



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

JOSÉ DO CARMO BEZERRA JUNIOR

**ALVENARIAS DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS REVESTIDAS DE
GESSO SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DE
PROCESSOS DE INCÊNDIO**

Recife

2019

JOSÉ DO CARMO BEZERRA JUNIOR

**ALVENARIAS DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS REVESTIDAS DE
GESSO SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DE
PROCESSOS DE INCÊNDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

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

Orientador Externo: Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

B574a Bezerra Junior, José do Carmo.

Alvenarias de vedação em blocos cerâmicos revestidas de gesso submetidas a elevadas temperaturas características de processos de incêndio / José do Carmo Bezerra Junior. - 2019.

91 folhas, il., gráf. e tab.

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

Orientador Externo: Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2019.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Incêndio em edificações. 3. Alvenaria. 4. Blocos cerâmicos. 5. Gesso. I. Oliveira, Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-479



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**ALVENARIAS DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS REVESTIDAS
DE GESSO SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS
CARACTERÍSTICAS DE PROCESSOS DE INCÊNDIO**

Defendida por

José do Carmo Bezerra Júnior

Considera o candidato APROVADO

Recife, 27 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira _____
(orientador interno – UFPE)

Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva _____
(orientador externo – UFPE)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Jéferson do Rêgo Silva - UFPE
(orientador externo)

Prof.^a Dr.^a Eliana Cristina Barreto Monteiro – UPE
(examinadora externa)

Dr. Cristiano Corrêa – CBMPE
(examinador externo)

À minha querida mãe Geraldina, pelos ensinamentos e incentivos ao longo de toda minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Geraldina e José, por todo amor e cuidado, proporcionados ao longo da vida, que contribuíram para a conclusão de mais esta etapa da minha trajetória.

Ao Major do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco e Doutor Cristiano Corrêa, por toda motivação e ajuda cedida ao longo desses três anos de estudo e pesquisas experimentais. Sem eles não seria possível a conclusão deste trabalho..

Aos meus comandantes e amigos do CBMPE: Tenente-Coronel Fernandes, Tenente-Coronel César, Major Marcelo, Capitão Paulo, Capitão Roberto Menezes, Sargento Oliveira, Sargento Silva, Sargento Isnar, Soldado Santa Cruz e Arquiteto Cláudio Selva pela ajuda e torcida ao longo de todo o curso.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da UFPE: Prof. Jeferson Rêgo, Prof. Tiago Ancelmo, Prof. Arnaldo Carneiro, Prof.^a Silvana Bastos, Prof. Osvaldo e Prof. Leonardo Guimarães, por todos os ensinamentos proporcionados durante as disciplinas curriculares, ensaios e escrita desta dissertação..

Ao grande engenheiro e amigo Cristóvão Diniz, por toda ajuda durante a instrumentação e realização dos ensaios, conhecimentos transmitidos e, principalmente, motivação nos momentos mais difíceis dessa etapa.

Aos técnicos do laboratório de estruturas do Departamento de Engenharia Civil da UFPE: Cazuza, Nadinho e Ezequiel, por toda força de trabalho e orientações, tão essenciais na preparação dos corpos de prova e execução dos ensaios.

Aos profissionais Maciel e Josenildo, pela confecção e preparo dos corpos de prova utilizados no ensaio.

Ao Sr. Cleandro, Proprietário da Lajeiro Gesso, por ter cedido gentilmente material e mão de obra para a execução das paredes de blocos de gesso compactos.

Ao Sr. Cleandro, Proprietário da Lajeiro Gesso, por ter cedido gentilmente material e mão de obra para a execução das paredes de blocos de gesso compactos.

RESUMO

Não raramente os incêndios em edificações acometem os grandes centros urbanos, dilapidando patrimônios e, por vezes, culminando em mortos e feridos. No Brasil, muitas edificações têm características construtivas similares às ibéricas, utilizando largamente elementos de alvenaria de vedação em blocos cerâmicos, com ou sem revestimento. Este trabalho se propõe a avaliar, experimentalmente, o comportamento de alvenaria em blocos cerâmicos de vedação, revestida com pasta de gesso, quando submetida a temperaturas decorrentes de incêndio padrão. O espaço e equipamentos utilizados na execução dos experimentos integram o laboratório de estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Seis paredes foram construídas utilizando-se blocos cerâmicos de numa olaria local e, após o período de cura, foram revestidas com pasta de gesso nas espessuras de 10, 15 e 20 mm em uma ou ambas as faces. Visando complementar a análise do gesso, enquanto sistema de compartimentação, foram construídas e ensaiadas três paredes em alvenaria de blocos de gesso compacto de espessuras 50, 70 e 100 mm. Por não possuírem função estrutural, todas as paredes foram ensaiadas com base nos critérios de resistência ao fogo da NBR 10636:1989. O aquecimento das paredes foi proporcionado por um forno elétrico previamente programado para comportar-se segundo a curva incêndio padrão ISO 834-1. Constatou-se, a partir dos resultados obtidos, que a aplicação do revestimento de pasta de gesso contribuiu para a melhoria no desempenho das paredes de blocos cerâmicos no tocante à estanqueidade e ao isolamento térmico. No entanto, comparando as paredes entre si, constatou-se que a melhoria no desempenho proporcionado pelas espessuras de 15 mm e 20 mm é pouco significativa em relação à de 10 mm. Logo, visando à segurança estrutural ponderada com a viabilidade econômica, conclui-se que 10 mm seria a espessura mais recomendada para revestimentos corriqueiros aplicados em ambientes que não apresentem riscos adjacentes.

Palavras-Chave: Incêndio em edificações. Alvenaria. Blocos cerâmicos. Gesso.

ABSTRACT

Not infrequently, fires in buildings affect large urban centers, dilapidating patrimonies and sometimes culminating in deaths and injuries. In Brazil many buildings have construction characteristics similar to the Iberian ones, using largely sealing masonry elements in ceramic blocks, whether with or without coating. This work proposes to evaluate experimentally the masonry behavior in ceramic sealing blocks, coated with gypsum paste, when subjected to temperatures due to standard fire. The space and equipment used in the execution of the experiments are part of the structure Laboratory of the Department of Civil Engineering of the Federal University of Pernambuco. Six walls were constructed using ceramic blocks from a local pottery, and after the ripening period, they were coated with plaster paste in thicknesses of 10, 15 and 20 mm on one or both sides. To complement the analysis of gypsum as a compartmentalization system, three walls were constructed and tested in masonry of compact gypsum blocks of thickness 50, 70 and 100 mm. Because they have no structural function, all walls have been tested on the basis of NBR 10636:1989 fire resistance criteria. The heating of the walls was provided by an electric furnace previously programmed to behave according to the standard fire curve ISO 834-1. It was found from the results obtained that the application of the gypsum pulp coating contributed to the improvement in the performance of ceramic block walls with regard to sealing and thermal insulation. However, when comparing walls, it was found that the improvement in performance brought about by the thickness of 15 mm, and 20 mm is quite low compared to that of 10 mm, and therefore, aiming at structural safety, considered the economic viability, it can be seen that the 10 mm would be to thick recommended for floor targets are applied in environments that do not pose adjacent risks.

