fogo (RF) das paredes estruturais ensaiadas em situação de incêndio, seja por falha no critério de isolamento térmico, seja por estanqueidade ou por resistência mecânica.

Tabela 14 – Resistência das paredes estruturais em situação de incêndio

Parede de referência	Temperatura média na face não exposta ao fogo (°C)	Resistência ao fogo (min.)	Critério de falha
P14 _{BE, A2, RF, 70}	172	149	Isolamento térmico
P15 _{BE, A2, RF, 140}	68	68	Resistência mecânica
P16 _{BE, A3, RF, 70}	173	155	Isolamento térmico
P17 _{BE2, A3, RF, 70}	174	160	Isolamento térmico
P18 _{BE2, A3, RF, 140}	171	161	Isolamento térmico

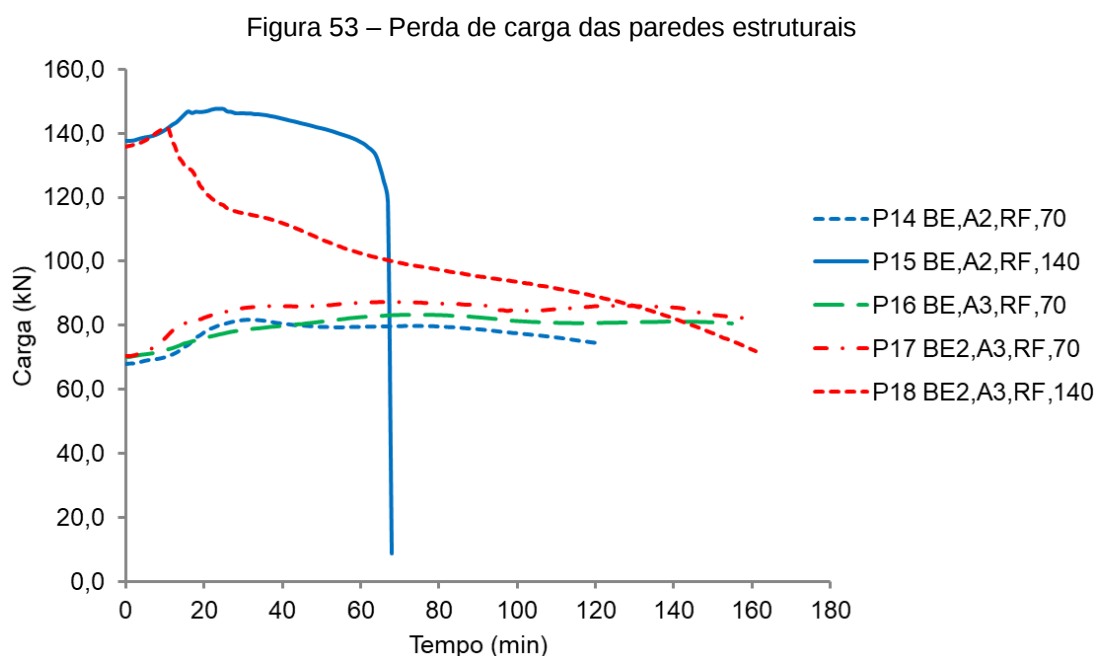
Fonte: O Autor (2023).

As paredes com cargas de 70 kN inicialmente aplicadas tiveram seu critério de falha atingido pelo isolamento térmico. Em contrapartida, observa-se, nesse sentido, que, a parede P18_{BE2,A3,RF,140}, também ocorreu falha por isolamento térmico, pois a carga inicialmente aplicada de 140 kN reduziu de forma significativa, ver Figura 53, chegando a registrar uma carga próximo aos 70 kN quando falhou por isolamento térmico. Desse modo, tomando como referência as quatro paredes estruturais que atingiram o critério de falha por isolamento térmico, tem-se um tempo médio de resistência ao fogo de 156 minutos. Assim, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é de 150 minutos para esse tipo de parede com essas características e condições.

Quando foi aumentada a carga para 140 kN, isto é, o dobro da anteriormente aplicada, a parede P15_{BE,A2,RF,140} teve seu critério de falha por resistência mecânica aos 68 minutos de exposição ao fogo, cuja temperatura média dos pontos medidos na face não exposta ao fogo foi de 68°C.

Desse modo, pode-se concluir que o aumento da carga aplicada nas paredes muda seu critério de falha de forma significativa. Para o caso do dobro de carga aplicada inicialmente, o tempo de exposição ao fogo foi de apenas 43% do tempo médio das paredes que atingiram o critério de isolamento térmico.

A Figura 53 mostra o comportamento da carga das paredes estruturais ensaiadas que romperam pelo critério de resistência mecânica e por isolamento térmico.



Fonte: O Autor (2023).

As paredes que tiveram, inicialmente, a carga aplicada de 70 kN apresentaram um registro no acréscimo de carga em virtude da restrição à dilatação da parede, permanecendo, posteriormente, com a carga constante até atingir o critério de falha por isolamento térmico. Notou-se que a mudança no tipo de argamassa (A2 e A3) não influenciou no comportamento das paredes analisadas.

Já as paredes com carga inicial de 140 kN também apresentaram um acréscimo no registro de carga até os primeiros 12 minutos de exposição ao fogo; posteriormente, a parede P15_{BE,A2,RF,140} permaneceu aumentando até começar a reduzir e ocorrer sua falha brusca aos 68 minutos. Destaca-se que a P18_{BE2,A3,RF,140},

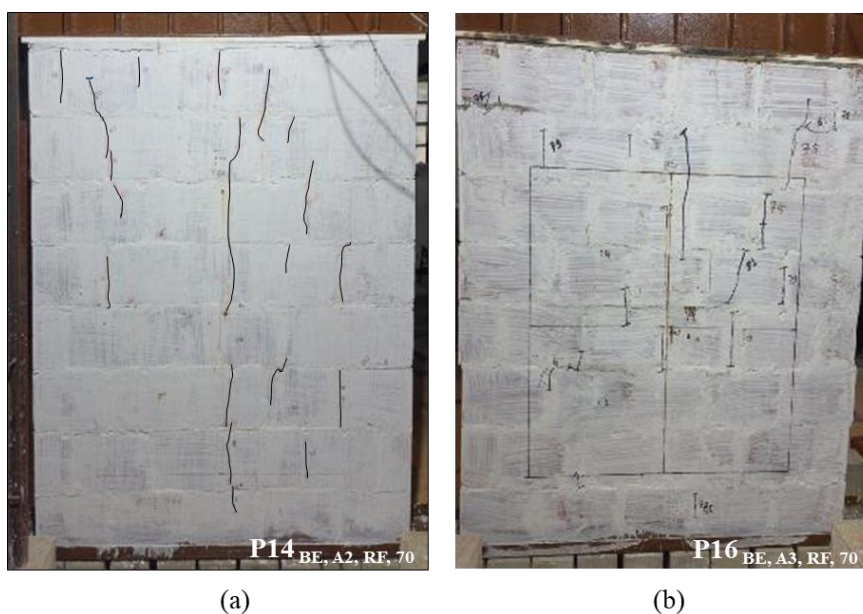
após os 12 minutos, começou a apresentar uma redução de sua carga, ocorrendo a falha pelo critério de isolamento térmico aos 161 minutos como mostra também a Tabela 14. Neste momento de falha a carga registrada na célula era de 72 kN. Essa redução foi percebida também por *spalling* nas paredes externas dos blocos expostos ao fogo, cujo comentário mais detalhado e imagens serão mostrados na próxima seção.

Desse modo, pode-se concluir que o aumento da carga aplicada nas paredes estruturais muda seu critério de falha de isolamento térmico para falha por resistência mecânica à exposição ao fogo. Para o caso, o dobro de carga aplicada, inicialmente, reduziu-se o tempo de exposição ao fogo para apenas 43% do tempo médio das paredes que atingiram o critério de isolamento térmico.

6.3.5 Modo de falha

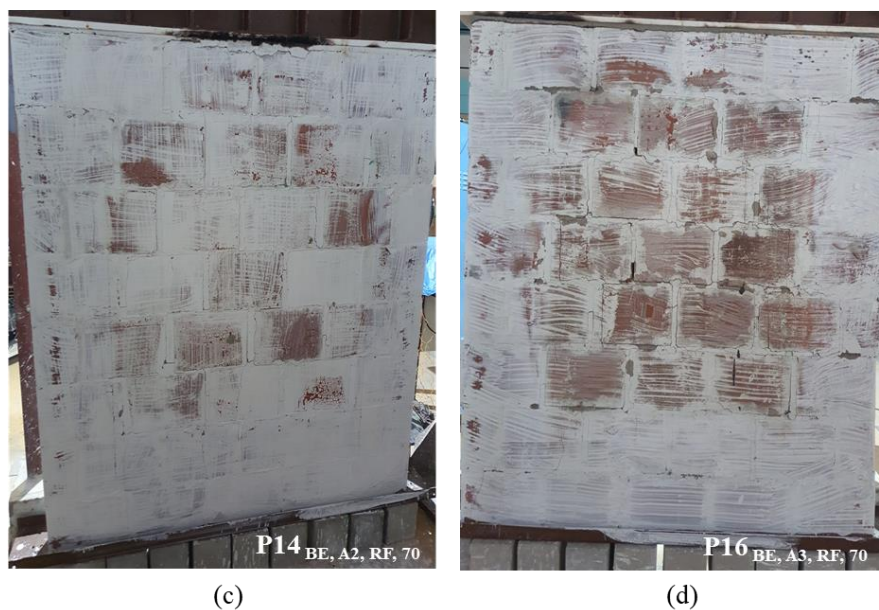
A Foto 29, a Foto 30 e a Foto 31 mostram os modos de falha das paredes estruturais ensaiadas sob incêndio.

Foto 29 – Modo de falha das paredes P14 e P16: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



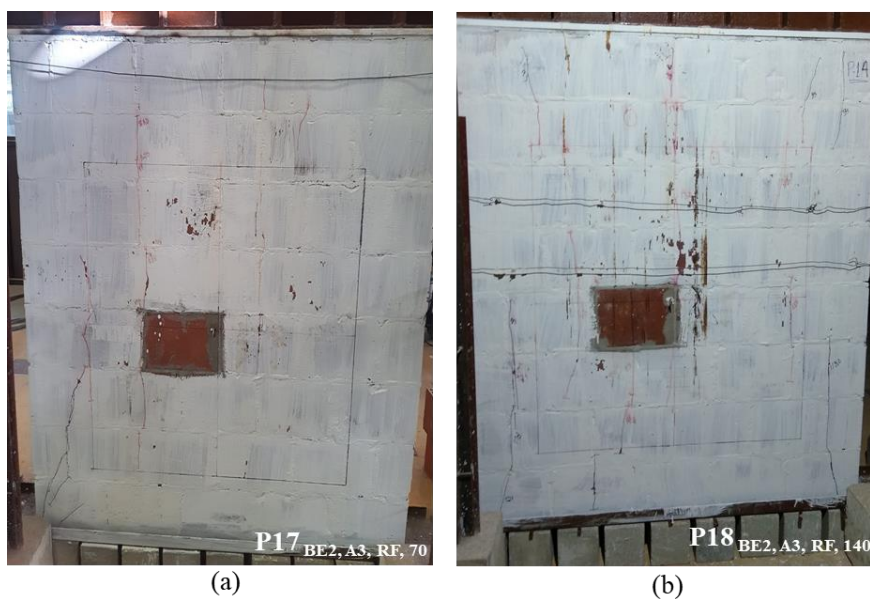
Fonte: O Autor (2023).

Foto 29 (cont.) – Modo de falha das paredes P14 e P16: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



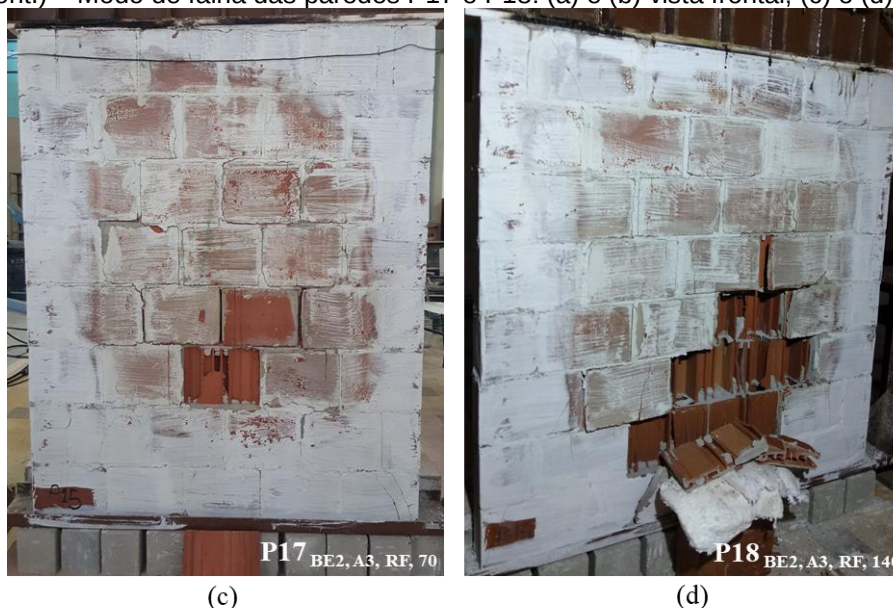
Fonte: O Autor (2023).

Foto 30 – Modo de falha das paredes P17 e P18: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Foto 30 (cont.) – Modo de falha das paredes P17 e P18: (a) e (b) vista frontal; (c) e (d) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

As paredes P14, P16, P17 e P18 atingiram seu critério de falha por isolamento térmico, não ocorrendo colapso da parede. Percebe-se, nas imagens, que as paredes apresentaram fissuras verticais tanto na junta de argamassa (bloco-argamassa) quanto ao longo da altura do bloco. As paredes P14 e P16 não apresentaram *spalling* nos blocos expostos ao fogo, ocorrendo uma degradação mais acentuada da argamassa de assentamento da parede P16 (Foto 29 (d)).

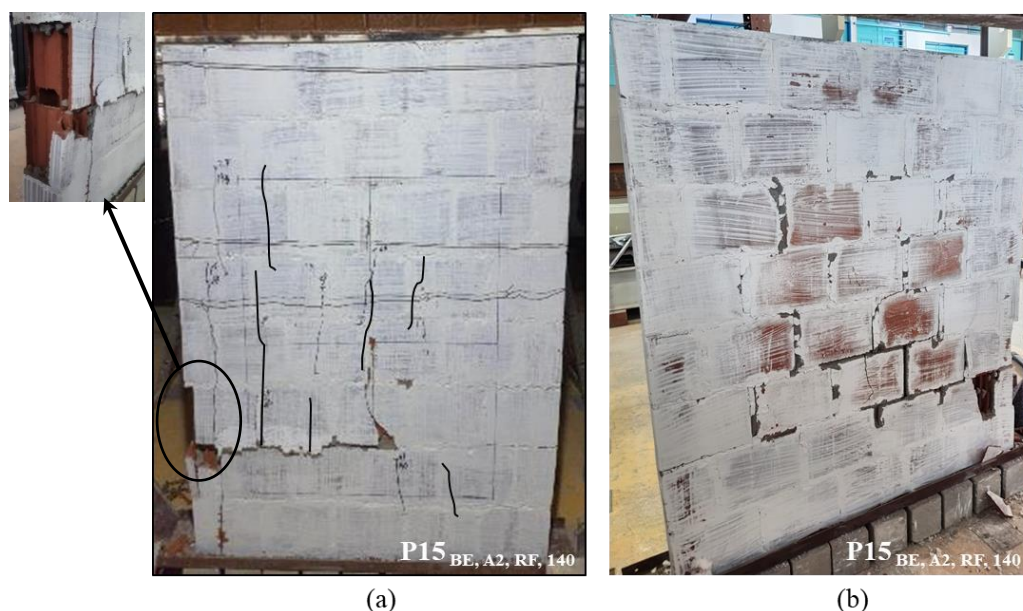
Já as paredes P17 e P18 apresentaram efeito de *spalling* com início aos 108 minutos e 12 minutos de exposição ao fogo, respectivamente. Na parede P17, surgiu o efeito de *spalling* em um tempo de exposição ao fogo bem maior que a parede P18, porém a carga inicial foi 50% da aplicada à parede P18; consequentemente, a tensão ao qual os blocos estavam submetidos era bem maior, sendo, portanto também, um indício do surgimento deste efeito.

O efeito *spalling* ocorreu com maior intensidade na parede P18 (Foto 30 (d)), quando chegou a atingir os septos internos dos blocos estruturais posicionados da segunda à quinta fiada. O efeito de *spalling* na parede P18 se iniciou aos 12 minutos de exposição ao fogo, momento em que foi percebida uma queda bastante significativa da carga inicial aplicada (ver Figura 53), continuando essa queda até atingir o critério de falha por isolamento térmico. As paredes em que ocorreu o efeito do *spalling* (P17 e P18) eram compostas de blocos cerâmicos (BE2) que tinham resistências menores que as demais paredes estruturais ensaiadas. Porém não se

pode alegar apenas que a resistência do elemento é fator preponderante para este efeito, mas podendo sinalizar indícios a composição dos minerais e quantidade interna de água contida nos blocos cerâmicos.

A Foto 31 mostra o modo de falha da parede P15_{BE, A2, RF, 140} que ocorreu pelo critério de resistência mecânica aos 68 minutos de exposição ao fogo.

Foto 31 – Modo de falha das paredes P15: (a) vista frontal e (b) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Salienta-se que ocorreram várias fissuras verticais tanto nas juntas verticais quanto ao longo da altura dos blocos. Percebe-se que as paredes externas dos blocos da terceira fiada foram danificadas, ocorrendo uma perda de capacidade de carga nessa região bem como uma consequente do conjunto da parede, quando o bloco atingiu sua ruptura, conforme se vê na região ampliada da Foto 31.

A face da parede exposta ao fogo apresentou dano bem significativo na argamassa de assentamento, chegando a desintegrar plenamente a junta de alguns blocos da terceira fiada. Não ocorreu o efeito de *spalling* nessa parede, permanecendo íntegras as paredes externas dos blocos estruturais.

Quando se compara as paredes executadas com blocos cerâmicos comuns não estruturais e blocos cerâmicos estruturais, elas apresentaram modos de falhas diferentes em relação ao tempo de exposição e nível de carga aplicado. As paredes por terem espessuras e resistências de seus blocos diferentes apresentaram também comportamentos de falhas diferentes, alterando o modo de falha ao tempo que aumentou a carga inicialmente aplicada.

Por outro lado, mesmo falhando pelo critério de isolamento térmico as paredes com blocos cerâmicos estruturais apresentaram um quadro de fissuras bem menor que as paredes com os blocos cerâmicos comuns não-estruturais, além do tempo de resistência ao fogo e carga aplicada serem maiores. Desse modo, percebe-se que a espessura e a resistência mecânica dos blocos cerâmicos têm uma influência significativa na resistência ao fogo das paredes.

7 PAREDE DE ALVENARIA PÓS-INCÊNDIO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados nas paredes de alvenaria estruturais que atingiram sua falha por isolamento térmico e, após 24 horas da conclusão do ensaio térmico, foram feitos os ensaios das paredes até atingir a sua falha mecânica.

7.1 CAPACIDADE RESISTENTE DAS PAREDES PÓS-INCÊNDIO'

A Tabela 15 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios realizados das paredes pós-incêndio. Nesta tabela estão informados os parâmetros de cargas teóricas utilizadas conforme a Equação 10 ($f_{k,eq.10}$), carga aplicada no ensaio de situação de incêndio, tempo de exposição ao fogo e carga de ruptura pós incêndio da parede ($f_{rup,test,PI}$). A descrição das paredes que foram ensaiadas tem as mesmas nomenclaturas que anterior, com acréscimo da PI, indicando que foi ensaiada Pós-Incêndio.

Tabela 15 – Capacidade de carga das paredes ensaiadas pós incêndio

Parede de referência	$f_{k,eq.10}$ (kN)	Carga aplicada (kN)	Tempo exposto ao fogo (min)	$f_{rup,test,PI}$ (kN)	$\frac{f_{rup,test}}{f_{k,eq.10}}$
P14 BE,A2,RF,70 - PI	389	70,0	120	350,0	0,90
P16 BE,A3,RF,70 - PI	208	70,0	155	131,0	0,63
P17 BE2,A3,RF,70 - PI	239	70,0	160	110,0	0,46
P18 BE2,A3,RF,140 - PI	239	140,0	161	170,0	0,71

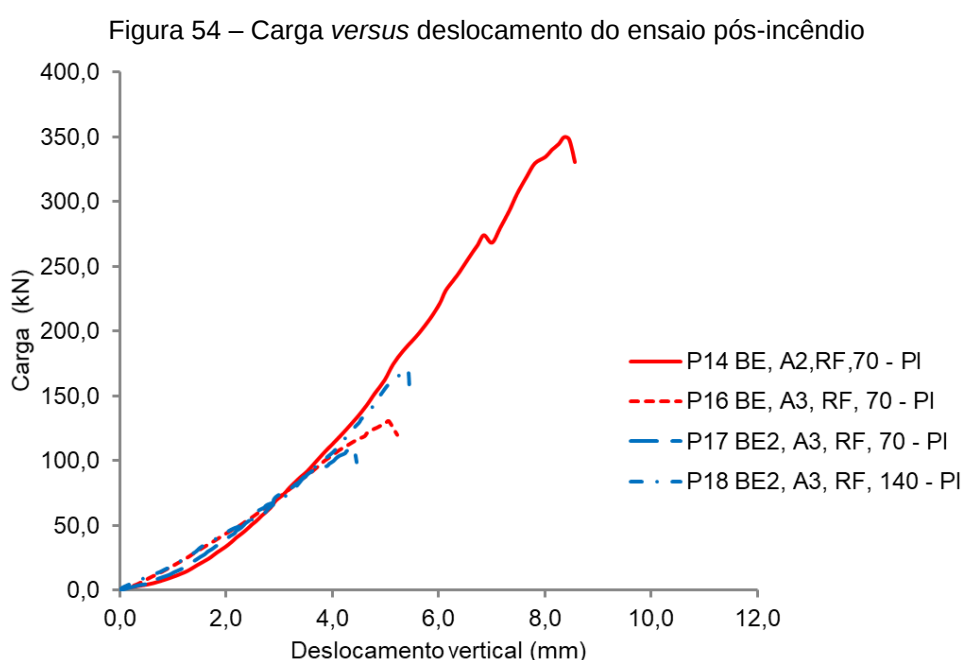
Fonte: O Autor (2023).

Percebe-se uma divergência dos resultados das paredes quando rompidas pós incêndio, verificando na relação em sua carga de ruptura pós-incêndio e sua carga teórica.

As paredes P16 BE,A3,70 - PI e P18 BE2,A3,140 - PI tiveram tempos médios de exposição ao fogo de 157 minutos e apresentaram uma relação entre a carga de ruptura pós incêndio e a carga teórica de 0,67. Apesar da carga inicial aplicada na parede P18 ter sido o dobro, ao longo do ensaio a carga da P18 teve uma redução expressiva ao longo do ensaio, chegando a carga equivalente a parede P16 neste tempo médio.

A parede P14 BE,A2,70 - PI teve o menor de tempo de exposição ao fogo, 120 minutos, e apresentou uma capacidade de carga de 90% da carga teórica. Já a parede P17 BE2,A3,70 - PI apresentou a menor relação entre as cargas, chegando a atingir apenas 46% da carga teórica. Entretanto, ressalta-se que, nesta parede ocorreu *spalling*, como mencionado anteriormente e está mostrado no item 7.2 a seguir.

A Figura 54 mostra o comportamento da carga e deslocamento das paredes ensaiadas Pós-Incêndio (PI). Os deslocamentos apresentados no gráfico foram obtidos pela média entre os dois LVDTs (DT03 e TD04) (ver instrumentação na Figura 27).



Fonte: O Autor (2023).

As paredes apresentaram comportamentos de cargas-deslocamentos bastante similar entre si, ocorrendo uma pequena diferença no início da aplicação carga até os 50 kN. Não se percebe diferença significativas entre as rigidezes das parede até sua ruptura.

7.2 MODO DE FALHA DAS PAREDES

As Foto 32 a Foto 38 mostram os modos de falha das paredes estruturais ensaiadas pós incêndio.

Foto 32 – Modo de falha da parede P14: (a) vista frontal e (b) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Foto 33 – Detalhe do modo de falha da parede P14

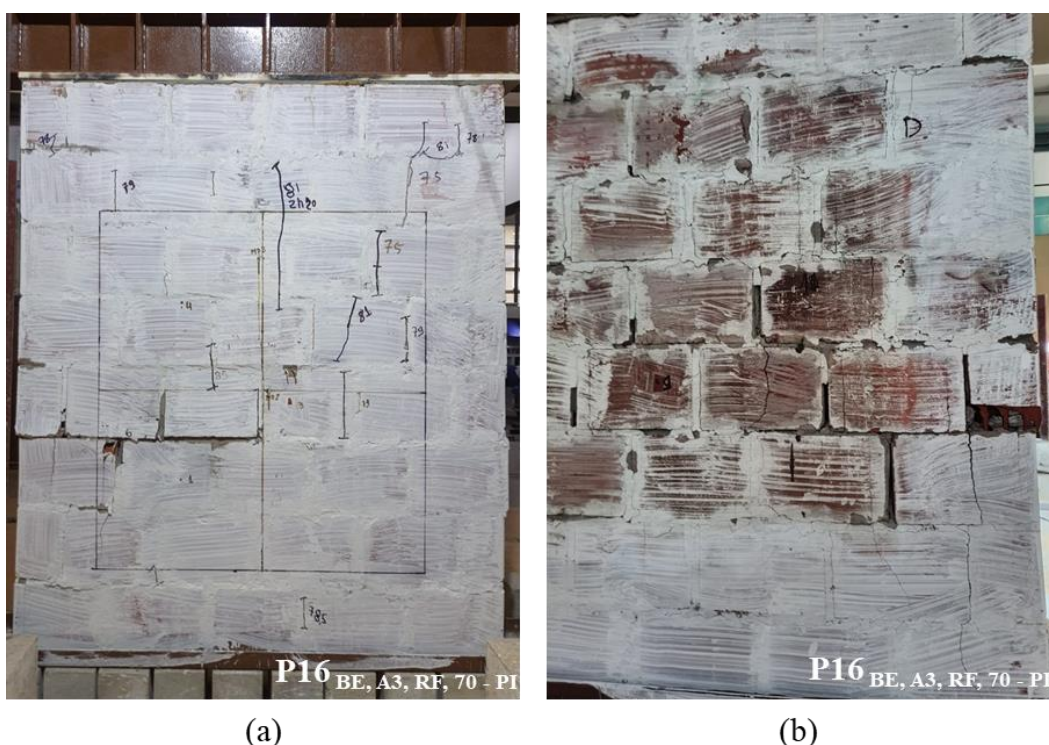


Fonte: O Autor (2023).

A parede P14_{BE,A2,RF,70 - PI} falhou na região próximo a viga de aço de transferência de carga, com dano na região direita da parede e, inicialmente, nos septos externos dos blocos cerâmicos e, posteriormente rompendo todos os demais septos dos blocos, ver Foto 33. Percebe-se que as fissuras provocadas pelo ensaio térmico-mecânico, ao qual a parede ficou durante 120 minutos de exposição, não aumentou durante o ensaio pós-incêndio da parede, apenas surgindo a fissura entre a junta de argamassa da última e penúltima fiada da parede estrutural.

A seguir é mostrada a falha na parede P16_{BE,A3,RF,70 - PI}.

Foto 34 – Modo de falha da parede P16: (a) vista frontal e (b) vista posterior

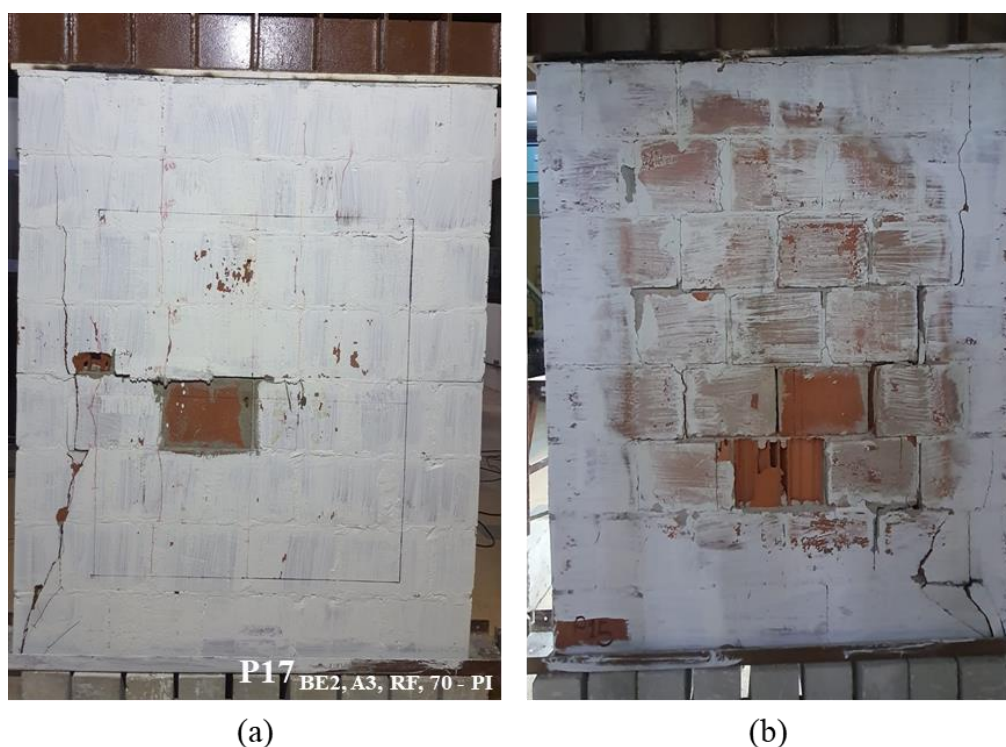


Fonte: O Autor (2023).

A parede P16_{BE,A3,RF,70 - PI} falhou entre a quarta e quinta fiada de bloco cerâmico, ocorrendo o ruptura do septo externo dos blocos cerâmicos. Esta característica de falha é identificada como que a resistência de argamassa é maior que a resistência do bloco cerâmico. Apesar da parede ter sido exposta ao fogo por 155 minutos, a argamassa pareceu apresentar, após 24 horas, uma resistência maior que a do bloco cerâmico, por ter comportado desse modo a falha da parede.

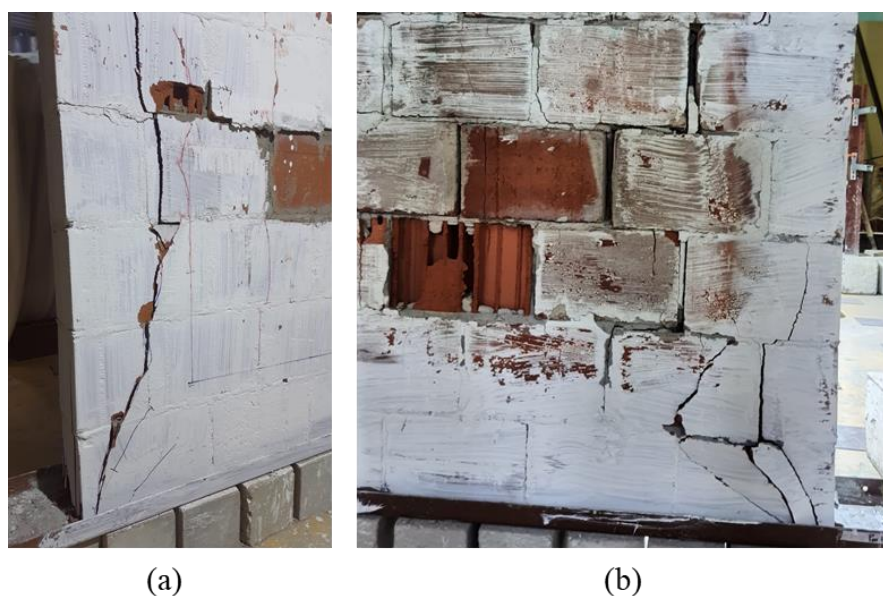
A seguir é mostrada a falha na parede P17_{BE2,A3,RF,70 - PI}.

Foto 35 – Modo de falha da parede P17: (a) vista frontal e (b) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Foto 36 – Detalhes do modo de falha da parede P17: (a) vista frontal e (b) vista posterior



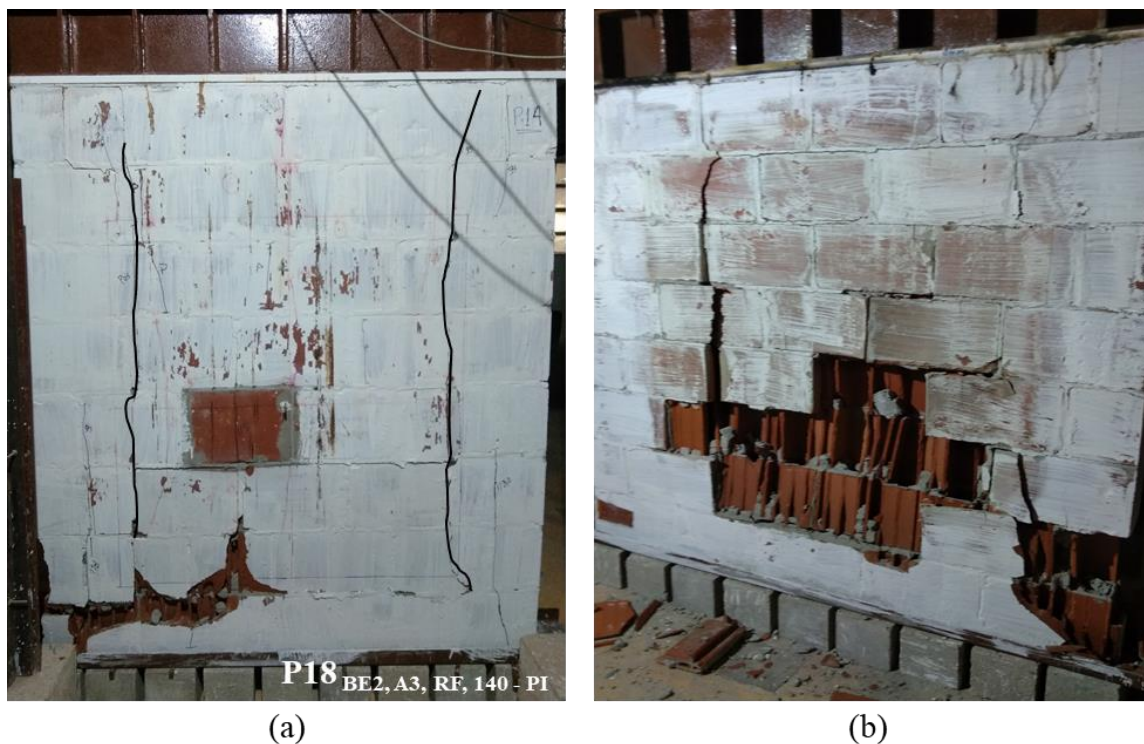
Fonte: O Autor (2023).

A parede P17_{BE2,A3,RF,70-PI} falhou em seu lado esquerdo. Nesta parede a fissura na região esquerda onde ocorreu a falha surgiu durante o ensaio termomecânico, conforme mostra a Foto 30. Durante o ensaio pós-incêndio a medida que a carga era acrescida a fissura foi aumentando até correr sua falha, ocorrendo uma ruptura em toda a região do bloco cerâmico naquele lado da parede, conforme mostra a Foto 36.

Nota-se também que a quinta fiada de bloco cerâmico surgiu ruptura do septo externo de um dos bloco, posteriormente, ao longo da junta de assentamento, ver Foto 36 (a).