Keywords: building fire. Masonry. ceramic blocks. plaster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parede externa (esquerda) e cômodo de apartamento incendiado (direita).....	21
Figura 2 – Fissura (esq.) e deslocamento de reboco (dir.) em alvenaria após incêndio	22
Figura 3 – Recorte da tabela de resistência ao fogo para alvenaria (Anexo B da IT n° 09 CBMSP)	24
Figura 4 – Curva ISO 834-1 também utilizada nos ensaios da NBR 10636	25
Figura 5 – Localização dos termopares por tipo de bloco	27
Figura 6 – Sistema montado por Nguyen e Meftah para ensaios de paredes com (dir.) e sem carregamento (esq.)	28
Figura 7 – Curvas de deslocamento do centro da parede para fora do plano	29
Figura 8 – Curvas tempo x temperatura das paredes experimentadas.....	30
Figura 9 – Distribuição das amostras de blocos cerâmicos ensaiados	31
Figura 10 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento	32
Figura 11 – Resistência à compressão dos prismas de blocos cerâmicos sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento.	32
Figura 12 – Resistência à compressão dos prismas de argamassa sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento	33
Figura 13 – Paredes utilizadas por Rosemann para teste de resistência ao fogo.....	34
Figura 14 – Organograma do programa experimental.....	35
Figura 15 – Municípios pernambucanos que compõem o polo gesso do Araripe	37
Figura 16 – Blocos de gesso vazados (esq.) e compactos (dir.)	40
Figura 17 – Forno elétrico trifásico utilizado nos ensaios de resistência ao fogo	43
Figura 18 – Controlador do forno.....	44
Figura 19 – Termosonda (esq.) e fio termopar (dir.).....	44

Figura 20 – Data logger Quantum X	45
Figura 21 – Data logger Spider 8.....	45
Figura 22 – Preparo de bloco antes do ensaio de compressão axial	47
Figura 23 – Bloco ensaiado à compressão, antes (esq.) e após a ruptura (dir.).....	48
Figura 24 – Pórticos para suporte das paredes	49
Figura 25 – Paredes durante (esq.) e após (dir.) aplicação de pasta de gesso	50
Figura 26 – Distribuição dos termopares nas faces externa (esq.) e interna (dir.) das paredes	52
Figura 27 – Instrumentos para fixação da parede ao forno	52
Figura 28 – Sistema utilizado como pêndulo no teste de estabilidade das paredes.....	54
Figura 29 – Blocos cerâmicos após ensaio de compressão axial	56
Figura 30 – Fissuras da parede 10C1 após o término do ensaio de resistência ao fogo.....	58
Figura 31 – Face exposta ao aquecimento da parede 10C1 após o ensaio de resistência ao fogo	58
Figura 32 – Parede 10C1 após teste de estabilidade.....	59
Figura 33 – Fissuras surgidas na superfície não exposta ao aquecimento da parede 10C2	61
Figura 34 – Face externa da parede 10C2 após o ensaio de resistência ao fogo	62
Figura 35 – Zona de aquecimento (Esq.) e borda (Dir.) da face exposta da parede 10C2 após o ensaio de resistência ao fogo	62
Figura 36 – Face interna (a, b) e externa (c) da parede 10C2 após ensaio de estabilidade	63
Figura 37 – Superfície interna da parede 15C1 um dia após o ensaio.....	65
Figura 38 – Fissuras surgidas na superfície externa da Parede 15C1.....	66
Figura 39 – Parede 15C1 após ensaio de estabilidade.....	67
Figura 40 – Fissuras da parede 15C2 após o término do ensaio de resistência ao fogo	69

Figura 41 – Face exposta ao aquecimento da parede 15C2 após o ensaio de resistência ao fogo	69
Figura 42 – Face interna (a) e externa (b,c) da parede 15C2 após realização do teste de estabilidade	70
Figura 43 – Fissuras vistas da face não exposta ao aquecimento da parede 20C1	72
Figura 44 – Face exposta ao aquecimento da parede 20C1 após o ensaio	73
Figura 45 – Parede 20C1 durante e após o teste de estabilidade	73
Figura 46 – Fissuras na face não exposta ao aquecimento da parede 20C2	75
Figura 47 – Superfície interna (a, c) e externa (b) da parede 20C2 após teste de estabilidade	76
Figura 48 – Parede 50G antes (a) e após (b, c) ensaio de resistência ao fogo	78
Figura 49 – Parede 70G antes e durante o ensaio de resistência ao fogo	80
Figura 50 – Fissuras vertical (esq.) e horizontal (dir.) registradas durante ensaio da parede 100G	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ocorrência de Incêndios no mundo no ano de 2016	19
Gráfico 2 – Comparativo do percentual de ocorrências de incêndios registrados pela CTIF e CBMPE.....	20
Gráfico 3 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 10C1	57
Gráfico 4 – Temperatura na face não exposta ao aquecimento – parede 10C1.....	57
Gráfico 5 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 10C2	60
Gráfico 6 – Temperatura na face não exposta ao aquecimento – Parede 10C2	60
Gráfico 7 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 15C1	64
Gráfico 8 – Temperatura da face não exposta ao aquecimento – Parede 15C1	64
Gráfico 9 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 15C2	68
Gráfico 10 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – Parede 15C2.....	68
Gráfico 11 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 20C1	71
Gráfico 12 – Temperatura da face não exposta ao aquecimento – parede 20C1.....	71
Gráfico 13 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 20C2	74
Gráfico 14 – Desenvolvimento da temperatura na face não exposta ao aquecimento – Parede 20C2.....	75
Gráfico 15 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 50G	77
Gráfico 16 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – parede 50G	77
Gráfico 17 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 70G	78
Gráfico 18 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – parede 70G	79
Gráfico 19 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 100G	80