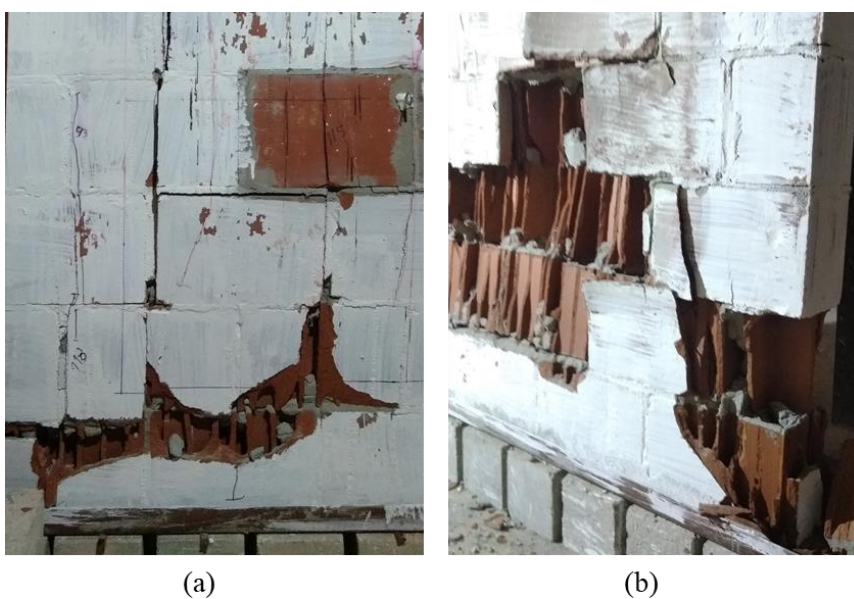
A seguir é mostrada a falha na parede P18_{BE2,A3,RF,140 – PI}, Foto 37 e Foto 38.

Foto 37 – Modo de falha da parede P18: (a) vista frontal e (b) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Foto 38 – Detalhes do modo de falha da parede P18: (a) vista frontal e (b) vista posterior



Fonte: O Autor (2023).

Nesta parede, P18_{BE2,A3,RF,140 – PI}, surgiram duas fissuras longitudinais ao longo da parede, uma a esquerda e outra a direita. A fissura a esquerda já fora percebida ao durante o ensaio termomecânico, porém durante o ensaio pós-incêndio a fissura aumentou sua espessura e tamanho, Foto 37.

Percebe-se que a falha ocorreu ao lado esquerdo da parede nos septos dos blocos cerâmicos. Apesar desta parede, ter sofrido uma maior intensidade com o efeito do *spalling* em sua região central, a falha inicial ocorreu em uma de suas extremidades, Foto 38.

De modo geral, este capítulo apresentou os modos de falha e a capacidade de cargas das paredes ensaiadas pós-incêndio. Percebe-se que não ocorreu um padrão de falha entre as paredes, mesmo entre os mesmos parâmetros, como tempo de exposição ao fogo e carga inicialmente aplicada. Quanto a capacidade de carga, a parede que teve uma menor exposição fogo rompeu com maior carga aplicada. Entre as demais paredes, com tempo médio entre si de 158 minutos, a carga média de ruptura foi de 60% de sua carga teórica.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foi realizado um programa experimental com 18 paredes de alvenaria com blocos cerâmicos comuns não-estruturais e estruturais. Foram analisadas paredes em situação ambiente e também submetidas ao fogo por meio da curva padrão de incêndio ISO 834 (2014). Analisou-se, ainda, o comportamento dos blocos cerâmicos e argamassas de assentamento de forma isolada, quando expostos a altas temperaturas (200°C, 400°C, 600°C e 800°C) e rompidos em três condições: à quente, após resfriamento brusco e com resfriamento lento. As paredes foram submetidas, simultaneamente, a uma carga mecânica e térmica, com o objetivo de avaliar o desempenho de resistência ao fogo, por meio dos critérios de falha por isolamento térmico, por estanqueidade e por resistência mecânica. Ademais, avaliou-se a evolução da temperatura nos blocos e no substrato de argamassa de assentamento e seu modo de falha. Como principais resultados, pôde-se concluir:

Sobre o desempenho dos blocos cerâmicos e argamassa sob altas temperaturas:

- a resistência residual à compressão dos blocos cerâmicos comuns para todas as temperaturas analisadas foi maior que a temperatura ambiente quando rompidos à quente;
- a resistência residual dos blocos cerâmicos, quando rompidos após passarem pelo resfriamento lento ou brusco, foi maior ou igual a resistência em temperatura ambiente. Desse modo, caso o sistema de alvenaria seja acometido de um incêndio, os materiais terão resistências equivalentes entre quais quer um dos procedimentos, com resfriamento lento ou brusco;
- a resistência residual à tração da argamassa cimentícia foi menor para todas as temperaturas e as condições de ensaio realizadas, ocorrendo maiores quedas na condição de resfriamento;
- a resistência residual à compressão da argamassa foi maior apenas para a temperatura de 200°C, quando rompidos à quente, apresentando um ganho de 30% da resistência quando comparado à temperatura ambiente;

- para as temperaturas maiores ou iguais a 400°C, as resistências residuais à compressão das argamassas apresentaram severas reduções para todos as condições de ensaio analisadas, sendo ainda mais acentuadas para o resfriamento brusco e lento.

Sobre o desempenho estrutural das paredes em situação ambiente:

- as paredes com blocos cerâmicos estruturais apresentaram baixos valores de capacidade resistente, podendo ser abaixo de valores normativos e próximos às cargas de serviço práticas;
- a resistência da argamassa de assentamento tem grande influência na capacidade de resistência das paredes;
- há uma grande variabilidade na capacidade resistente das paredes e das propriedades dos materiais que as compõem (argamassa de assentamento e/ou bloco cerâmico), desse modo, deve-se incentivar e exigir que as indústrias cerâmicas aprimore seus processos de fabricação e controle de qualidade para produzir blocos de melhor qualidade.

Sobre o desempenho estrutural das paredes em situação de incêndio:

- paredes executadas com blocos cerâmicos comuns, sem cargas iniciais aplicadas, conforme para o qual é realmente ou deve ser empregado, possuem razoável resistência ao fogo e podem atingir a classe de 60 min, com falha pelo critério do isolamento térmico;
- para as mesmas paredes com blocos cerâmicos comuns, quando empregado algum nível de carga, ocorreu uma mudança da forma de falha destas, passando agora falhar pelo critério de resistência mecânica, com valores que não atingiram a classe de 30 minutos quando a carga aplicada foi de 70% de sua capacidade em temperatura ambiente;
- as paredes executadas com blocos cerâmicos estruturais submetidas a níveis de carregamento menores possuem alta resistência ao fogo, atingindo a classe de 150 min pelo critério do isolamento térmico. Já sob níveis mais elevados de carga, o modo de falha passa a ser por resistência mecânica; desse modo, a resistência ao fogo reduziu a classe para 60 minutos;

- as temperaturas na face não exposta ao fogo foram similares tanto no bloco cerâmico, comum ou estrutural, quanto na argamassa de assentamento, para os dois tipos de paredes, vedação e estrutural, com diferença não superior a 40°C;
- as rupturas das paredes, em sua maioria, tanto quando estavam submetidas ao incêndio ou quando em temperatura ambiente se deram por falhas nos septos horizontais dos blocos e, em seguida, pelo colapso dos demais septos correspondentes às juntas de argamassa, proporcionando a perda de carga da parede;
- os deslocamentos laterais medidos ao longo do eixo vertical da parede, a $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ de sua altura, foram praticamente os mesmos para cada parede. Ocorrendo maiores deslocamentos horizontais para as paredes com blocos cerâmicos comuns não-estruturais, visto que sua espessura é menor, conseqüentemente maior esbeltez, desse modo, tendo uma influência significativa deste parâmetro;
- todas as paredes apresentaram curvatura em direção ao fogo e as paredes executadas com blocos cerâmicos estruturais apresentaram uma redução de seus deslocamentos laterais após um patamar bem definido, ocorrendo, posteriormente, sua falha, seja por isolamento térmico seja por resistência mecânica.

Sobre o desempenho estrutural das paredes pós-incêndio:

- as paredes apresentaram resistência pós-incêndio menor quando expostas a um maior tempo de exposição ao fogo;
- a capacidade de carga de ruptura pós-incêndio para as paredes que não sofreram com o efeito de *spalling* foi em torno de 0,76 de sua carga teórica;
- a parede que apresentou maior fissura durante o ensaio térmico, proporcionou uma menor capacidade de carga, chegando a apenas 46% de sua capacidade de carga teórica.

Mediante o estudo apresentado, faz-se necessário afirmar que o trabalho experimental desenvolvido foi restringido, em virtude de algumas limitações

financeiras e de infraestrutura laboratorial. Nesse sentido, como sugestões para futuros trabalhos/pesquisas, pode-se citar:

- utilizar argamassa de revestimento nas faces das paredes, variando sua espessura e tipo de material;
- realizar um estudo numérico do comportamento térmico da evolução das temperaturas, variando o tipo e espessura dos blocos;
- realizar um estudo numérico do comportamento termomecânico das paredes com parâmetros similares aos estudados nesta pesquisa, variando a espessura dos blocos;
- realizar um estudo experimental para avaliar o comportamento das paredes pós-incêndio, variando o tempo de exposição ao fogo e o nível de carregamento;
- avaliar o comportamento de paredes, empregando restrições laterais e diferentes condições de apoio;
- analisar paredes de alvenaria estrutural com tamanhos sugeridos por norma, variando os níveis de carregamentos e fazer as comparações com os estudos apresentados neste trabalho;
- fazer uma parametrização e comparação entre as temperaturas medidas com os termopares e câmera térmica.

As sugestões apresentadas para trabalhos futuros são apenas algumas percepções detectadas durante a realização experimental, a fim de que possam ainda minimizar algumas lacunas percebidas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de estrutura mista aço-concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 277p, 2000.

AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS. ASTM E119: Standard test methods for fire tests of building constructions and material. West Conshohocken (EUA): 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5628:** Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2022, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023. 20p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13860:** Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10636-1:** Componentes construtivos não estruturais – ensaios de resistência ao fogo. Parte 1: Paredes e divisória de compartimentação. 1. ed. Rio de Janeiro, 2022. 46p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. 1. ed. Rio de Janeiro, 2001. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2017. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2:** Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. 2. ed. Rio de Janeiro, 2017. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-1:** Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto. 1. ed. Rio de Janeiro, 2020. 70p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-3:** Alvenaria Estrutural – Parte 3: Método de ensaio. 1. ed. Rio de Janeiro, 2020. 39p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16965**: Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos – diretrizes gerais. 1. ed. Rio de Janeiro, 2020. 47p (2021).

BABRAUSKA, Vytenis, 2009. Unexposed-face temperature criteria in fire resistance tests: A reappraisal. **Fire Safety Journal**. v. 44. 2009. ISSN: 0379 – 7112.

BEZERRA JUNIOR, José do Carmo. **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos revestidas de gesso submetidas a elevadas temperaturas características de processo de incêndio**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

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

BOTTIN Gabriel et al. (2018). **Estruturas de alvenaria em situação de incêndio: avaliação experimental em escala real da influência da geometria dos blocos cerâmicos no desempenho estrutural às altas temperaturas**. X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (CBPE). 9 a 11/nov/2018. Rio de Janeiro, 2018.

BORGES, Iago de Albuquerque. **Alvenaria de vedação em blocos de concreto simples submetida a elevadas temperaturas características de processos de incêndio**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

BRENTANO, T. – Como elaborar um plano de proteção contra incêndio (PPCI). **Apostila** - (Curso de Extensão Universitária), Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUC/RS , Porto Alegre, RS , 2004, 95 p.

British Standard. **BS 476-21**: Fire tests on building materials and structures. Methods for determination of the fire resistance of load bearing elements of construction, (1987)

BUCHANAN, Andrew H.; ABU, Anthony K. **Structural design for fire safety**. Canterbury: John Wiley & Sons, Second Edition, 2016. ISBN: 9780470972892.

BYRNE SM. Fire resistance of load-bearing masonry walls. **Fire Technol**. 1979; 15(3):180-8. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF01983196>>. Acesso em: 02/05/2021

CARLO, Ualfrido Del; SILVA, Valdir Pignatta. Normatização. In: SEITO, A. I. et al (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. P. 231-246.

CARVALHO, J. D. N. **A contribuição de enrijecedores laterais para o efeito arco na alvenaria estrutural**. Florianópolis, 2007. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CARVALHO, P. R. O.; LEAL, D. F.; NETO MUNAIAR, J. Análise Numérica de pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto em situação de incêndio. *Revista Matéria*, V. 26, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13006>. Acesso em: 17/02/2022.

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

COELHO, Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda. **Estudo do Comportamento das Alvenarias de Vedação em Blocos Cerâmicos, Submetidos a Altas Temperaturas**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CORPO DE BOMBEIRO POLICIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMESP), Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 08/2011: Segurança Estrutural nas Edificações – Resistência ao fogo dos elementos de construção**. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, São Paulo, 2011.

CORRÊA, C, Silva J. J. R., Pires T. A. C., Braga G. C. Mapeamento de incêndio em edifícios em edificações: um estudo de caso na cidade do Recife. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 2015;2(3):15-34. Disponível em: <http://10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n3p15-34>. Acesso em: 02/05/2020

CURTIN, W.G., Shaw G., Beck J. K., Bray W. A. **Structural masonry designers' manual**. Granada Publishing Limited, London, 1982, 498p.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. Dissertação de mestrado, Escola politécnica da universidade de São Paulo, 1974.

Gusmão A. D., Calado C. F. A., Nogueira C .L., Silva, F. A. N., Oliveira R. A, Cerqueira S. O. **Diretrizes para solução dos problemas relacionados aos prédios construídos em alvenaria resistente na Região Metropolitana do Recife**. Recife: EDUPE, 2009.

HARMATHY, T. Z.; SULTAN, M. A.; MacLAURIN, J. W. Comparison of severity of exposure in ASTM E119 and ISO 834 fire resistance tests. **Journal of Testing and Evaluatin, JTEVA**, v. 15, n. 6, Nov. 1987, p. 371-375.

HENNEMANN, Guilherme Günther; GIL, Augusto Masiero; FERNANDES, Bruno; BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. 2017. Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 183-195. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 834**: 2014 Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements. International Organization of Standardization, Genève, 2014.

LEITE, H. A. L.; MORENO JUNIOR, A. L.; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 89-107, 22 maio 2016.

MARCATTI, J.; COELHO FILHO, H. S.; BERQUÓ FILHO, J. E. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, A. I. *et al* (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 169-179.

NAHHAS, F; AI; SAADA, R. Ami; BONNET, G.; DELMONTE, P. 2007. Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modeling. **Applied Thermal Engineering**. 2007; 27 (1): 258-267. ISSN: 1359-4311. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.04.017>>. Acesso em: 02/05/2019.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri; CHAMMAS, Rabih; MEBARKI, Ahmed. 2009. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. **Fire Safety Journal**. 2009; 44 (4): 629-641. ISSN: 0379 – 7112. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.12.006>>. Acesso em: 17/05/2019.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri. 2012. Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: experimental analysis. **Fire Safety Journal**. 2012; 52:55-64. ISSN: 0379 – 7112. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.001>>. Acesso em: 17/05/2019.

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**. 2014;66: 35-45. . ISSN: 0379 – 7112. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.08.017>>. Acesso em: 17/05/2019

OLIVEIRA, R.G., Rodrigues J.P.C., Pereira J.M., Lourenço P.B., Lopes R.F.R. Experimental and numerical analysis on the structural fire behaviour of three-cell hollowed concrete masonry walls. **Eng. Struct.** 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111439.111439>> Acesso em: 17/05/2022.

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

ONO, Rosário, VENEZIA, Adriana P. Galhano; VALENTIN, Marcos Vargas. Arquitetura e Urbanismo. In: SEITO, A. I. *et al* (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 123-134.

PARSEKIAN, G.A., Soares, M,M. **Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos** – projeto, execução e controle. São Paulo: Nome da Rosa, 2010, 238p.

PRINCE, R. E. Tests on the inflammability of untreated wood and of wood treated with fire-retarding compounds, **Proc. NFPA 19** (1915) 108–158.

RIGÃO, Alessandro Onofre. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

RIGÃO, Alessandro Onofre, LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de, SOARES, José Mário Doleys. Aumento de temperatura e solitação da alvenaria estrutural submetida a temperaturas elevadas. In: 3º CILASCI - Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra Incêndio, 2015. Porto Alegre. **Anais do 3º CILASCI - Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança contra Incêndio**, 2015.

RIGÃO, Alessandro Onofre, FAGUNDES, Rubens Mateus Corrêa, GROTO, Luiz Guilherme, VISINTAINER, Michael Renê Mix. Desempenho mecânico de alvenaria cerâmica e seus componentes em temperaturas elevadas. **Brasilian Journal of Development**. Curitiba, v. 7, n. 3, 22402-22415. p. 2021. [Doi:10.34117/bjdv7n3-113](https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-113).

RIZZATTI, E., ROMAN, H. R., MOHAMAD, G., NAKANISHI, E.Y. Mechanical behavior analysis of small-scale modeling of ceramic block masonry structures – Geometries effect. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. v. 5, n. 5 (October 2012) p. 702-736. ISSN 1983-4195.

RODRIGUES, João Paulo C.; CORREIA, Antonio J. M.; PIRES, Tiago A. C.; Behaviour of composite columns made of totally encased steel sections in fire. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 105, 2015. ISSN: 0143-974X. DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.10.030.

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

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

SILVA, Marcelo Lima; CORRÊA, Cristiano, OLIVEIRA, Romilde Almeida de. Risco de colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente do tipo “prédio caixa”. **Revista Flammae. Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco**. Seção 1. v. 1., n. 02., Jul a dez 2015, Recife, 2015.

SILVA, V. P. *et al.* Segurança das estruturas em situação de incêndio. In: SEITO, A. I. *et al.* (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-167.

SILVA, Valdir Pignatta. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**: conforme ABNT 15200:2012. São Paulo: Blucher, 2012.