Gráfico 20 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – Parede 100G	81
Gráfico 21 – Curvas de aquecimento das paredes de alvenaria em blocos cerâmicos	83
Gráfico 22 – Curvas de aquecimento das paredes de alvenaria em blocos compactos de gesso	83
Gráfico 23 – Curvas de aquecimento de todas as paredes ensaiadas (adaptado)	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comportamento das paredes ensaiadas por Nguyen e Meftah	28
Tabela 2 – Percentuais de consumo de gesso no Brasil	38
Tabela 3 – Características físicas da argamassa	42
Tabela 4 – Características construtivas das paredes ensaiadas.....	49
Tabela 5 – Localização dos termopares em cada face da parede	51
Tabela 6 – Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos cerâmicos.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	OS INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES: UM PROBLEMA GLOBAL E LOCAL ...	19
2.2	NORMAS SOBRE ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	22
2.3	CURVAS PADRÃO DE INCÊNDIO.....	25
2.4	COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SUBMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS	26
2.5	PESQUISAS NO BRASIL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ALVENARIA EM BLOCOS CERÂMICOS SUBMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS	30
2.6	GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
2.6.1	Gesso para revestimento de alvenaria	38
2.6.2	Proteção contra o fogo	39
2.6.3	Divisória em blocos de gesso.....	39
3	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	42
3.1	BLOCOS CERÂMICOS VAZADOS.....	42
3.2	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	42
3.3	GESSO	42
3.4	FORNO	43
3.5	TERMOPARES.....	44
3.6	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (DATA LOGGER)	45
4	MÉTODOS.....	46
4.1	MASSA SECA	46
4.2	MASSA ÚMIDA.....	46
4.3	DIMENSIONAL	46
4.4	ENSAIO À COMPRESSÃO.....	47
4.4.1	Blocos.....	47
4.4.2	Prismas	48
4.5	PAREDES	48
4.5.1	Execução.....	48

4.5.2	Instrumentação para ensaio	50
4.5.3	Ensaio	53
4.5.3.1	Estabilidade	53
4.5.3.2	Estanqueidade.....	54
4.5.3.3	Isolamento térmico.....	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS...	55
5.2	ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS	56
5.2.1	Parede 10C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 10 mm de gesso	56
5.2.2	Parede 10C2 – Ambas as faces revestidas com 10 mm de gesso	59
5.2.3	Parede 15C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 15 mm de gesso	63
5.2.4	Parede 15C2 – Ambas as faces revestidas com 15 mm de gesso	67
5.2.5	Parede 20C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 20 mm de gesso	70
5.2.6	Parede 20C2 – Ambas as faces revestidas com 20 mm de gesso	74
5.3	ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO COMPACTOS.....	76
5.3.1	Parede 50G – 50 mm de espessura.....	77
5.3.2	Parede 70G – 70 mm de espessura.....	78
5.3.3	Parede 100G – 10 mm de espessura.....	80
5.4	ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS PAREDES.....	82
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	85
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A descoberta e utilização do fogo constituem fatores importantes para a sobrevivência e organização dos seres humanos em sociedade. Quando foge ao controle, é capaz de proporcionar tragédias com danos materiais, humanos e sociais de difícil mensuração. Os grandes aglomerados urbanos, caracterizados pela elevada densidade demográfica e elevada esbeltez das edificações, são frequentemente acometidos por essas tragédias. Precariedade das rotas de fuga, dos sistemas de combate a incêndio e dos sistemas passivos de compartimentação horizontal e vertical são elementos catalisadores de tragédias.

Ono (2007) define compartimentação como “medida de proteção passiva que visa à contenção do incêndio em seu ambiente de origem e é obtida pela subdivisão do edifício em células capazes de suportar a ação da queima dos materiais combustíveis nelas contidos, impedindo o rápido alastramento do fogo”. A autora reforça a necessidade de ter a compartimentação como ferramenta imprescindível em favor da segurança contra incêndio e pânico nas edificações.

A compartimentação pode ser incorporada às edificações de duas maneiras: vertical e horizontal. Seito *et al.* (2008) caracterizam a compartimentação horizontal como o ato de seccionar o plano horizontal da edificação em diferentes células, visando confinar o fogo e impedir sua propagação para células adjacentes. Os autores ainda caracterizam a compartimentação vertical como ato de isolar os pavimentos sucessivos da edificação através do confinamento do fogo na célula onde se originou. Para a definição de ambas as formas de compartimentação, tem que se levar em conta: as características do incêndio e o tempo requerido de resistência ao fogo – TRRF da estrutura.

No Brasil, são diversos os materiais utilizados na execução de vedações verticais das edificações, por exemplo: blocos cerâmicos, blocos de concreto (vazados ou celulares), blocos de gesso, divisórias e painéis, e gesso acartonado (TEIXEIRA, 1990 *apud* TAGUCHI, 2010). Sabbatini (1984) define alvenaria de vedação como “componente complexo, utilizado na construção e conformado em obra, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa formando um conjunto rígido e coeso, [...] não sendo dimensionada para resistir a cargas além de seu peso próprio”. Bastante utilizada no Brasil, a alvenaria em blocos de concreto ou cerâmicos constitui uma forma de compartimentar os espaços internos das edificações, dentre outros fatores, por não exigir mão de obra especializada.

1.1 OBJETIVOS

Serão apresentados neste tópico o objetivo geral e os objetivos específicos necessários para alcançá-lo.

1.1.1 Objetivo geral

Investigar o comportamento, quanto ao isolamento térmico e estanqueidade, das alvenarias de vedação de blocos cerâmicos revestidas de pasta de gesso e das alvenarias de blocos de gesso submetidas à curva teórica tempo x temperatura característica de incêndio padrão ISO 834-1.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os blocos cerâmicos vazados utilizados na construção das paredes com base nos critérios da NBR15270-1 (2017) e NBR15270-2 (2017);
- Caracterizar os prismas de blocos cerâmicos vazados utilizados na construção das paredes com base nos critérios da NBR15270-1 (2017) e NBR15270-2 (2017);
- Executar seis paredes em alvenaria de blocos cerâmicos revestidas com diferentes espessuras de pasta de gesso;
- Submeter as seis paredes, individualmente, à curva de aquecimento característica de incêndio padrão ISO 834-1;
- Analisar a influência das diferentes espessuras de revestimento de gesso no tempo requerido de resistência ao fogo das paredes de alvenaria em blocos cerâmicos vazados;
- Analisar a influência da espessura dos blocos no tempo requerido de resistência ao fogo das paredes de alvenaria de blocos de gesso compactos;

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Após essa breve introdução contendo a apresentação do tema, objetivos e estrutura do trabalho, no Capítulo 2 encontram-se algumas referências teóricas que balizam esta pesquisa.