APÊNDICE A – ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE

O desenvolvimento do estudo experimental resultou em publicação e submissões de trabalho e futuras submissões em revistas acadêmicas, como mostra o Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Lista de publicações

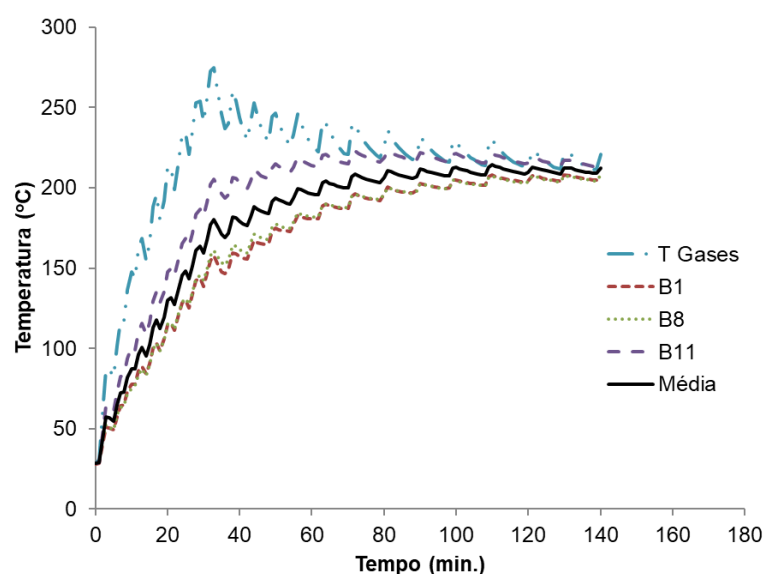
Id.	Paper	Status	Qualis (2013- 2016)	Qualis (2017- 2020)	Fator de impacto
1	Resistência residual de blocos cerâmicos e argamassas cimentícias submetidos a elevadas temperaturas e variadas condições de rompimento. <i>Research, Society and Development</i> (2022). Doi: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.34898	Publicado	A3	C	-
2	Structural and fire performance of masonry walls with ceramic bricks. <i>Engineering Structures</i> (2023). Doi: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116399	Publicado	A1	A1	5,582
3	Mechanical resistance of structural walls after fire. (2023).	Submeter	A2	A2	-

Fonte: O Autor (2023).

APÊNDICE B – TEMPERATURA DE ENSAIOS DOS BLOCOS CERÂMICOS E ARGAMASSAS SOB ALTAS TEMPERATURAS

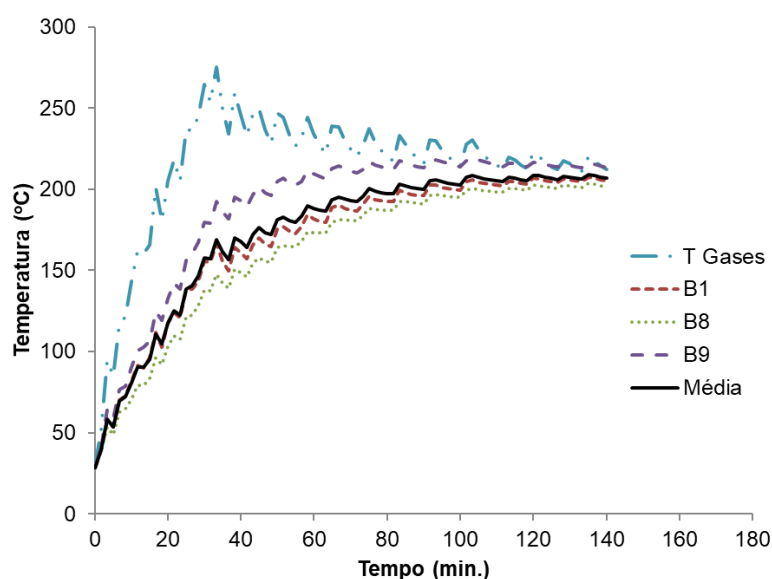
Gráficos dos ensaios dos blocos cerâmicos comuns sob as temperaturas de 200 °C, 400 °C, 600 °C e 800 °C em condições de ensaios de rompimento a quente (RQuente), rompimento com resfriamento lento (RLento) e rompimento com resfriamento brusco (RBrusco).

Figura B.1 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RQuente 200°C)



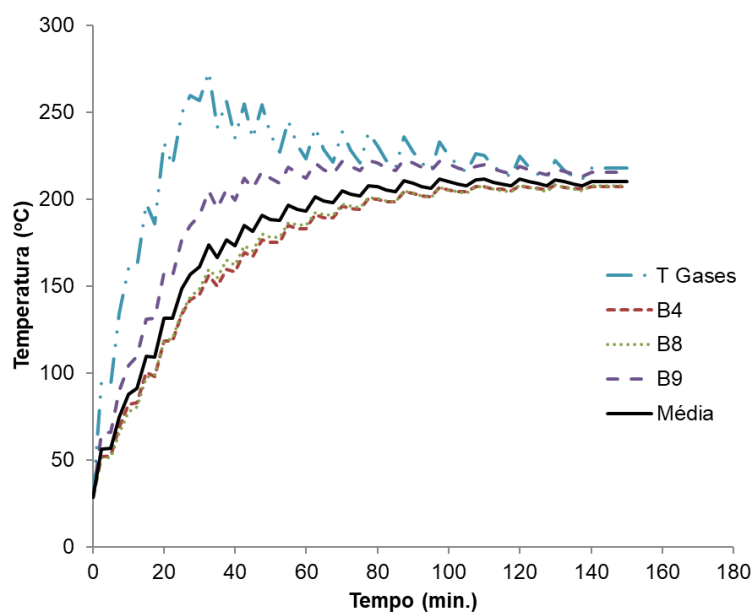
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.2 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RLento 200°C)



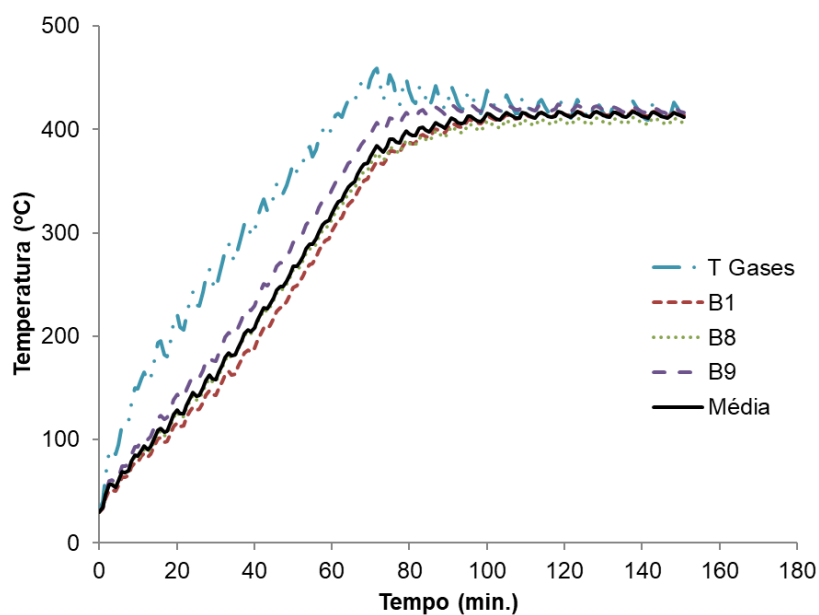
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.3 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 200°C)



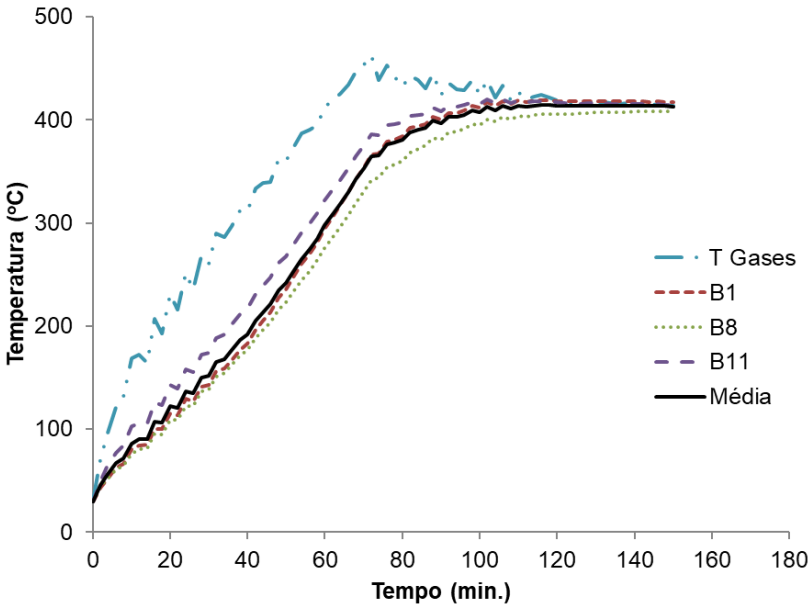
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.4 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RQuente 400°C)



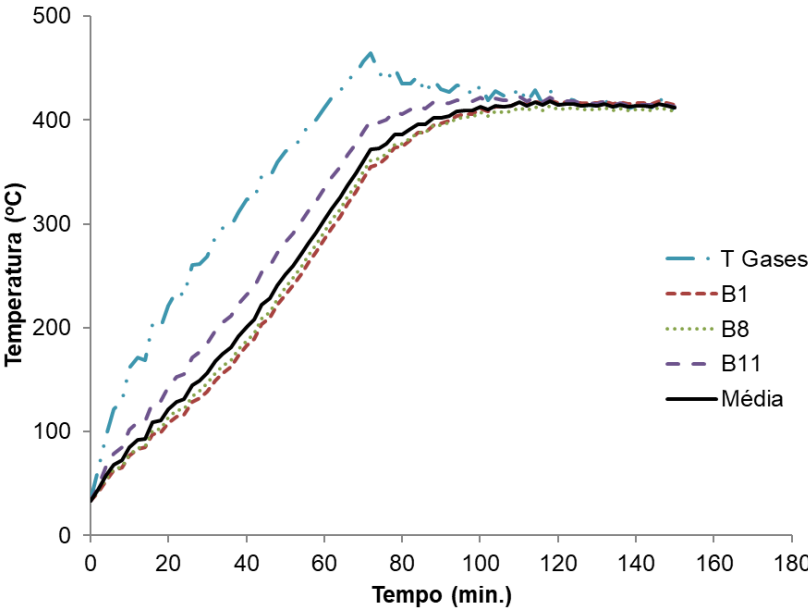
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.5 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RLento 400°C)



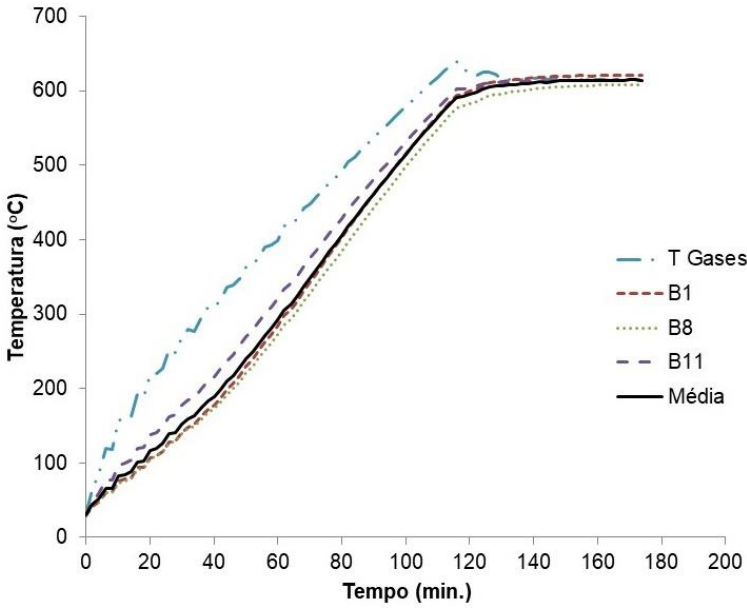
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.6 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 400°C)



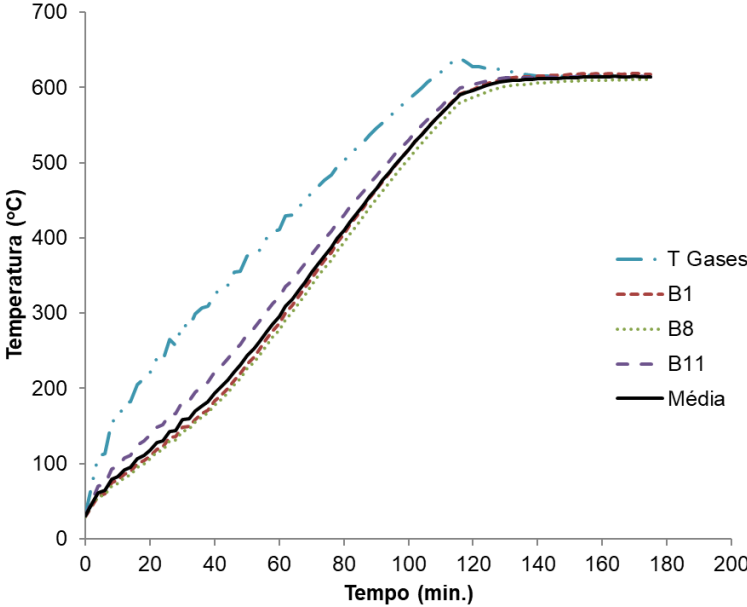
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.7 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RQuente 600°C)



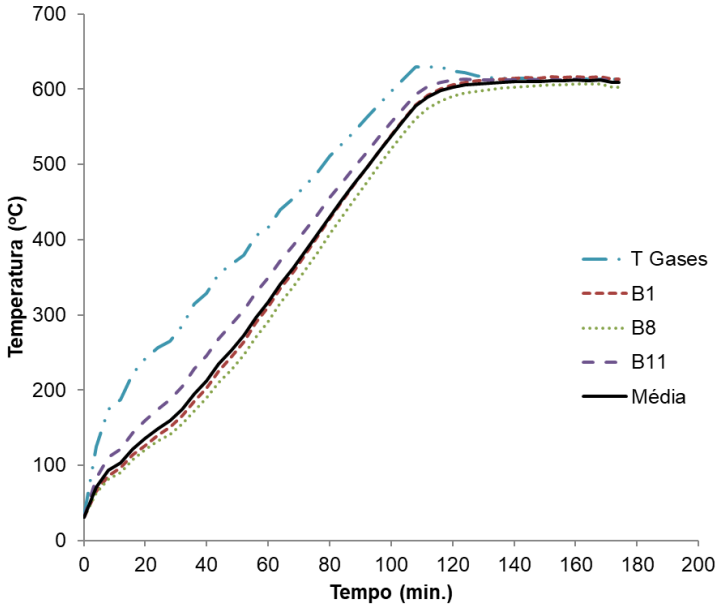
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.8 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RLento 600°C)



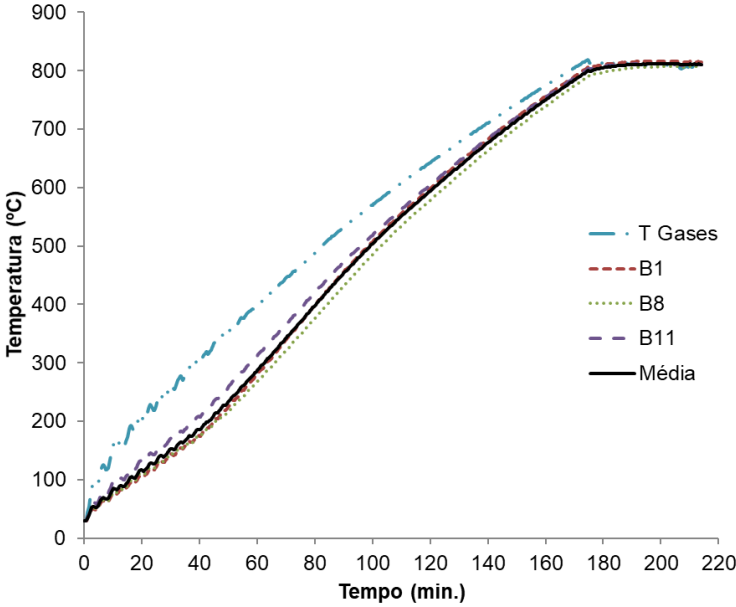
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.9 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 600°C)



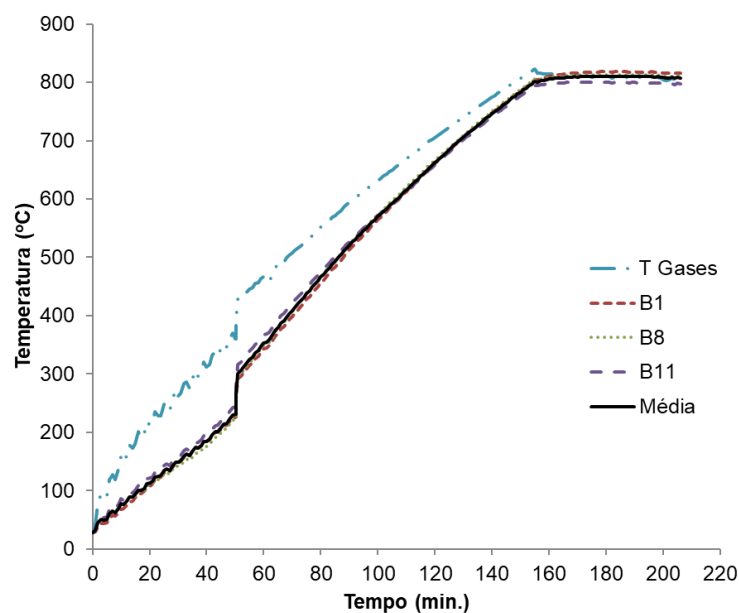
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.10 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RLento 800°C)



Fonte: O Autor (2023).