O Capítulo 3 descreve os materiais e equipamentos utilizados, começando pela coleta e descrição dos blocos cerâmicos, argamassa e gesso utilizados, bem como passando pelos equipamentos de mensuração e forno utilizados.

O método utilizado e as normas que nortearam os ensaios e experimentos são apresentados no Capítulo 4 deste documento.

Os resultados dos ensaios em blocos e paredes são apresentados, utilizando a ordem cronológica de acontecimento dos eventos, sendo esta a pauta do Capítulo 5.

As principais conclusões e recomendações são apresentadas no Capítulo 6.

Finalmente, as referências bibliográficas estão no final do documento, escritas em espaço próprio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados tópicos como: incêndios em edificações, normas sobre ensaios da alvenaria em situação de incêndio, curvas padrão de incêndio, além das aplicações do gesso na construção civil e suas propriedades relativas à proteção contra fogo.

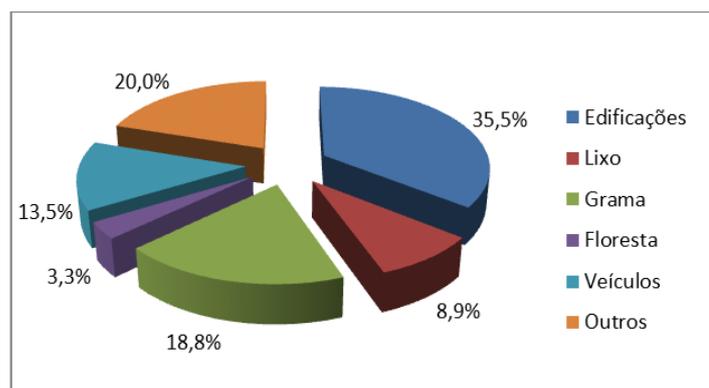
2.1 OS INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES: UM PROBLEMA GLOBAL E LOCAL

Os incêndios em edificações provocam prejuízos de diferentes formas: financeira, social e humana, sendo estas últimas de difícil ou impossível mensuração. Coadunando com o aspecto financeiro, Braga (2008) faz a seguinte afirmação com relação a incêndios ocorridos em âmbito mundial:

Devido ao incêndio ser um problema de grande magnitude em todo mundo, com perdas diretas avaliadas em 0,1% do Produto Interno Bruto (PIB) para países como Japão, Espanha e Polônia, até quase 0,3% do PIB para países como Áustria e Noruega [...]

A *International Association of Fire and Rescue Services (IAFRS)*, órgão mundial reconhecido através de seu centro de estatísticas de incêndio, elaborou um relatório denominado *World Fire Statistics - Report nº 23* no ano de 2018 o qual apresenta um levantamento estatístico dos tipos de incêndios ocorridos no mundo em 2016, baseado em dados fornecidos por 32 países associados. O gráfico 1 apresenta a proporção de cada uma das categorias de incêndio.

Gráfico 1 – Ocorrência de Incêndios no mundo no ano de 2016

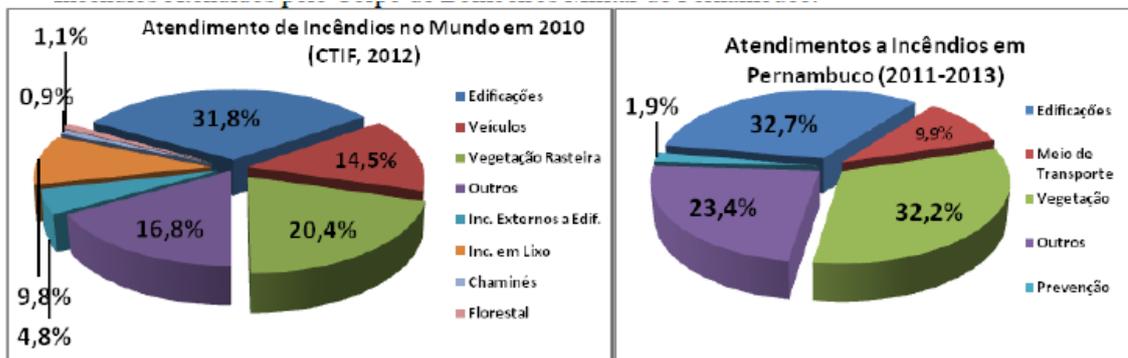


Fonte: IAFRS – CTIF (2018), adaptado e com tradução livre do autor

Cabe à categoria incêndio em edificações pouco mais de 1/3 do total de incêndios ocorridos no mundo, deixando mais evidente a necessidade de conhecê-la nos mais diversos aspectos. Vale salientar que não só o Brasil está fora das estatísticas, mas também outros grandes países da América Latina, como Argentina e México.

Em se tratando do Brasil, Correa (2018) realizou uma análise comparativa (Gráfico 2) entre os percentuais de incêndios ocorridos em vários países, devidamente registrados no *World Fire Statistics* (2012) e os ocorridos em Pernambuco, registrados pelo Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco – CBMPE no triênio 2011-2013.

Gráfico 2 – Comparativo do percentual de ocorrências de incêndios registrados pela CTIF e CBMPE



Fonte: Correa (2018)

Após análise de ambos os gráficos, conclui-se que, dentre as várias modalidades de incêndios analisadas, a que acomete as edificações é a mais recorrente, inclusive apresentando valores percentuais quase idênticos em âmbitos global e local: 31,8% e 32,7% respectivamente.