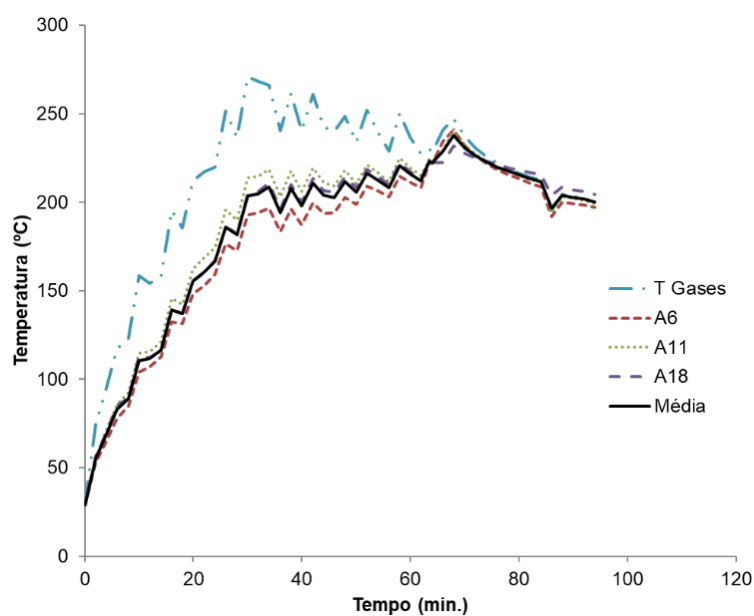
Figura B.11 – Temperatura de ensaio de bloco cerâmico comum (RBrusco 800°C)



Fonte: O Autor (2023).

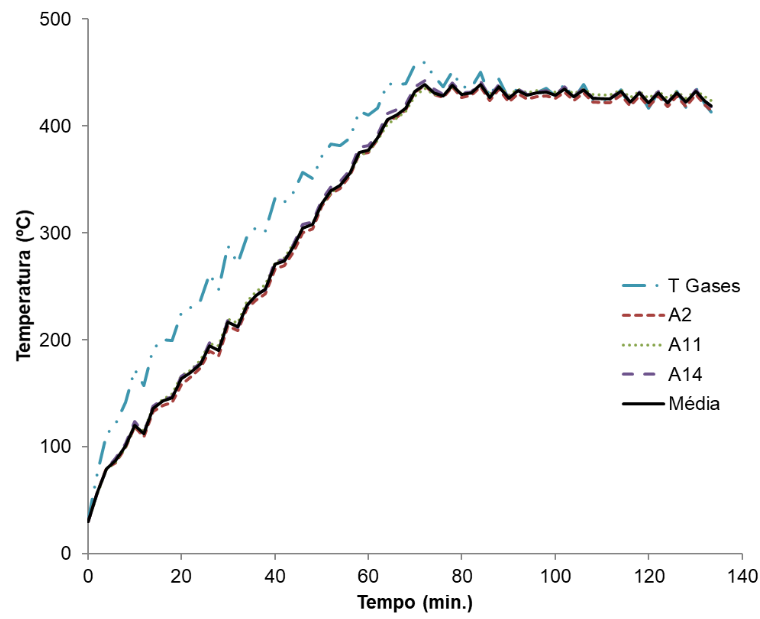
Gráficos dos ensaios argamassas de assentamento sob as temperaturas de 200 °C, 400 °C, 600 °C e 800 °C em condições de ensaios de rompimento a quente (RQuente), rompimento com resfriamento lento (RLento) e rompimento com resfriamento brusco (RBrusco).

Figura B.12 – Temperaturas de ensaio de argamassa para 200°C



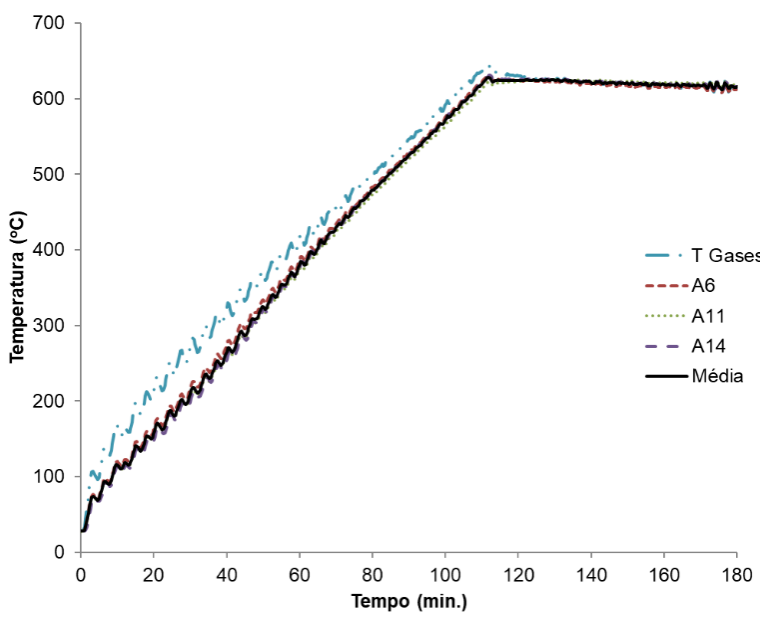
Fonte: O Autor (2023).

Figura B.13 – Temperaturas de ensaio de argamassa para 400°C



Fonte: O Autor (2023).

Figura B.13 – Temperaturas de ensaio de argamassa para 600°C



Fonte: O Autor (2023).

APÊNDICE C – CARGA - DESLOCAMENTOS VERTICAIS MÉDIOS DAS PAREDES EM TEMPERATURA AMBIENTE

Tabela C.1 – Dados carga-deslocamentos verticais das paredes em temperatura ambiente

P01 _{BC, A1, AMB}		P02 _{BE, A2, AMB}		P03 _{BE, A2, AMB}		P04 _{BE, A2, AMB}		P05 _{BE, A3, AMB}		P06 _{BE, A3, AMB}		P07 _{BE, A3, AMB}	
Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	-0,02	0,18	0,00	0,1	0,01	0,06	-0,02	0,05	-0,04	1,58	-0,02	20,22	-1,31
5,00	-0,62	0,28	0,00	15,9	-1,09	5,00	-0,62	0,05	-0,04	4,83	-0,08	35,77	-1,84
5,72	-0,63	0,35	0,00	50,7	-2,23	5,72	-0,63	3,00	-0,68	10,65	-0,28	38,96	-1,89
7,06	-0,66	2,07	-0,28	68,3	-2,68	7,06	-0,66	7,40	-1,07	13,85	-0,38	43,96	-1,99
8,95	-1,21	12,40	-0,97	78,6	-2,91	8,95	-1,21	12,67	-1,41	20,70	-0,60	48,99	-2,11
8,64	-1,06	30,88	-1,52	86,5	-3,08	8,64	-1,06	18,90	-1,70	32,25	-0,91	53,80	-2,21
9,69	-1,39	43,84	-1,99	92,7	-3,23	9,69	-1,39	25,72	-1,97	40,68	-1,13	58,39	-2,30
11,21	-1,57	57,62	-2,40	97,2	-3,34	11,21	-1,57	33,02	-2,21	49,39	-1,33	62,86	-2,37
12,35	-1,62	72,84	-2,77	100,8	-3,41	12,35	-1,62	39,97	-2,43	57,62	-1,52	66,97	-2,47
13,94	-1,57	91,42	-3,21	103,8	-3,47	13,94	-1,57	46,65	-2,65	65,44	-1,68	71,20	-2,51
14,55	-1,61	114,30	-3,73	106,2	-3,51	14,55	-1,61	53,33	-2,87	73,01	-1,85	75,47	-2,60
17,03	-1,71	130,55	-4,12	108,1	-3,54	17,03	-1,71	60,01	-3,07	77,80	-1,95	79,69	-2,68
18,73	-1,78	142,45	-4,41	112,0	-3,61	18,73	-1,78	66,49	-3,25	81,95	-2,03	83,51	-2,73
19,65	-1,82	153,37	-4,61	118,7	-3,69	19,65	-1,82	73,15	-3,42	85,74	-2,11	87,13	-2,82
20,21	-1,84	161,92	-4,76	151,2	-4,02	20,21	-1,84	80,44	-3,60	91,14	-2,22	90,31	-2,91
22,84	-1,93	169,56	-4,88	177,9	-4,33	22,84	-1,93	87,37	-3,85	96,00	-2,31	92,80	-2,97
25,88	-2,04	176,16	-4,99	200,6	-4,64	25,88	-2,04	94,03	-4,08	100,31	-2,38	96,94	-3,04
27,73	-2,17	181,83	-5,09	219,4	-4,92	27,73	-2,17	100,57	-4,30	104,04	-2,46	103,00	-3,15
32,13	-2,34	184,59	-5,15	228,2	-5,08	32,13	-2,34	106,45	-4,47	107,45	-2,52	107,48	-3,22
34,50	-2,35	190,65	-5,23	233,9	-5,17	34,50	-2,35	112,27	-4,63	110,39	-2,57	111,21	-3,36
35,91	-2,36	193,88	-5,28	237,8	-5,24	35,91	-2,36	115,68	-4,74	113,05	-2,63	113,77	-3,54
36,72	-2,38	196,54	-5,35	240,5	-5,28	36,72	-2,38	118,75	-4,81	115,70	-2,69	115,81	-3,56

38,16	-2,41	198,73	-5,40	242,3	-5,34	38,16	-2,41	120,75	-4,91	118,32	-2,74	116,99	-3,61
55,62	-2,65	200,51	-5,46	243,6	-5,36	55,62	-2,65	124,08	-4,99	123,54	-2,83	118,97	-3,67
56,18	-2,70	202,07	-5,48	244,3	-5,38	56,18	-2,70	127,88	-5,08	129,27	-2,93	123,98	-3,78
57,03	-2,72	203,24	-5,50	252,4	-5,43	57,03	-2,72	131,06	-5,18	134,51	-3,04	126,30	-3,87
59,64	-2,75	204,85	-5,53	259,7	-5,46	59,64	-2,75	133,03	-5,33	138,72	-3,11	130,79	-3,96
64,26	-2,79	206,16	-5,56	265,8	-5,48	64,26	-2,79	135,25	-5,46	143,01	-3,20	133,67	-4,06
67,54	-2,83	207,11	-5,59	271,5	-5,48	67,54	-2,83	137,75	-5,59	148,46	-3,29	135,97	-4,15
68,70	-2,86	207,97	-5,61	276,5	-5,49	68,70	-2,86	139,47	-5,71	153,04	-3,37	137,41	-4,22
69,68	-2,87	208,73	-5,63	281,1	-5,51	69,68	-2,87	141,10	-5,85	156,89	-3,41	139,91	-4,27
70,06	-2,87	209,15	-5,67	285,3	-5,53	70,06	-2,87	142,62	-6,00	160,43	-3,47	142,89	-4,42
80,36	-2,91	223,30	-5,83	289,1	-5,54	80,36	-2,91	143,65	-6,13	166,80	-3,57	144,40	-4,50
97,02	-2,99	223,18	-5,84	292,7	-5,56	97,02	-2,99	143,72	-6,15	173,00	-3,65	145,99	-4,66
102,92	-3,07	222,72	-5,87	296,2	-5,56	102,92	-3,07	141,84	-6,29	178,06	-3,72	147,01	-4,78
104,60	-3,12	215,34	-6,01	299,2	-5,58	104,60	-3,12	120,60	-6,74	185,09	-3,83	146,83	-4,80
110,48	-3,10	191,21	-6,44	301,9	-5,65	110,48	-3,10	32,41	-8,25	193,35	-3,95	143,30	-4,92
113,53	-3,15	154,42	-7,10	304,5	-5,69	113,53	-3,15	32,18	-8,26	199,86	-4,03	36,83	-6,35
115,02	-3,18	116,66	-7,79	306,7	-5,73	115,02	-3,18			205,33	-4,15		
116,36	-3,28	86,98	-8,34	308,8	-5,78	116,36	-3,28			210,58	-4,21		
124,23	-3,41	68,34	-8,68	310,7	-5,84	124,23	-3,41			215,39	-4,29		
136,06	-3,45	59,12	-8,86	312,4	-5,85	136,06	-3,45			219,71	-4,37		
143,50	-3,64	55,91	-8,92	314,1	-6,58	143,50	-3,64			222,96	-4,44		
148,18	-3,74	55,59	-8,92	315,7	-6,49	148,18	-3,74			225,96	-4,44		
50,00	-4,50	56,16	-8,91	317,8	-6,53	50,00	-4,50			229,65	-4,50		
0,00	0,00	56,68	-8,90	320,7	-6,56					234,95	-4,59		
0,06	-0,02			322,4	-6,58					238,70	-4,65		
5,00	-0,62			327,8	-6,63					241,68	-4,74		
5,72	-0,63			332,1	-6,66					247,30	-4,83		
7,06	-0,66			335,1	-6,69					251,82	-4,84		
8,95	-1,21			337,6	-6,72					255,10	-4,94		
8,64	-1,06			339,7	-6,74					256,62	-4,94		
9,69	-1,39			341,4	-6,74					257,53	-5,05		

11,21	-1,57	342,8	-7,03	258,48	-5,04
12,35	-1,62	344,1	-7,06	262,39	-5,06
13,94	-1,57	345,3	-7,07	268,77	-5,18
14,55	-1,61	346,3	-7,11	273,36	-5,27
17,03	-1,71	347,3	-7,05	277,02	-5,36
18,73	-1,78	349,0	-6,99	285,35	-5,55
19,65	-1,82	351,7	-7,02	286,01	-5,55
20,21	-1,84	354,2	-7,04	287,33	-5,58
22,84	-1,93	356,0	-7,06	288,43	-5,63
25,88	-2,04	357,6	-7,08	289,41	-5,67
27,73	-2,17	359,5	-7,09	290,11	-6,16
32,13	-2,34	398,3	-7,19	230,60	-6,63
34,50	-2,35	411,1	-7,23	83,94	-7,86
35,91	-2,36	416,1	-7,29		
36,72	-2,38	415,9	-7,30		
38,16	-2,41	415,5	-7,30		
55,62	-2,65	414,9	-7,31		
56,18	-2,70	414,4	-7,31		
57,03	-2,72	413,9	-7,32		
59,64	-2,75	412,7	-7,33		
64,26	-2,79	373,8	-7,78		
67,54	-2,83	207,8	-9,67		
68,70	-2,86				
69,68	-2,87				
70,06	-2,87				
80,36	-2,91				
97,02	-2,99				

APÊNDICE D – TEMPERATURAS E DESLOCAMENTOS LATERAIS DAS PAREDES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Tabela D.1 – Dados de temperatura e deslocamentos laterais das paredes de vedação sob incêndio

Tempo (min.)	P08 _{BC, A1,RF,00}								P09 _{BC, A1,RF,00}							
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	27,7	28,4	29,4	29,2	26,4	58,0	0,00	0,00	28,9	29,6	30,5	30,2	31,0	51,6	0,00	0,00
1,0	27,7	28,3	29,4	29,2	26,5	65,2	0,00	0,16	28,9	29,7	30,4	30,2	31,4	93,7	0,17	0,10
2,0	27,7	28,3	29,4	29,2	26,6	72,5	0,26	0,25	29,0	29,7	30,4	30,2	31,7	86,7	0,27	0,24
3,0	27,7	28,4	29,4	29,2	26,9	92,2	0,61	0,46	28,9	29,7	30,4	30,1	32,0	124,2	0,52	0,47
4,0	27,8	28,4	29,2	29,3	27,4	110,9	1,02	0,72	28,9	29,7	30,3	30,2	32,4	179,5	0,96	0,80
5,0	27,8	28,4	29,3	29,3	28,3	126,1	1,24	1,04	28,9	29,7	30,3	30,1	32,7	229,4	1,46	1,26
6,0	27,9	28,5	29,3	29,3	30,2	140,9	1,71	1,40	29,0	29,7	30,4	30,1	33,3	275,6	1,92	1,69
7,0	28,2	28,9	29,6	29,5	34,1	185,8	1,62	1,67	29,0	29,8	30,5	30,1	34,5	320,2	2,35	2,08
8,0	28,4	29,2	29,8	29,7	38,0	176,7	1,88	2,02	29,1	29,8	30,7	30,3	36,5	364,6	2,80	2,49
9,0	28,9	29,7	30,3	30,0	43,1	204,2	2,48	2,38	29,5	30,1	31,2	30,5	39,4	407,9	3,40	3,02
10,0	29,4	30,4	30,9	30,6	48,6	231,3	2,92	2,83	30,0	30,4	32,0	31,0	43,1	451,3	4,03	3,66
11,0	30,2	31,6	31,8	31,4	55,1	249,7	3,64	3,26	30,6	30,8	32,7	31,6	47,9	491,9	4,67	4,30
12,0	31,2	33,6	33,7	32,6	63,2	267,2	4,07	3,73	31,2	31,7	33,8	32,5	54,0	529,3	5,33	4,98
13,0	32,2	35,8	37,6	33,4	69,1	288,3	5,38	4,26	32,0	33,2	34,8	33,5	60,5	563,5	5,99	5,65
14,0	33,3	39,9	41,5	35,3	62,9	302,7	4,63	4,53	32,8	36,6	36,5	35,8	65,3	594,4	6,60	6,33
15,0	35,8	45,6	45,5	37,7	65,7	300,3	5,41	4,94	35,0	41,0	38,8	40,9	67,9	613,7	7,18	7,00
16,0	42,3	51,1	49,8	39,7	66,7	303,8	6,14	5,40	36,6	45,4	41,0	46,7	69,1	600,4	7,75	7,66
17,0	43,7	55,3	53,6	41,7	68,7	326,1	6,45	5,72	39,8	50,0	44,3	52,9	69,7	627,4	8,45	8,47
18,0	48,8	60,5	59,2	45,4	69,5	336,1	6,58	6,11	42,5	53,2	48,1	57,9	71,4	631,8	8,91	8,97
19,0	49,9	64,7	60,9	47,3	70,1	342,4	7,38	6,50	48,1	57,6	53,1	63,4	70,5	656,3	9,53	9,71
20,0	51,1	66,8	62,5	51,1	70,1	347,7	7,50	6,90	52,4	61,0	58,3	67,3	73,6	625,2	10,00	10,23
21,0	53,7	71,0	65,0	55,4	70,5	351,6	7,65	7,29	56,0	63,1	61,7	69,1	75,8	672,3	10,54	10,76
22,0	54,1	73,8	67,8	57,8	71,5	355,9	7,90	7,51	60,1	64,1	66,1	70,0	80,7	649,8	11,15	11,50