Atualmente, não existe no país órgão responsável por catalogar, tratar e tornar públicos os dados relativos a incêndios ocorridos nos 26 entes federados, só sendo possível obtê-los individualmente junto ao corpo de bombeiros de cada estado. O Conselho Nacional dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil – LIGABOM sugeriu às corporações a utilização de um relatório de ocorrências unificado de modo a uniformizar e viabilizar a coleta e divulgação das informações.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) possui um número bastante elevado de edificações construídas em alvenaria, sistema construtivo definido por Pitanga (2016) como material heterogêneo formado pela presença da unidade (blocos ou tijolos) e das juntas de argamassa vertical e horizontal. É muito comum a utilização de blocos de vedação como função estrutural, tanto em pequenas residências unifamiliares como em edifícios

multifamiliares do tipo caixão, muitos desses foram construídos a partir da década de 70, período em que as normas não faziam restrições quanto ao uso de blocos de vedação para fins estruturais (SILVA, 2016). Oliveira *et al.* (2017) definem esse tipo de padrão construtivo (alvenaria estrutural com blocos de vedação) como alvenaria resistente e afirma que na RMR existem cerca de 6.000 edifícios nessa condição abrigando cerca de 7.000 pessoas, o que corresponde a aproximadamente 7% da população da RMR. Preocupados com a quantidade de casos de desabamento envolvendo edifícios em alvenaria resistente na RMR, Oliveira *et al.* (2017) realizaram um estudo experimental composto de uma série de ensaios de resistência à compressão de blocos, prismas e pequenas paredes em alvenaria (com e sem elementos de reforço), a fim de avaliar o comportamento quando submetidas a carregamentos similares aos esforços provenientes das cargas permanentes e acidentais das edificações.

Silva (2016), visando à coleta de dados para sua dissertação, visita diversos edifícios em alvenaria resistente que foram acometidos por incêndio e analisa os danos causados às respectivas estruturas, porém com foco nos elementos de alvenaria. Dos edifícios visitados, destaca-se um localizado em Jaboatão dos Guararapes, cuja figura 1 apresenta os danos causados à alvenaria em virtude de uma explosão ocorrida no apartamento térreo utilizado para armazenar fogos de artifício; e o segundo acometido por um incêndio no terceiro pavimento, resultando em fissuras na alvenaria de vedação e deslocamento do reboco, conforme pode ser observado na figura 2. Vale salientar que, para ambas as edificações, foram empregados blocos cerâmicos vazados de oito furos e argamassa de cimento e areia para assentamento, ou seja, padrão construtivo similar ao utilizado na confecção das paredes, no caso deste trabalho. O autor ainda reforçou o fato de este incêndio não ter ocorrido no pavimento térreo como um dos fatores que evitou o desabamento do mesmo.

Figura 1 – Parede externa (esquerda) e cômodo de apartamento incendiado (direita)



Fonte: Silva (2016)

Figura 2 – Fissura (esq.) e deslocamento de reboco (dir.) em alvenaria após incêndio



Fonte: Silva (2016)

A construção de edificações multifamiliares em alvenaria resistente, acima de 2 pavimentos, passou a ser proibida na Cidade do Recife a partir da publicação da Lei Municipal N° 17.184/2006. Silva (2016) traz os seguintes argumentos que justificam a preocupação com edificações de múltiplos pavimentos construídas em alvenaria resistente:

A falta de controle de qualidade dos procedimentos construtivos e a inexistência de norma técnica específica, impulsionadas pela necessidade de redução de custos, contribuíram para fragilizar esse tipo de edificação. Sem o estabelecimento de padrões de confiabilidade estrutural aceitáveis, essas edificações foram executadas de forma empírica.

Silva ressalta ainda as intervenções realizadas pelos usuários sem o devido planejamento e acompanhamento técnico, visando à abertura de novos vãos nos pavimentos através da retirada de paredes que desempenham função estrutural, fazendo com que surjam na estrutura solicitações diferentes daquelas previstas.

2.2 NORMAS SOBRE ALVENARIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A alvenaria, devido a sua vasta utilização nas construções e também variabilidade quanto à composição dos materiais, tem sido objeto de estudo para diferentes linhas de pesquisas, principalmente quanto ao desempenho acústico e térmico com o advento da NBR 15575 (2013). Entretanto, com relação ao desempenho das alvenarias, quando expostas a temperaturas características de processo de incêndio, ainda existem barreiras a serem superadas, tais como: recursos para realização dos ensaios, variedade da matéria-prima que compõe os elementos da alvenaria e a falta de curvas de aquecimento padrão desenvolvidas

nacionalmente. Coelho (2017, p. 22) acrescenta que “a resistência de alvenarias ao fogo é algo bem mais inovador para a indústria da construção, que carece de especificações técnicas consolidadas para o adequado desempenho das paredes nas situações de incêndio”.

A NBR 10636 (1989), única norma técnica nacional que estabelece procedimentos de ensaios e critérios para classificação das paredes divisórias sem função estrutural, define a resistência ao fogo desses elementos como propriedade de suportar o fogo e proteger contra a sua ação mantendo a estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico. Vale salientar que a referida norma foca apenas no desempenho da parede com relação aos critérios normativos, não fazendo distinção quanto ao tipo de material que a compõe. O aquecimento é proporcionado por um forno elétrico, cuja temperatura deve variar com o tempo conforme a seguinte expressão:

$$T-T_0=345.\log(8t+1) \quad (1)$$

Onde:

T = é a temperatura no interior do forno (°C)

T₀ = é a temperatura no interior do forno no início do ensaio (°C)

t = é o tempo de ensaio (minutos)

Segundo Costa e Silva (2006), é usual estabelecer a resistência ao fogo dos elementos construtivos de edifícios urbanos com base em curvas padrão de aquecimento para fins de normatização, tendo em vista as dificuldades em operacionalizar diversos ensaios que reproduzam as características reais, em termos de carga de incêndio, ventilação e física dos elementos construtivos em estudo. Quando o tempo de resistência for determinado dessa forma padronizada, será então chamado de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF. A NBR 14431 (2001) estabelece o TRRF para os diversos tipos de edificações, de acordo com o tipo de ocupação e aspectos construtivos, como por exemplo, área construída e número de pavimentos. O TRRF ainda está intimamente relacionado ao risco de incêndio e suas consequências.

Alguns fatores são responsáveis diretamente pela diferenciação entre os incêndios. São eles: carga de incêndio, grau de ventilação e características do elemento de compartimentação. Desses três, apenas o elemento de compartimentação será abordado. Mais precisamente: a alvenaria composta de blocos cerâmicos.

Dependendo do desempenho das paredes durante o ensaio de resistência ao fogo, com relação aos critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, elas podem ser classificadas nas seguintes categorias: corta-fogo (CF), quando aprovada nos três critérios, ou pára-chamas (PC), caso não tenha atendido apenas ao critério de isolamento térmico. Além da categoria, CF ou PC, um grau de resistência ao fogo é atribuído à parede, relativo ao tempo de ensaio (minutos) no qual os corpos de prova satisfazem os critérios de resistência correspondentes à sua categoria. Os graus de resistência ao fogo são os seguintes: 360, 240, 180, 120, 90, 60, 45, 30 e 15.

A NBR 14432 (2001) apresenta as exigências mínimas que devem possuir os elementos construtivos das edificações, quanto ao tempo requerido de resistência ao fogo, de acordo com o tipo de ocupação da edificação: residencial, comercial, educacional; bem como características construtivas: altura da edificação e do subsolo. O Corpo de Bombeiros Militar de São Paulo possui a instrução técnica – IT n°09 (2019) que estabelece critérios para a segurança estrutural contra incêndio, complementando a NBR 14432 em seu Anexo B, que traz uma tabela com diversos valores de TRRF para diferentes composições de alvenaria. Por exemplo: traço e espessura da argamassa de assentamento, traço e espessura da argamassa de revestimento, tipo de bloco/tijolo, entre outros. A figura 3 mostra um recorte do Anexo B da NBR 14432 para alvenaria composta de blocos cerâmicos de oito furos.

Figura 3 – Recorte da tabela de resistência ao fogo para alvenaria (Anexo B da IT n° 09 CBMSP)

Paredes ensaiadas (*)		Características das paredes										Resultado dos ensaios					
		Traço em volume da argamassa do assentamento			Espessura média da argamassa de assentamento (cm)	Traço em volume de argamassa de revestimento					Espessura de argamassa de revestimento (cada face) (cm)	Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Tempo de atendimento aos critérios de avaliação (horas)			Resistência ao fogo (horas)
						Chapisco		Emboço						Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
		Cimento	Cal	Areia	Cimento	Areia	Cimento	Cal	Areia								
Paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos (dimensões nominais dos tijolos 10 cm x 20 cm x 20 cm (massa 2,9 Kg))	Meio tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	13	150	≥ 2	≥ 2	2	2
	Um tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	23	300 (**)	≥ 4	≥ 4	≥ 4	> 4

Fonte: adaptado de CBMSP (2019)

Foram destacadas, na tabela da figura 3, as características de TRRF referentes à alvenaria de meia vez (tijolos assentados sobre a menor espessura), por ser o tipo de alvenaria de vedação mais utilizado na Região Metropolitana de Recife e também o que mais se assemelha à forma como foram construídos os corpos de prova ensaiados. Pode-se observar que o tempo mínimo que a parede deve atender aos critérios de integridade (estabilidade), estanqueidade e isolamento térmico é de 2h (120 minutos). Fazendo analogia com a

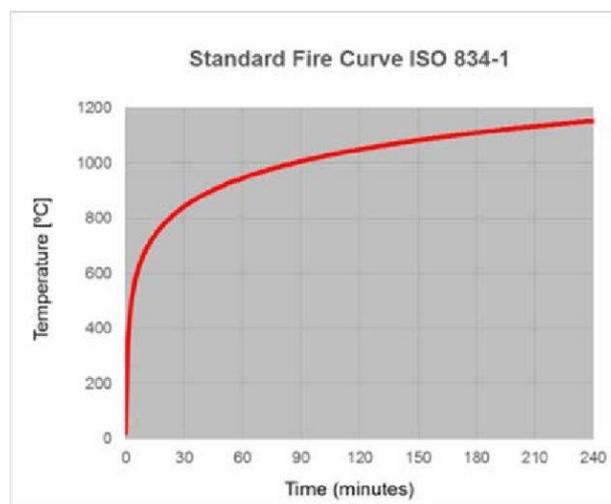
classificação proposta pela NBR 10636 (1989), as mesmas paredes são classificadas como CF120.

2.3 CURVAS PADRÃO DE INCÊNDIO

Conforme tratado anteriormente, as curvas padrão de incêndio não representam incêndios reais, pois são construídas com base em modelos matemáticos, os quais utilizam valores fixos para parâmetros de extrema relevância no desenvolvimento de um incêndio, ou seja, não consideram as peculiaridades do cenário, tais como fator de ventilação e fator térmico de compartimentação. A principal diferença entre as curvas de incêndio natural e as de incêndio padrão é o fato de a primeira possuir dois ramos, um ascendente (fase de aquecimento) e um descendente (fase de resfriamento), enquanto que a segunda possui apenas o ramo ascendente, o qual permanece praticamente constante a partir de certa temperatura (MOLINA, 2012). Vale salientar que, na construção dessas curvas, considera-se a carga de incêndio (combustível) composta por material celulósico.

A equação utilizada pela NBR 10636 (1989) para gerar a curva padrão de incêndio (figura 4), empregada no ensaio de resistência ao fogo dos elementos construtivos é a mesma usada pela ISO 834-1 (1999), que foi criada pela *International Organization for Standardization* em 1975. As hipóteses e condições do cenário de incêndio adotadas para gerar a curva foram: fator de ventilação igual a $0,04 \text{ m}^{1/2}$ e fator térmico de compartimentação igual a $1160 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot ^\circ\text{C})$ (COSTA e SILVA, 2006).

Figura 4 – Curva ISO 834-1 também utilizada nos ensaios da NBR 10636



Fonte: DŽADIĆ (2018)

2.4 COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SUBMETIDAS A ALTAS TEMPERATURAS

Nesta seção serão abordados estudos internacionais relevantes sobre o comportamento de alvenarias de blocos cerâmicos submetidas a elevadas temperaturas características de processo de incêndio.

Bonitese (2007) faz considerações relevantes com relação à propriedade dos elementos construtivos quando expostos a elevadas temperaturas:

O comportamento de um elemento estrutural exposto ao fogo depende tanto das propriedades térmicas e mecânicas de seus materiais, como da sua composição química. [...] As propriedades termofísicas e mecânicas da maioria dos materiais podem ser alteradas com o aumento da temperatura. [...] Na elevação de temperatura, alguns materiais passam por mudanças físico-químicas, enquanto a maioria das propriedades depende da temperatura e sensibilidade a alguns parâmetros verificados em testes, como a taxa de liberação de calor, deformação, gradiente de temperatura, e outros. (BONITESE, 2007, p. 99).