23,0	53,5	72,7	67,9	60,6	74,6	358,8	7,90	7,78	62,1	68,9	68,0	72,3	86,0	638,0	11,60	11,94
24,0	53,8	73,5	67,9	61,1	78,9	364,0	8,21	8,08	63,6	70,0	68,8	72,6	91,2	658,0	12,01	12,42
25,0	65,8	75,4	68,0	66,8	83,7	367,6	8,33	8,29	65,7	73,0	71,1	73,6	96,8	675,9	12,31	12,77
26,0	64,8	75,5	68,0	69,0	88,8	370,8	8,84	8,45	67,6	75,1	72,0	74,5	102,5	672,3	12,65	13,06
27,0	67,1	76,2	68,1	74,3	94,8	374,7	8,77	8,76	69,3	72,5	72,6	73,0	110,6	588,3	12,94	13,36
28,0	66,8	76,4	68,1	78,9	100,1	376,7	8,77	8,97	72,2	74,7	71,9	74,2	117,4	516,2	13,19	13,71
29,0	67,8	76,0	71,1	83,8	106,4	378,9	8,97	9,12	70,0	74,9	73,9	76,2	124,0	502,5	13,46	13,88
30,0	66,8	77,3	68,0	87,3	112,5	381,3	9,29	9,36	69,4	74,9	72,9	76,1	130,8	495,5	13,64	14,31
31,0	67,9	77,1	68,2	89,9	119,8	382,9	9,58	9,50	71,3	76,8	71,8	75,7	137,8	487,5	13,87	14,49
32,0	68,9	77,7	70,6	92,2	128,8	382,8	9,37	9,62	70,8	74,7	72,5	76,3	144,7	481,9	14,07	14,79
33,0	69,2	74,1	66,6	93,5	148,5	382,0	9,40	9,72	71,5	77,4	72,0	75,7	152,1	474,6	14,24	14,94
34,0	69,1	73,3	65,9	93,9	185,9	381,0	9,45	9,87	72,7	74,9	73,7	75,5	159,0	472,2	14,44	15,23
35,0	70,5	80,1	70,8	94,6	201,8	381,9	9,49	9,92	71,3	76,4	73,1	77,4	165,9	471,9	14,65	15,44
36,0	71,1	73,8	67,5	95,1	220,7	382,0	9,52	9,99	71,9	75,2	73,8	76,4	172,0	471,4	14,84	15,66
37,0	70,8	80,1	67,7	94,9	236,3	382,5	9,51	10,04	72,8	76,3	75,0	78,2	178,9	471,6	14,98	15,88
38,0	74,1	83,2	68,3	94,9	227,9	387,1	9,50	10,20	72,4	78,5	75,2	79,4	184,7	471,3	15,09	16,03
39,0	75,4	82,2	69,5	95,4	257,3	382,3	9,50	10,20	73,8	78,3	76,0	77,9	189,8	472,1	15,25	16,27
40,0	75,3	83,1	70,5	95,0	265,9	381,8	9,49	10,20	74,6	81,6	76,6	78,1	196,4	477,7	15,47	16,44
41,0	76,2	83,1	71,9	94,6	274,3	382,3	9,50	10,20	74,7	78,9	77,5	78,4	202,3	477,3	15,60	16,59
42,0	78,6	83,0	69,5	94,7	282,7	381,6	9,71	10,20	75,3	82,3	79,9	81,2	209,2	474,6	15,71	16,81
43,0	77,8	81,9	70,9	93,3	290,7	381,0	9,64	10,20	74,6	87,0	82,4	83,1	211,8	473,4	15,85	16,95
44,0	79,3	87,1	72,3	95,5	298,6	382,0	9,66	10,20	76,4	89,9	81,8	82,3	215,9	472,7	15,99	17,07
45,0	80,0	87,4	73,8	99,1	306,2	382,3	9,87	10,20	78,0	90,6	82,8	84,4	220,4	473,8	16,08	17,21
46,0	81,9	90,4	72,6	101,7	313,9	383,2	9,74	10,20	78,5	91,2	83,7	85,9	225,8	476,3	16,15	17,36
47,0	84,7	92,6	74,4	105,6	321,2	385,1	9,42	10,18	78,2	94,7	84,9	86,6	230,2	476,6	16,20	17,53
48,0	89,2	96,6	74,4	108,6	328,6	384,1	9,28	10,15	81,3	107,6	91,3	91,4	234,5	479,1	16,29	17,66
49,0	92,9	106,8	80,5	114,8	335,9	385,0	9,09	10,09	82,1	104,6	91,6	91,9	238,5	481,4	16,39	17,73
50,0	95,6	112,2	82,9	118,2	343,1	386,3	8,92	10,03	86,2	114,2	95,5	96,0	244,2	484,9	16,41	17,80
51,0	100,2	116,7	80,5	122,7	350,2	388,0	9,08	9,98	88,9	113,6	97,7	94,7	249,6	488,2	16,43	17,88
52,0	105,4	119,5	85,8	129,1	357,3	389,1	8,99	9,90	94,1	119,3	100,8	98,9	254,3	491,2	16,44	17,96
53,0	107,8	122,3	82,4	129,5	364,1	388,6	9,00	9,84	97,9	124,6	107,6	102,7	258,2	494,0	16,44	18,02

54,0	112,7	135,3	93,5	138,5	370,9	389,6	9,23	9,79	99,9	124,7	110,4	105,1	261,7	494,8	16,44	18,10
55,0	117,6	139,3	96,7	141,8	377,6	392,0	8,55	9,71	102,3	127,4	114,8	113,0	266,0	496,6	16,44	18,13
56,0	118,6	138,8	99,0	146,5	384,2	395,0	8,50	9,59	108,4	135,4	119,3	115,7	268,7	495,0	16,47	18,17
57,0	121,6	144,8	102,5	150,3	390,7	394,8	8,11	9,56	110,6	134,7	123,1	123,5	271,9	494,1	16,47	18,21
58,0	124,6	150,8	106,0	154,2	397,1	394,7	8,14	9,51	113,9	140,1	126,8	127,8	275,3	494,0	16,46	18,26
59,0	127,5	154,0	107,2	155,1	403,5	395,2	7,95	9,42	118,0	142,4	130,0	132,4	279,2	495,6	16,46	18,31
60,0	132,5	154,0	112,7	159,0	409,8	398,0	7,83	9,27	122,3	150,1	134,0	140,1	283,2	498,0	16,44	18,34
61,0	134,8	160,2	119,1	163,6	416,0	400,8	7,75	9,15	123,8	144,3	134,9	138,9	286,5	446,1	16,40	18,39
62,0	140,8	165,5	126,1	169,1	422,0	399,6	7,80	9,08	127,6	148,2	139,7	144,0	289,7	448,2	16,33	18,44
63,0	140,7	165,1	118,7	169,8	427,9	397,3	7,37	8,99	131,8	163,1	145,4	150,0	292,9	452,6	16,24	18,49
64,0	145,8	168,9	130,6	174,0	433,6	400,2	7,34	8,90	136,3	157,4	150,0	158,1	296,1	454,3	16,18	18,53
65,0	147,9	179,1	139,6	179,0	439,3	404,0	7,45	8,81	138,8	158,4	149,3	158,8	299,3	454,8	16,14	18,55
66,0	152,0	178,2	135,7	180,1	445,0	402,4	7,18	8,71	140,2	166,1	157,6	165,6	302,5	452,3	16,08	18,57
67,0	152,3	182,6	142,3	186,0	450,6	399,8	7,02	8,60	144,0	167,2	154,2	164,9	305,7	504,2	16,01	18,58
68,0	155,4	185,9	145,3	188,2	456,0	403,2	6,78	8,51	146,0	163,1	157,2	166,3	309,0	505,4	15,88	18,59
69,0	157,9	188,5	145,6	190,8	461,5	407,9	6,69	8,45	144,9	171,6	159,9	171,1	314,4	512,2	15,74	18,59
70,0	160,0	190,2	146,8	194,4	466,8	406,4	6,60	8,40	152,3	169,7	160,8	172,4	318,6	516,4	15,63	18,60
71,0	162,4	194,0	155,7	196,0	472,0	402,8	6,47	8,38	154,8	176,2	165,9	175,6	322,2	520,3	15,59	18,60
72,0									155,6	167,6	163,7	175,7	324,7	519,7	15,52	18,66
73,0									159,3	172,9	166,9	180,4	325,9	516,5	15,42	18,65
74,0									162,5	177,1	172,0	184,9	328,9	516,2	15,29	18,65

Tabela D.2 – Dados de temperatura das paredes de vedação sob incêndio

P10 _{BC, A1,RF,45}									P11 _{BC, A1,RF,45}							
Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	31,4	32,5	33,7	28,8	39,8	136,3	0,00	0,00	29,9	30,8	31,5	31,5	31,9	91,1	0,00	0,00
1,0	31,5	32,6	33,7	28,8	40,4	239,4	0,00	0,00	29,8	30,8	31,4	31,4	32,6	88,0	0,01	0,02
2,0	31,7	32,7	33,8	29,0	41,1	322,0	0,00	0,00	29,7	30,7	31,4	31,5	33,3	120,8	0,06	0,05
3,0	31,3	32,4	33,6	28,6	42,3	392,8	0,00	0,00	29,9	30,9	31,5	31,6	34,1	198,0	0,17	0,22
4,0	31,1	32,4	33,7	28,5	44,3	451,2	0,00	0,00	29,9	31,0	31,6	31,6	35,1	264,5	0,41	0,47
5,0	31,1	32,4	33,7	28,5	47,1	504,0	0,00	0,00	29,9	31,0	31,6	31,7	36,9	320,7	0,69	0,71
6,0	31,5	32,7	33,9	28,7	50,7	550,7	0,00	0,00	30,0	31,1	31,8	31,9	40,4	375,6	0,96	0,97
7,0	31,8	33,1	34,4	29,1	55,3	591,8	0,00	0,01	30,1	31,2	32,0	31,9	45,8	429,3	1,21	1,20
8,0	32,2	33,6	34,9	29,3	61,1	625,1	0,00	0,05	30,2	31,4	32,2	32,2	52,5	481,6	1,61	1,51
9,0	32,4	34,0	35,6	29,6	68,0	663,1	0,01	0,12	30,3	31,6	32,4	32,4	60,6	529,9	2,01	1,96
10,0	32,6	35,1	37,6	29,7	75,7	686,5	0,05	0,30	30,7	32,2	33,1	32,9	69,8	574,1	2,43	2,27
11,0	33,0	37,1	41,1	30,3	83,7	698,0	0,28	0,59	30,8	32,5	33,7	33,7	79,5	579,1	2,89	2,72
12,0	34,1	39,6	45,2	31,0	91,1	685,9	0,64	0,85	31,2	33,4	34,5	34,6	88,1	615,9	3,29	3,08
13,0	35,8	42,3	48,8	32,7	96,9	706,2	0,97	1,22	31,2	35,1	34,7	34,6	94,2	636,8	3,65	3,40
14,0	36,9	44,2	51,4	33,5	100,8	746,3	1,24	1,61	31,8	36,0	37,4	37,4	96,7	647,3	4,01	3,71
15,0	38,8	45,9	53,0	34,9	103,1	746,4	1,78	2,15	32,7	38,4	40,2	39,3	100,3	655,7	4,39	4,15
16,0	39,0	46,5	54,0	35,5	104,1	742,3	2,05	2,41	34,3	41,4	42,8	41,0	104,8	663,2	4,76	4,61
17,0	40,6	48,5	56,4	37,5	105,6	750,3	2,40	2,69	35,6	46,6	44,5	43,2	110,4	677,0	5,20	5,00
18,0	43,1	50,9	58,7	39,6	111,4	799,1	2,76	3,09	36,7	48,3	47,5	47,7	117,3	694,5	5,70	5,60
19,0	43,3	51,3	59,2	39,3	118,2	802,3	3,23	3,64	39,3	52,9	47,5	47,2	125,9	712,0	6,17	6,06
20,0	44,8	52,4	59,9	40,8	125,7	804,8	3,65	3,90	39,5	56,6	50,4	51,8	135,0	732,5	6,71	6,62
21,0	45,3	53,1	61,0	41,6	134,1	807,9	3,92	4,33	38,8	60,6	47,9	49,8	145,0	745,1	7,24	7,16
22,0	45,4	53,5	61,6	42,7	143,2	813,2	4,37	4,75	40,1	61,9	51,1	55,3	156,0	753,8	8,38	8,25
23,0	48,1	56,1	64,1	46,0	152,8	817,3	4,75	5,09	41,1	61,4	49,1	56,4	167,0	760,1	9,41	9,39
24,0	49,7	57,4	65,1	47,8	162,6	822,0	5,03	5,42	41,9	63,8	49,7	57,6	178,5	763,1	10,09	10,13
25,0	49,7	58,5	67,4	49,2	172,4	828,2	5,33	5,68	42,3	65,9	50,3	59,5	189,9	766,6	10,57	10,65

26,0	51,5	59,9	68,2	49,0	182,1	835,8	5,55	6,00	42,3	67,8	50,3	60,2	201,4	772,9	11,10	11,36
27,0	51,9	59,9	67,9	50,5	192,0	843,1	5,80	6,18	43,4	67,2	50,5	62,6	212,9	781,0	12,39	13,12
28,0	52,1	60,3	68,6	51,4	201,7	851,3	5,96	6,37	44,0	69,4	50,8	64,8	224,4	792,9	12,88	13,64
29,0	50,9	60,4	70,0	49,7	211,4	859,7	6,15	6,54	43,8	68,1	50,9	66,0	235,9	806,3	13,25	14,13
30,0	51,1	60,1	69,2	49,6	220,9	869,9	6,32	6,75	43,8	66,2	50,2	68,1	247,9	819,0	13,55	14,51
31,0	52,1	62,2	72,2	51,4	230,5	868,2	6,53	7,06	43,7	66,5	50,3	66,9	258,8	827,8	13,86	14,93
32,0	51,0	61,5	71,9	57,3	239,7	660,0	7,89	8,69	43,4	68,9	50,0	66,1	269,5	823,9	14,13	15,30
33,0	52,6	61,3	70,1	56,0	247,9	507,4	8,47	9,26	45,1	71,6	50,5	68,5	280,0	819,6	14,42	15,79
34,0	53,7	60,9	68,2	54,9	256,4	438,6	8,91	9,67	45,0	69,0	51,9	70,4	290,4	825,3	14,62	15,93
35,0	53,6	62,3	70,9	55,3	264,5	408,6	9,25	10,09	46,0	69,4	53,9	70,0	300,5	839,7	14,78	16,06
36,0	54,1	63,0	71,9	56,3	272,5	403,6	9,65	10,69	44,4	68,2	55,9	69,2	310,4	852,2	14,99	16,47
37,0	54,6	63,8	72,9	57,3	280,5	398,6	9,93	10,98	46,1	69,4	57,2	70,2	319,9	845,7	15,16	16,65
38,0	55,1	64,5	73,9	58,3	288,5	393,6	10,05	11,20	47,3	69,7	60,1	70,8	329,4	842,9	15,29	16,81
39,0									46,7	70,2	62,2	70,8	338,6	855,9	15,40	16,95
40,0									47,5	71,6	65,0	71,6	347,5	870,5	15,49	17,03
41,0									47,0	70,2	65,6	70,8	356,2	862,5	15,63	17,14
42,0									47,7	72,2	67,5	72,3	364,7	861,1	15,68	17,27
43,0									47,5	74,0	67,9	70,5	373,1	877,1	15,72	17,39
44,0									50,2	74,2	69,0	71,0	381,2	883,9	15,78	17,49
45,0									51,3	75,5	71,3	73,8	389,1	873,8	16,59	18,65
46,0									50,9	78,2	74,7	76,8	396,8	880,0	16,74	18,85
47,0									53,9	81,8	78,0	81,4	404,4	898,6	16,81	19,10
48,0									49,2	85,3	81,4	86,0	401,6	898,6	16,85	19,17

Tabela D.3 – Dados de temperatura das paredes de vedação sob incêndio

Tempo (min.)	P12 _{BC, A1,RF,105}								P13 _{BC, A1,RF,105}							
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	32,2	33,1	34,2	33,8	30,2	33,1	0,00	0,00	29,2	29,5	37,4	32,0	30,9	29,9	0,00	0,00
1,0	32,3	33,1	34,2	33,7	30,2	87,1	0,06	0,05	29,1	29,5	37,4	32,0	30,9	29,8	0,00	0,06
2,0	32,2	33,1	34,2	33,6	30,2	102,4	0,11	0,12	29,1	29,5	37,4	32,0	30,8	29,8	0,00	0,08
3,0	32,3	33,1	34,3	33,5	30,4	255,9	0,29	0,31	29,1	29,4	37,2	31,9	30,8	29,8	0,19	0,14
4,0	32,3	33,2	34,3	33,8	30,4	356,0	0,56	0,51	29,2	29,4	36,1	31,6	30,9	29,7	0,35	0,23
5,0	32,3	33,1	34,5	33,9	30,5	426,9	0,77	0,75	29,2	29,4	36,3	31,6	31,0	29,9	0,45	0,32
6,0	32,3	33,4	34,5	33,9	30,6	474,2	0,94	0,97	29,2	29,4	37,5	32,0	30,9	30,2	0,65	0,52
7,0	32,6	33,5	34,6	34,1	30,9	440,7	1,15	1,18	29,2	29,4	41,9	33,5	30,9	30,6	0,80	0,73
8,0	32,8	33,5	35,0	34,4	31,4	397,4	1,37	1,41	29,3	29,4	41,6	33,5	31,0	30,7	0,97	0,94
9,0	32,8	33,8	34,5	34,3	32,0	407,3	1,58	1,59	29,2	29,5	41,0	33,2	30,9	31,0	1,04	1,16
10,0	33,1	34,1	35,0	34,5	32,9	412,7	1,92	1,89	29,3	29,5	40,9	33,2	31,0	31,6	1,25	1,42
11,0	33,6	34,4	36,1	35,4	34,7	401,0	2,26	2,29	29,4	29,6	40,9	33,3	31,0	32,9	1,50	1,76
12,0	34,2	35,0	36,6	36,0	36,1	391,3	2,90	2,79	29,6	29,7	41,6	33,7	31,2	34,7	1,70	2,18
13,0	34,4	35,5	37,1	35,9	38,0	398,4	3,61	3,49	30,0	29,9	43,4	34,4	31,6	37,1	2,10	2,59
14,0	36,3	38,5	38,6	36,5	40,4	402,7	4,17	4,07	30,5	30,2	45,8	35,5	32,3	39,9	2,59	3,10
15,0	38,1	39,0	41,6	38,1	43,3	395,6	5,56	5,52	31,3	30,7	41,4	34,5	33,0	43,1	3,45	3,68
16,0	41,8	40,9	43,7	38,9	47,0	387,6	6,64	6,72	32,4	31,3	39,2	34,3	33,6	46,7	4,11	4,35
17,0	42,1	45,3	47,6	40,4	51,2	388,6	8,42	8,37	34,5	32,3	38,0	34,9	35,0	50,6	4,37	4,86
18,0	41,8	47,1	49,9	41,6	55,4	393,3	8,60	8,55	39,1	33,6	36,7	36,5	32,5	54,9	5,26	5,96
19,0									38,2	35,7	37,0	37,0	32,7	58,8	6,09	6,59
20,0									46,1	38,7	39,4	41,4	32,6	62,7	6,77	7,74
21,0									49,2	42,3	43,4	45,0	33,0	65,2	7,65	8,51
22,0									54,2	48,9	47,0	50,0	33,2	66,4	8,59	9,17
23,0									55,8	53,3	51,0	53,4	34,2	67,4	9,46	9,98
24,0									46,5	54,5	52,5	51,1	50,4	67,5	10,53	11,84
25,0									57,0	56,5	50,2	54,6	58,3	67,7	11,41	12,80