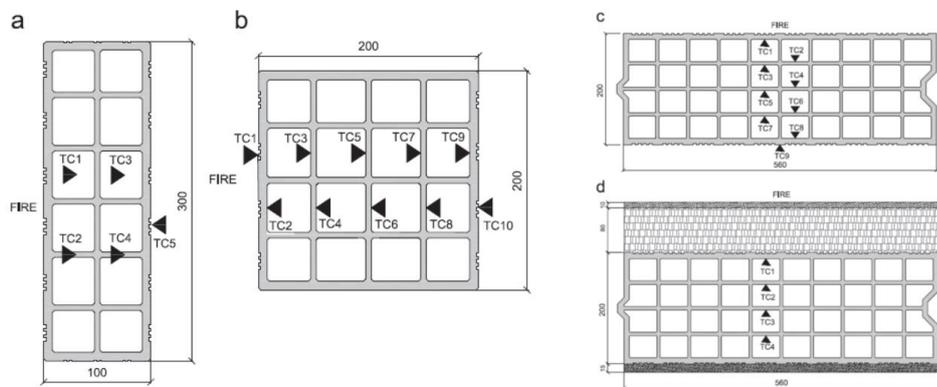
Os parâmetros citados no final das considerações de Bonitese serão de extrema relevância para análise do comportamento das alvenarias durante e após os ensaios de resistência ao fogo.

Gradiente de temperatura, diferença de temperatura entre dois pontos de um mesmo sólido, está intimamente ligado à inércia térmica de um corpo, definida por Sales (2016) como a capacidade térmica de um corpo armazenar e dissipar calor, no intervalo de tempo entre receber o fluxo de calor e aumentar a temperatura efetivamente. Certas características físicas das paredes, como espessura, densidade, calor específico e condutibilidade térmica têm grande influência para aumentar ou diminuir a inércia térmica de um sólido. Considerando a importância que os elementos de vedação possuem na segurança contra incêndio das edificações, ao proporcionar a compartimentação horizontal de um pavimento, é desejável que as paredes sejam construídas com componentes capazes de aumentar sua inércia térmica e, conseqüentemente, reduzir a transferência de calor. (BEALL, 1997 *apud* SALES, 2016).

Nguyen e Meftah (2012) analisam o comportamento das alvenarias de blocos cerâmicos vazados quando expostas a altas temperaturas. A primeira parte da pesquisa consiste na realização de ensaios experimentais de quatro paredes de alvenaria, compostas de blocos e revestimentos distintos. A segunda parte consiste na modelagem numérica das referidas paredes, para fins de comparação e validação dos resultados experimentais. Os autores consideram as paredes em duas situações distintas: paredes sem função estrutural e

paredes com função estrutural. As primeiras são avaliadas quanto aos critérios de estanqueidade e isolamento térmico; enquanto que as com função estrutural, além dos critérios já citados, são avaliadas também quanto à estabilidade estrutural. Durante os ensaios, buscou-se avaliar a influência da orientação dos vazados dos blocos (horizontal e vertical), das condições de carregamento e do tipo de vinculação no comportamento termomecânico das paredes. Também foram avaliados alguns parâmetros físicos da parede, tais como: condutividade térmica, saturação d'água, rigidez e resistência mecânica dos blocos cerâmicos e argamassa (materiais constitutivos da parede). As amostras apresentam cada uma das seguintes configurações: 1) parede esbelta não carregada; 2) parede espessa não carregada; 3) parede espessa carregada e com junta fina de argamassa tradicional; e 4) parede espessa carregada e com junta fina de argamassa adesiva. Vale salientar que as paredes não carregadas tiveram os blocos assentados com furos na horizontal, ao passo que os blocos das carregadas foram assentados com furos na vertical. Além dos critérios de avaliação citados anteriormente, foram observados: a evolução da temperatura da parede no tempo e espaço; a ocorrência de *spalling* na superfície exposta ao calor; forma de colapso e padrão geral de deformação. A curva tempo x temperatura utilizada nos ensaios possui equação similar ao da ISO 834-1. O monitoramento da temperatura em ambas as faces e entre os orifícios dos blocos foi realizado por termopares localizados a 10 cm das superfícies e nos septos das amostras (figura 7). A figura 8 apresenta o esquema de montagem para realização dos ensaios nas duas condições: parede carregada e parede não carregada.

Figura 5 – Localização dos termopares por tipo de bloco

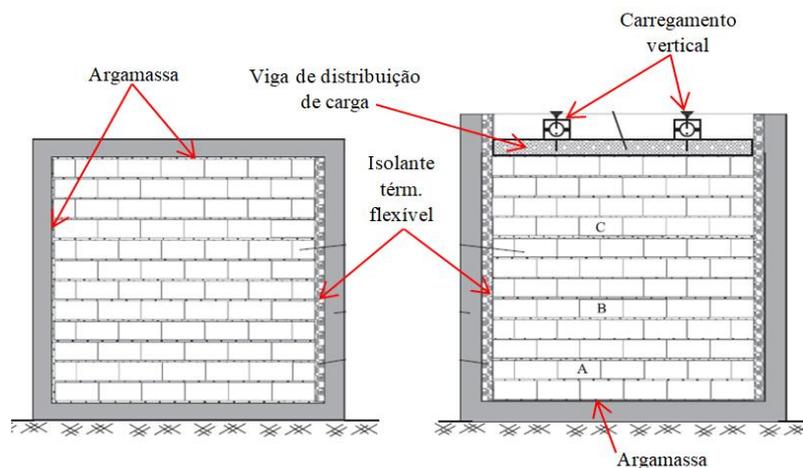


Fonte: Nguyen e Mefteh (2012)

Todas as paredes ensaiadas possuem as dimensões: 3m de largura por 3m de altura. As duas amostras representadas na figura 6 (com e sem carregamento) possuem bordas, sendo

algumas bordas vinculadas à moldura metálica através de argamassa (espessura variando de 10 a 15 mm) e outras separadas da moldura por uma camada de isolante térmico flexível, de modo a simular a forma como as paredes são executadas nas construções. As cargas utilizadas nas paredes com função estrutural foram 90 kN/m e 130 kN/m, as quais correspondem a 70% da carga vertical máxima suportada pelas paredes de edifícios de 3 e 5 pavimentos respectivamente.

Figura 6 – Sistema montado por Nguyen e Meftah para ensaios de paredes com (dir.) e sem carregamento (esq.)



Fonte: Adaptado de Nguyen e Meftah (2012)

A amostra 4 (figura 5d) apresenta, como elementos adicionais de isolamento térmico, uma placa de gesso de 10 mm e entre esta e o bloco, uma camada de 80 mm de lã de rocha. A tabela 1 apresenta algumas características relevantes das paredes ao final do ensaio.