26,0

58,6 61,7 56,1 58,8 63,1 70,4 12,00 13,64

Tabela D.4 – Dados de temperatura das paredes estruturais sob incêndio

P14 _{BE} , A2,RF,70									P15 _{BC} , A2,RF,140								
Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)	Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	32,5	32,9	34,4	34,3	31,0	45,0	0,00	0,00	0,0	31,1	31,5	32,8	32,7	29,7	57,7	0,00	0,00
2,0	32,6	33,0	34,4	34,4	31,0	65,7	0,00	0,00	1,0	31,2	31,5	32,8	32,7	29,6	59,9	0,00	0,01
4,0	32,7	33,0	34,5	34,3	31,8	149,5	0,01	0,00	2,0	31,1	31,6	32,9	32,7	29,7	85,2	0,00	0,01
6,0	32,7	33,1	34,5	34,3	31,9	264,7	0,14	0,00	3,0	31,1	31,6	32,9	32,6	29,8	124,8	0,00	0,03
8,0	32,8	33,1	34,5	34,4	32,0	365,1	0,24	0,06	4,0	31,2	31,7	32,9	32,7	29,9	152,5	0,00	0,04
10,0	32,8	33,2	34,5	34,3	32,2	458,8	0,37	0,44	5,0	31,1	31,6	32,7	32,6	29,9	175,9	0,00	0,05
12,0	32,7	33,2	34,5	34,4	32,7	548,3	0,58	0,56	6,0	31,0	31,5	32,6	32,6	30,1	213,2	0,00	0,01
14,0	32,7	33,2	34,4	34,3	34,1	571,8	0,99	1,34	7,0	31,1	31,5	32,8	32,7	30,4	237,7	0,00	0,01
16,0	32,6	33,3	34,5	34,4	37,6	584,4	1,41	1,48	8,0	31,0	31,4	32,7	32,6	30,9	272,6	0,00	0,04
18,0	32,9	33,6	34,6	34,5	43,0	609,7	1,86	2,14	9,0	31,0	31,5	32,7	32,7	31,8	296,3	0,00	0,06
20,0	33,2	34,3	35,3	34,9	49,3	631,6	2,30	2,67	10,0	31,1	31,6	32,8	32,8	33,0	316,6	0,93	0,92
22,0	33,5	35,0	36,2	35,5	56,3	674,2	2,57	2,74	11,0	31,1	31,6	32,8	33,0	34,6	336,1	0,86	1,24
24,0	34,1	36,1	37,9	36,4	63,5	676,3	2,82	2,92	12,0	31,1	31,5	32,9	33,3	37,1	355,8	0,96	1,18
26,0	35,0	37,3	39,6	37,7	70,5	698,6	3,14	3,15	13,0	31,2	31,6	32,9	33,6	40,5	381,1	1,96	1,36
28,0	35,6	38,9	41,5	39,3	77,3	719,9	3,23	2,82	14,0	31,2	31,5	33,1	34,3	44,8	401,6	2,34	1,73
30,0	37,0	40,7	43,9	40,0	84,0	740,5	3,34	3,44	15,0	31,1	31,5	33,2	34,5	49,7	420,9	2,74	2,19
32,0	37,8	41,5	45,4	41,3	90,0	763,6	3,41	3,16	16,0	31,2	31,6	33,3	34,6	54,5	440,4	3,14	2,72
34,0	38,9	44,2	47,5	43,1	95,1	781,5	3,46	3,11	17,0	31,4	31,8	33,9	35,9	58,8	439,5	2,91	3,09
36,0	40,3	46,1	50,4	46,3	99,0	795,3	3,47	3,07	18,0	31,5	32,0	34,3	36,8	62,2	452,6	2,67	3,01
38,0	43,1	49,2	52,8	47,9	101,5	806,0	3,48	3,04	19,0	31,8	32,1	34,7	37,6	65,3	470,6	3,24	3,06
40,0	44,3	51,1	55,0	50,6	103,3	805,9	3,48	3,03	20,0	31,8	32,3	34,7	37,6	67,9	481,3	3,00	3,12
42,0	46,5	54,1	56,7	53,9	105,7	815,5	3,48	3,02	21,0	32,1	32,6	35,5	39,0	70,5	493,0	3,59	3,26
44,0	47,6	57,0	59,5	55,5	108,8	820,8	3,48	3,01	22,0	32,3	32,8	35,7	38,9	73,0	510,4	3,23	3,26

46,0	47,9	59,6	61,4	57,9	112,7	821,9	3,47	3,02	23,0	32,6	33,0	36,5	39,9	75,4	535,6	3,59	3,21
48,0	50,2	62,6	62,9	60,6	118,0	835,3	3,47	3,03	24,0	32,7	33,3	36,8	40,9	77,8	566,5	3,74	3,27
50,0	52,1	65,3	65,1	61,3	125,3	840,5	3,47	3,11	25,0	33,0	33,9	37,5	41,4	80,0	595,3	4,68	3,20
52,0	54,6	68,5	67,0	62,7	134,4	845,4	3,46	3,29	26,0	33,6	34,4	38,7	43,0	80,1	604,1	4,68	3,11
54,0	54,1	70,2	68,9	65,1	145,3	857,2	3,45	3,43	27,0	33,9	34,6	39,1	43,2	80,6	606,4	4,60	3,37
56,0	58,4	73,7	70,8	67,6	156,9	857,4	3,45	3,46	28,0	34,5	35,0	39,9	44,4	81,7	604,5	4,65	3,64
58,0	58,4	75,2	72,8	67,6	169,3	865,8	3,43	3,54	29,0	34,7	36,0	40,7	44,7	82,9	597,3	4,70	3,44
60,0	61,1	77,4	73,8	69,6	182,3	874,2	3,42	3,66	30,0	35,5	36,0	41,4	44,8	84,3	587,6	4,69	3,55
62,0	62,0	78,6	74,7	70,8	195,9	876,4	3,41	3,90	31,0	35,9	36,5	42,6	45,8	86,0	581,1	4,67	3,57
64,0	62,0	79,4	75,9	72,1	210,1	885,3	3,39	3,46	32,0	36,6	37,4	43,7	46,7	88,1	584,4	4,68	3,56
66,0	61,6	80,7	75,5	75,6	224,8	888,7	3,38	3,31	33,0	37,2	38,2	44,6	48,6	91,3	586,1	4,65	3,55
68,0	65,7	84,5	78,2	75,2	239,7	885,1	3,36	3,04	34,0	38,1	39,0	46,4	49,7	95,7	577,4	4,62	3,54
70,0	65,9	85,9	79,9	79,2	254,6	894,3	3,35	2,98	35,0	38,5	39,5	46,6	48,6	106,9	550,2	4,68	3,52
72,0	66,1	89,0	82,2	82,1	269,4	910,5	3,34	3,11	36,0	39,0	40,4	48,5	50,5	111,2	502,0	4,60	3,53
74,0	68,6	92,3	80,9	80,6	284,3	912,2	3,33	3,12	37,0	40,5	41,0	49,3	51,5	115,9	499,5	4,68	3,51
76,0	70,9	97,3	83,5	83,5	298,9	917,4	3,30	3,34	38,0	41,1	41,1	49,9	51,3	121,0	498,0	4,65	3,51
78,0	70,9	101,5	84,2	84,3	313,1	908,6	3,26	3,52	39,0	43,2	42,2	51,3	52,2	126,4	497,3	4,61	3,51
80,0	73,3	105,5	84,9	85,8	327,1	898,8	3,23	3,69	40,0	43,6	43,4	52,6	53,2	132,1	497,5	4,62	3,51
82,0	75,4	109,4	87,6	86,5	340,4	825,2	3,21	3,17	41,0	44,3	44,1	53,9	55,1	138,2	494,1	4,68	3,51
84,0	78,2	110,0	87,7	86,7	353,3	761,1	3,17	3,04	42,0	45,0	44,9	54,1	56,0	144,7	493,5	4,65	3,51
86,0	81,3	109,6	93,2	87,5	365,7	752,0	3,14	3,21	43,0	46,7	46,2	55,6	56,7	151,5	491,2	4,65	3,54
88,0	86,2	114,0	96,3	88,9	377,6	740,7	3,10	3,37	44,0	48,1	47,1	57,2	58,1	158,3	491,5	4,68	3,63
90,0	91,1	117,3	100,3	87,5	389,2	716,8	3,05	3,08	45,0	49,2	48,5	59,1	60,2	165,3	493,8	4,70	3,70
92,0	94,4	120,9	104,5	87,6	400,3	708,0	3,01	3,17	46,0	50,0	49,6	58,8	60,5	172,2	496,6	4,65	3,66
94,0	98,5	124,8	108,8	87,5	410,9	698,4	2,95	3,55	47,0	51,2	50,6	59,6	60,4	179,2	499,5	4,59	3,69
96,0	102,6	128,5	112,3	86,5	421,3	700,6	2,91	3,10	48,0	52,3	51,7	61,3	62,1	186,0	503,4	4,55	3,61
98,0	104,6	131,2	114,8	87,1	431,4	703,1	2,85	3,51	49,0	53,9	53,7	63,2	63,0	193,0	501,3	4,62	3,39
100,0	107,8	137,3	119,6	89,7	441,2	702,8	2,76	3,39	50,0	54,7	54,4	64,7	65,0	200,0	496,8	4,68	3,27
102,0	112,1	137,9	122,3	96,1	450,7	709,3	2,70	3,05	51,0	56,0	56,0	65,0	65,2	207,0	497,1	3,69	3,16
104,0	117,1	141,6	128,5	101,7	460,0	711,2	2,66	3,05	52,0	56,8	55,9	64,7	65,9	214,1	501,2	3,24	3,25
106,0	120,1	145,6	131,9	106,0	469,0	720,9	2,60	2,60	53,0	58,8	58,6	67,6	67,5	221,2	505,7	2,90	3,43

Tabela D.5 – Dados de temperatura das paredes estruturais sob incêndio

P16 _{BE} , A3,RF,140									P17 _{BE2} , A3,RF,70								
Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)	Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T8 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	33,1	33,3	34,8	34,5	32,3	66,9	0,00	0,00	0,0	29,5	29,7	30,9	31,9	28,4	134,0	0,00	0,00
2,0	33,1	33,3	34,9	34,6	32,2	124,8	0,00	0,04	2,0	29,4	29,6	30,9	31,6	28,5	252,5	0,11	0,84
4,0	33,0	33,4	34,9	34,6	32,3	232,1	0,08	0,12	4,0	29,6	29,1	30,9	31,5	28,4	400,1	0,67	1,58
6,0	33,1	33,2	34,8	34,5	32,2	333,5	0,48	0,67	6,0	29,6	29,9	30,9	30,9	28,5	505,2	0,64	2,23
8,0	33,1	33,3	34,8	34,5	32,3	438,5	1,43	0,96	8,0	29,6	29,9	31,0	31,7	28,9	590,5	0,89	2,79
10,0	33,0	33,2	34,7	34,5	32,5	527,6	1,45	1,71	10,0	29,5	29,9	30,9	31,6	30,6	673,6	1,98	3,28
12,0	33,0	33,3	34,8	34,5	33,3	603,2	1,48	2,18	12,0	29,6	30,0	31,0	31,8	35,0	729,3	2,34	3,70
14,0	32,8	33,3	35,1	34,4	34,6	647,7	2,23	2,57	14,0	29,7	30,2	31,1	31,7	45,1	779,0	2,82	4,06
16,0	32,1	33,7	35,8	34,5	37,3	676,1	2,62	3,16	16,0	29,9	30,5	32,0	31,9	63,7	783,3	3,10	4,37
18,0	33,0	34,0	36,6	34,5	41,3	689,0	3,41	3,03	18,0	30,4	31,4	32,8	32,4	76,2	807,0	3,45	4,64
20,0	33,1	34,6	37,8	34,6	46,3	706,4	3,46	3,32	20,0	31,0	32,6	32,4	33,4	82,3	816,4	3,43	4,86
22,0	33,6	35,3	39,2	35,0	51,6	726,3	3,58	3,39	22,0	32,1	33,6	31,6	35,8	86,0	826,3	3,50	5,06
24,0	34,1	36,2	40,5	35,3	56,8	748,3	3,68	3,79	24,0	33,1	35,5	32,0	38,4	88,5	834,0	3,64	5,10
26,0	34,5	37,3	41,4	35,7	62,2	762,9	3,98	3,61	26,0	34,4	37,0	32,8	42,1	90,6	837,1	3,65	5,10
28,0	35,5	39,2	43,1	36,5	67,5	765,5	4,13	3,67	28,0	35,6	39,0	32,7	46,2	92,9	842,8	4,13	5,10
30,0	35,8	39,7	45,1	36,7	72,3	779,3	4,06	3,66	30,0	36,6	40,0	34,8	50,0	95,1	850,9	4,12	5,10
32,0	37,0	42,3	47,1	37,9	77,0	804,9	4,08	3,64	32,0	39,4	41,2	44,1	53,8	96,7	872,6	4,19	5,25
34,0	38,6	44,5	49,8	39,0	81,1	805,7	4,08	3,62	34,0	41,0	43,0	47,5	57,6	97,6	878,6	4,17	5,35
36,0	39,7	44,7	51,1	40,5	85,0	817,0	4,03	3,63	36,0	42,1	45,0	50,8	61,4	98,1	873,3	4,18	5,25
38,0	39,8	46,9	53,4	41,2	88,8	836,9	4,13	3,56	38,0	44,2	46,6	53,8	62,3	98,5	901,7	4,20	5,26
40,0	42,1	50,4	55,4	43,1	91,9	834,2	3,98	3,58	40,0	46,3	46,2	57,1	69,0	101,4	886,7	4,17	5,30
42,0	43,7	51,2	58,8	44,9	95,0	858,8	4,08	3,61	42,0	48,4	48,2	59,0	73,8	107,5	907,7	4,20	5,30
44,0	45,8	54,6	61,4	47,0	97,2	853,0	4,13	3,62	44,0	50,1	49,3	60,6	79,2	114,7	906,5	4,18	5,35
46,0	46,4	56,8	62,7	49,1	98,1	877,8	4,06	3,62	46,0	52,1	51,1	62,7	81,5	123,5	922,2	4,14	5,31
48,0	47,7	57,0	64,3	51,0	99,5	871,1	4,10	3,61	48,0	54,5	51,2	62,8	80,0	134,0	924,9	4,16	5,35

50,0	48,7	60,5	65,0	52,9	105,5	893,5	4,08	3,62	50,0	56,3	52,6	63,4	80,7	146,1	934,5	4,21	5,39
52,0	51,5	61,8	69,1	56,2	111,8	890,4	4,08	3,59	52,0	57,9	56,0	67,2	80,7	159,0	940,3	4,21	5,54
54,0	52,1	63,2	70,4	58,8	118,3	907,9	4,10	3,61	54,0	59,9	57,6	67,0	81,1	172,1	949,6	4,22	5,42
56,0	53,0	62,6	70,1	61,1	125,3	910,6	4,28	3,59	56,0	61,0	57,9	66,4	80,0	185,2	949,4	4,21	5,53
58,0	55,6	65,7	70,7	64,8	132,7	916,6	4,16	3,57	58,0	62,6	60,4	67,8	80,5	198,6	967,1	4,26	5,44
60,0	56,9	67,6	74,6	66,3	140,7	934,8	4,17	3,57	60,0	63,5	60,4	69,0	80,7	211,8	961,4	4,19	5,41
62,0	58,5	68,4	75,3	69,0	149,0	929,2	4,13	3,58	62,0	64,5	62,0	69,3	81,2	225,0	979,9	4,18	5,42
64,0	58,9	69,0	77,4	70,4	157,5	948,1	4,16	3,59	64,0	65,2	62,9	71,3	83,2	238,0	974,7	4,21	5,38
66,0	58,8	70,7	79,8	71,6	166,0	952,4	4,13	3,58	66,0	65,1	62,8	70,7	81,8	250,9	996,7	4,26	5,35
68,0	61,8	77,2	84,0	74,0	174,3	956,1	4,13	3,54	68,0	65,2	64,0	72,7	81,6	263,8	988,3	4,01	5,44
70,0	60,6	77,3	84,7	73,3	182,8	975,5	4,23	3,58	70,0	67,0	65,2	73,3	82,9	276,3	1012,6	3,77	5,45
72,0	61,3	78,9	88,1	74,0	191,4	972,2	4,03	3,53	72,0	68,6	64,4	74,5	80,4	288,7	1003,9	3,78	5,35
74,0	64,3	80,2	92,0	74,9	200,0	992,5	3,28	3,56	74,0	67,8	65,9	77,7	82,9	300,6	1010,1	3,74	5,40
76,0	65,8	87,0	95,8	75,9	208,6	989,0	3,18	3,49	76,0	67,9	66,0	79,9	81,6	312,4	1065,0	3,72	5,48
78,0	70,6	93,3	100,5	77,5	217,1	1011,5	3,24	3,68	78,0	69,4	66,5	78,9	79,5	324,1	1149,9	3,71	5,45
80,0	71,4	95,3	103,9	77,8	225,5	1005,6	3,13	3,58	80,0	71,6	69,6	87,7	84,1	335,5	1117,8	3,63	5,56
82,0	72,6	99,2	108,6	79,7	233,9	1026,7	3,23	3,62	82,0	71,4	69,8	89,3	81,7	346,8	1171,9	3,60	5,65
84,0	75,5	101,1	113,9	80,8	242,0	1022,2	2,98	3,53	84,0	72,9	69,8	93,7	81,9	357,8	1123,5	3,54	5,64
86,0	79,0	109,7	119,6	82,8	250,0	1043,3	3,06	3,78	86,0	74,7	73,3	97,4	82,1	368,6	1135,4	3,19	5,63
88,0	79,5	104,3	122,0	84,0	257,9	1038,7	3,08	3,72	88,0	75,4	74,8	100,7	83,2	379,2	1177,3	3,13	5,62
90,0	83,7	112,7	122,8	85,7	265,6	1057,8	3,13	3,52	90,0	77,6	69,6	101,7	80,5	389,5	1112,7	2,98	5,65
92,0	84,5	113,2	128,6	87,6	273,4	1050,9	3,03	3,55	92,0	80,8	75,5	103,9	83,1	399,7	1171,1	3,07	5,62
94,0	85,7	115,0	127,7	88,8	280,9	1067,0	2,98	3,50	94,0	84,9	81,6	113,5	89,4	409,7	1146,1	2,69	5,64
96,0	88,0	117,1	135,4	90,7	288,4	1060,3	2,90	3,38	96,0	87,0	84,5	112,4	93,2	419,6	1152,6	2,44	5,62
98,0	93,2	124,6	134,8	92,9	295,8	1055,3	2,84	3,57	98,0	88,6	90,0	115,7	97,3	429,3	1166,5	2,40	5,59
100,0	93,1	129,5	140,2	94,9	302,9	1061,4	2,78	3,12	100,0	93,7	86,8	117,8	101,9	439,0	1159,6	2,22	5,55
102,0	97,1	131,0	144,3	98,8	310,1	1070,8	2,68	3,12	102,0	94,9	91,5	120,9	107,6	448,4	1151,3	2,01	5,52
104,0	98,5	135,0	148,5	100,6	317,1	1066,7	2,63	3,02	104,0	100,8	92,5	124,9	113,4	457,7	1164,0	2,04	5,54
106,0	98,1	135,4	145,7	100,6	324,1	1061,1	2,23	3,09	106,0	100,6	107,2	125,7	116,5	466,9	1161,8	2,00	5,45
108,0	102,3	139,7	151,2	104,2	330,9	1060,7	2,10	2,77	108,0	102,5	114,4	131,1	122,5	476,0	1157,8	1,78	5,42
110,0	99,3	134,7	151,6	103,6	337,6	1067,2	2,18	2,73	110,0	104,4	117,2	133,4	127,8	484,8	1149,9	1,76	5,40

112,0	103,2	141,7	155,9	106,9	344,2	1074,1	2,03	2,52	112,0	108,4	121,0	133,2	131,9	493,4	1147,7	1,53	5,37
114,0	106,2	144,0	156,1	108,3	350,6	1076,7	1,80	2,41	114,0	113,0	125,0	137,6	139,8	501,9	1151,6	1,29	5,25
116,0	107,8	146,8	160,3	111,9	356,9	1073,0	1,93	2,38	116,0	114,4	126,4	138,6	141,8	510,2	1154,8	1,29	5,19
118,0	112,1	144,8	158,7	115,0	363,0	1069,4	1,58	2,04	118,0	114,2	131,2	138,9	144,6	518,1	1151,2	1,23	5,05
120,0	115,1	151,3	163,0	116,8	368,9	1067,3	1,28	2,20	120,0	117,6	135,2	145,4	148,2	525,7	1139,8	1,04	4,90
122,0	116,5	147,3	165,9	120,1	374,7	1066,6	1,23	2,19	122,0	121,2	138,0	147,2	152,0	533,1	1135,8	0,91	4,80
124,0	125,1	167,4	170,3	125,3	380,4	1067,9	1,08	2,30	124,0	125,0	144,1	147,8	155,4	540,2	1138,8	0,70	4,65
126,0	120,7	169,9	171,3	126,6	385,9	1068,5	0,87	1,99	126,0	124,8	142,4	146,7	156,1	546,8	1144,0	0,66	4,50
128,0	122,9	169,4	171,5	129,0	391,3	1071,9	0,83	2,06	128,0	131,5	149,5	153,2	163,6	553,3	1136,8	0,70	4,39
130,0	128,8	172,5	174,5	132,4	396,4	1075,6	0,93	1,60	130,0	131,4	151,3	155,8	163,6	559,5	1136,2	0,38	4,30
132,0	132,4	177,2	177,2	136,0	401,5	1078,2	0,93	1,67	132,0	133,8	153,8	156,1	165,0	565,6	1131,3	0,26	4,15
134,0	131,2	168,5	173,4	135,8	406,4	1079,1	0,88	1,52	134,0	136,7	156,4	156,1	170,4	571,5	1130,7	0,21	3,80
136,0	131,7	178,7	175,0	138,5	411,2	1083,1	0,93	1,57	136,0	136,9	159,9	162,1	174,9	577,0	1142,3	0,07	3,35
138,0	133,7	177,5	178,9	140,4	415,7	1084,3	0,83	1,32	138,0	138,6	158,9	164,8	176,4	582,6	1144,0	0,06	3,20
140,0	137,4	179,3	182,1	142,6	420,3	1084,1	0,63	1,33	140,0	139,6	158,6	162,8	177,0	587,9	1139,5	0,02	3,15
142,0	132,3	177,8	178,1	142,9	424,7	1082,9	0,58	0,80	142,0	142,2	165,2	161,3	179,3	593,1	1134,8	0,06	3,10
144,0	134,7	183,3	184,1	145,5	428,9	1080,6	0,53	1,05	144,0	143,5	164,4	168,9	181,6	598,2	1129,0	-0,11	3,05
146,0	139,7	181,0	180,4	147,7	433,0	1078,7	0,41	0,55	146,0	143,8	168,9	164,1	184,7	603,3	1120,0	-0,24	2,49
148,0	139,1	179,9	182,7	149,5	436,9	1076,1	0,28	0,47	148,0	146,2	172,2	168,5	186,9	608,3	1124,3	-0,35	2,35
150,0	137,3	180,6	183,2	150,8	440,7	1075,2	0,32	0,57	150,0	147,6	170,4	170,3	189,9	613,1	1127,8	-0,48	2,30
152,0	137,1	181,9	183,9	151,7	444,4	1074,9	0,28	0,22	152,0	149,2	167,3	170,4	191,8	617,9	1136,5	-0,51	2,10
154,0	139,1	181,2	185,3	153,7	448,0	1075,7	0,18	0,34	154,0	151,3	169,2	167,2	190,2	622,3	1139,3	-0,59	2,00
155,0	143,4	187,8	188,5	157,2	450,5	1077,3	0,33	0,27	156,0	150,3	173,8	174,0	193,3	626,9	1142,5	-0,93	1,80
									158,0	154,1	170,8	170,8	192,8	631,1	1135,7	-1,04	1,40
									160,0	168,3	176,3	178,9	197,3	635,3	1131,0	-1,00	1,15

Tabela D.6 – Dados de temperatura das paredes estruturais sob incêndio

P18_{BE2, A3,RF,140}							
Tempo (min.)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	DT01 (mm)	DT02 (mm)
0,0	30,3	30,5	31,5	31,9	28,5	0,00	
2,0	30,3	30,5	31,5	31,9	28,6	0,28	
4,0	30,3	30,5	31,5	31,9	28,9	0,47	
6,0	30,3	30,4	31,4	31,8	30,3	0,67	
8,0	30,3	30,5	31,5	31,8	33,8	1,56	
10,0	30,4	30,4	31,4	31,8	40,2	1,54	
12,0	30,4	30,6	31,6	31,9	52,8	2,04	
14,0	30,7	30,9	33,4	31,9	71,2	2,24	
16,0	31,1	31,3	32,2	32,4	81,5	2,36	
18,0	31,8	32,2	33,1	33,1	87,6	2,35	
20,0	32,9	33,7	33,8	34,0	90,7	2,50	
22,0	33,9	35,1	35,7	35,4	92,7	2,03	
24,0	35,2	37,0	36,7	37,2	94,4	2,02	
26,0	36,9	38,2	38,3	39,4	95,4	1,81	
28,0	38,4	40,3	40,4	41,4	98,0	1,90	
30,0	40,3	41,6	41,6	43,5	99,3	1,54	
32,0	41,5	42,5	43,0	45,0	101,0	1,44	
34,0	42,7	43,9	44,6	46,4	107,0	1,36	
36,0	45,8	45,6	46,7	49,7	115,3	1,35	
38,0	47,3	46,5	47,1	51,3	121,0	1,42	
40,0	49,0	47,9	49,6	53,7	130,7	1,46	
42,0	51,2	49,1	51,0	56,2	141,1	1,46	
44,0	54,6	50,8	52,3	58,0	152,0	1,42	
46,0	56,2	53,1	55,1	60,9	163,7	1,42	
48,0	59,1	55,6	59,5	63,6	175,3	1,40	
50,0	60,2	55,4	56,6	62,9	185,0	1,39	

52,0	62,2	56,4	59,1	65,2	198,9	1,36
54,0	63,4	57,8	59,1	66,1	214,0	1,32
56,0	64,6	59,9	62,6	70,5	223,5	1,37
58,0	66,1	60,4	61,0	72,4	235,7	1,38
60,0	68,0	59,9	61,0	73,6	245,9	1,38
62,0	69,2	62,3	62,6	75,2	259,5	1,38
64,0	68,3	63,6	65,5	76,7	271,4	1,40
66,0	69,0	64,2	64,0	76,6	283,2	1,39
68,0	71,5	66,8	67,0	79,4	294,7	1,40
70,0	70,3	65,6	66,3	77,4	306,1	1,38
72,0	71,9	66,8	67,7	77,5	317,5	1,40
74,0	74,0	67,4	67,8	82,0	328,7	1,42
76,0	74,7	69,6	67,3	82,4	339,6	1,48
78,0	75,3	69,3	70,0	83,3	350,6	1,46
80,0	74,7	68,2	68,6	83,3	361,2	1,50
82,0	77,8	72,8	72,9	84,5	371,8	1,56
84,0	79,6	73,9	71,9	83,6	382,2	1,58
86,0	80,9	74,4	82,1	86,8	392,7	1,51
88,0	83,5	77,2	77,4	86,2	402,9	1,67
90,0	85,9	79,9	82,3	87,9	412,9	1,58
92,0	89,3	84,5	84,3	91,3	423,1	0,90
94,0	91,2	87,5	86,5	92,1	433,0	0,63
96,0	94,5	93,2	87,5	96,4	442,9	0,48
98,0	97,6	93,7	93,5	97,2	452,6	0,41
100,0	101,1	100,3	96,9	104,0	462,4	0,50
102,0	102,6	103,6	97,6	104,0	472,1	0,36
104,0	106,4	104,6	105,0	109,6	481,3	0,33
106,0	110,1	102,1	100,7	113,5	490,5	0,33
108,0	114,0	110,1	110,8	120,7	499,5	0,45
110,0	118,0	109,3	107,3	123,5	508,1	0,20
112,0	120,9	116,5	107,4	123,9	516,4	0,33

114,0	123,2	117,1	108,4	130,1	524,4	0,27
116,0	124,8	120,8	111,6	133,7	532,2	0,26
118,0	128,5	122,3	118,9	141,2	539,9	0,47
120,0	130,9	128,0	122,8	146,3	547,3	0,42
122,0	129,9	122,8	123,4	144,9	555,0	-0,05
124,0	138,0	127,6	131,2	153,3	562,7	-0,07
126,0	137,9	129,3	125,0	153,1	570,6	-0,11
128,0	141,4	130,4	128,0	157,2	578,4	-0,20
130,0	143,5	129,4	127,7	159,0	586,1	-0,18
132,0	145,4	139,3	132,5	163,5	593,7	-0,61
134,0	150,1	137,4	133,4	157,3	601,0	-0,55
136,0	153,2	145,9	143,6	165,4	609,5	-0,25
138,0	155,1	138,2	137,0	162,9	617,1	0,34
140,0	155,6	143,9	140,0	166,6	623,7	1,09
142,0	156,8	134,9	135,6	164,7	627,9	0,64
144,0	159,4	137,4	140,5	167,0	635,2	1,42
146,0	155,4	147,8	148,1	159,8	635,4	0,23
148,0	157,1	152,7	146,6	162,0	641,8	0,12
150,0	155,0	163,5	145,1	165,0	648,7	-0,61
152,0	170,3	162,0	147,0	167,0	653,5	-1,03
154,0	174,6	162,0	147,3	164,4	658,7	-1,60
156,0	171,8	163,0	152,9	179,7	663,8	-1,74
158,0	173,0	163,5	157,5	176,9	667,8	-1,86
160,0	175,5	164,0	163,9	179,7	676,7	-1,69
161,0	175,5	169,0	167,0	181,5	677,3	

APÊNDICE E – CARGA - DESLOCAMENTOS VERTICAIS DAS PAREDES PÓS-INCÊNDIO

Tabela E.1 – Dados carga-deslocamentos verticais das paredes estruturais pós incêndio

P14 _{BE, A2, RF, 70,PI}		P16 _{BE, A3, RF, 70,PI}		P17 _{BE2, A3, RF, 70,PI}		P18 _{BE2, A3, RF, 70,PI}	
Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)	Carga (kN)	LVDT (mm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,1	2,1	0,1	2,1	0,2	2,0	0,1
5,6	0,6	4,0	0,3	4,1	0,4	4,0	0,1
13,3	1,2	6,0	0,4	6,1	0,7	10,0	0,5
19,6	1,5	8,1	0,5	10,0	0,8	14,1	0,7
24,6	1,7	10,3	0,6	12,0	0,9	16,0	0,8
29,2	1,8	14,0	0,8	16,0	1,1	18,0	0,9
33,3	2,0	18,1	1,0	18,0	1,2	20,0	1,0
40,6	2,2	22,1	1,1	22,0	1,4	24,0	1,2
43,5	2,3	26,0	1,3	24,0	1,4	28,0	1,4
46,5	2,4	29,0	1,4	28,0	1,6	30,0	1,4
48,8	2,4	33,0	1,6	30,0	1,7	34,0	1,6
53,4	2,6	35,0	1,7	32,1	1,7	40,0	1,8
55,9	2,6	39,3	1,8	34,0	1,8	44,0	2,0
58,0	2,7	43,0	2,0	36,0	1,9	52,0	2,4
62,2	2,8	47,0	2,1	40,0	2,0	54,0	2,5
64,2	2,8	50,1	2,3	42,0	2,1	58,0	2,6
69,4	2,9	54,1	2,4	44,1	2,2	64,0	2,8
74,3	3,1	56,0	2,5	46,0	2,2	70,0	3,0
79,4	3,2	60,0	2,6	50,1	2,3	72,0	3,1
86,8	3,4	65,1	2,8	52,0	2,4	80,1	3,3
91,9	3,5	69,1	2,9	54,1	2,4	88,1	3,5
98,6	3,7	72,1	3,0	56,0	2,5	90,0	3,5
		74,0	3,1	58,0	2,5	94,0	3,6

107,0	3,9	78,0	3,2	62,1	2,6	100,0	3,8
118,6	4,1	82,0	3,3	64,0	2,7	104,0	3,9
132,2	4,4	84,1	3,4	66,0	2,8	106,0	4,0
142,8	4,7	87,3	3,5	68,0	2,9	108,0	4,0
152,1	4,8	89,0	3,5	72,0	2,9	114,1	4,2
162,4	5,0	91,0	3,6	74,0	3,0	115,4	4,2
174,5	5,2	94,0	3,7	76,0	3,1	118,0	4,3
184,9	5,3	100,0	3,9	78,0	3,2	120,0	4,3
193,0	5,5	104,0	4,0	80,0	3,3	124,0	4,4
204,1	5,7	108,0	4,1	84,0	3,4	128,0	4,5
210,8	5,9	112,0	4,3	86,0	3,4	130,0	4,5
221,5	6,0	116,1	4,5	90,0	3,5	136,0	4,6
231,3	6,1	119,0	4,6	92,0	3,6	138,0	4,7
239,5	6,3	121,0	4,7	94,0	3,7	140,0	4,7
245,7	6,4	121,1	4,7	96,0	3,9	144,0	4,8
261,3	6,7	122,0	4,7	98,1	4,0	146,0	4,8
266,8	6,7	124,0	4,8	100,0	4,0	148,1	4,9
274,2	6,9	125,0	4,8	102,0	4,1	150,0	4,9
268,4	7,0	126,0	4,9	104,0	4,1	152,0	4,9
279,9	7,2	128,0	5,0	106,0	4,2	158,0	5,0
293,5	7,3	129,1	5,0	108,0	4,3	160,0	5,1
305,9	7,5	130,0	5,0	110,1	4,4	164,0	5,2
319,6	7,7	130,6	5,1	109,0	4,5	168,0	5,3
329,7	7,8	125,1	5,2	107,0	4,5	169,8	5,4
334,6	8,0	120,1	5,5	102,9	4,5	169,0	5,4
340,1	8,1	117,5	5,6	72,6	4,5	160,0	5,8
344,5	8,3	92,7	6,0	59,6	4,5	101,8	8,0
349,9	8,4	51,0	7,0	57,2	4,6	36,3	9,5
348,0	8,5			52,6	4,6		
150,0	10,5			51,1	4,7		