Tabela 1 – Comportamento das paredes ensaiadas por Nguyen e Meftah

teste	tempo para falha (min.)			Colapso estrutural	Deflexão máxima (arqueamento de alvenaria) (mm)	forma de fragmentação (spalling)
	Temperatura média	Temperatura máxima	Perda da integridade			
nº1	55	43	-	-	67	não ocorreu
nº2	125	104	-	-	40	Generalizada. Superfície externa de todos os blocos
nº3	-	-	-	136	48	Superfície externa da 2ª e 3ª fiadas
nº4	-	-	60	60	6	Superfície externa dos blocos da metade inferior da parede

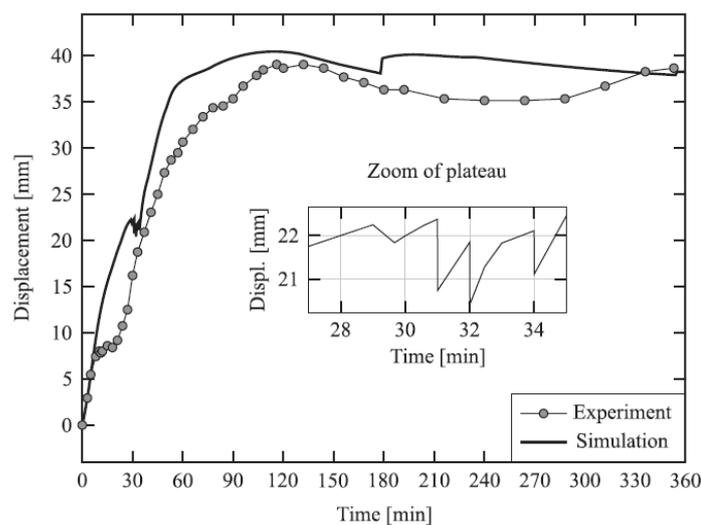
Fonte: Tradução livre de Nguyen e Meftah (2012)

A análise experimental realizada por Nguyen e Meftah (2012) gerou conclusões de grande relevância para esta pesquisa, tais como:

- No interior das alvenarias, o calor é transferido principalmente por convecção e radiação;
- A condução de calor, mudança de fase e advecção de vapor d'água são mecanismos que influenciam a resistência térmica e variam conforme a geometria dos blocos;
- Paredes espessas, ou seja, com largura superior a 14 cm, possuem maior probabilidade de ocorrência de *spalling* limitada à superfície mais externa;
- A diminuição da espessura das paredes estruturais, ocasionada pela fragmentação das paredes externas dos blocos, proporciona uma excentricidade no carregamento vertical fazendo surgir momentos fletores não previstos. Esse fenômeno tem influência direta na diminuição da estabilidade estrutural.

Na segunda parte do trabalho, Nguyen e Meftah (2013) continuam o estudo do comportamento das paredes com blocos de diferentes geometrias e formas de assentamento, porém enfatizando a modelagem computacional. Outros fenômenos foram avaliados na segunda parte do trabalho, como o encurvamento da alvenaria proporcionado pelo gradiente térmico entre ambas as faces das paredes. A figura 7 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos por simulação e experimentalmente.

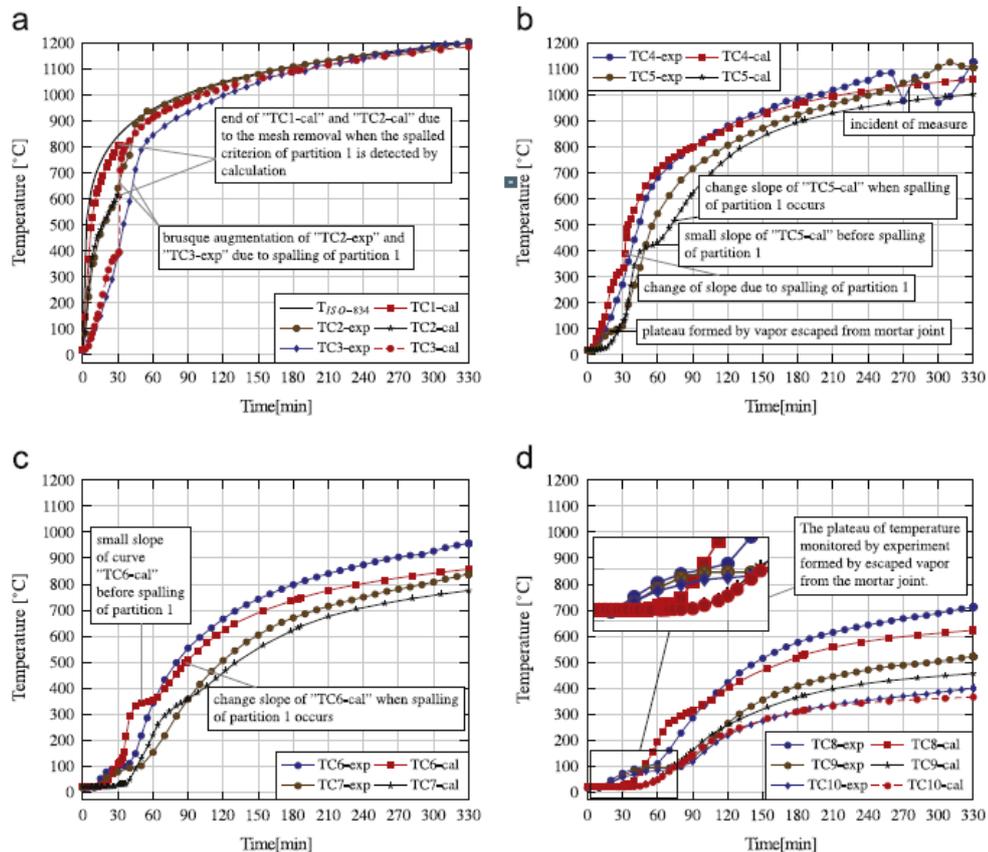
Figura 7 – Curvas de deslocamento do centro da parede para fora do plano



Fonte: Nguyen e Meftah (2013)

Os gráficos apresentados na figura 8 correspondem ao comparativo de temperaturas obtidas por simulação e as correspondentes medidas dos termopares durante os experimentos realizados.

Figura 8 – Curvas tempo x temperatura das paredes experimentadas



Fonte: Nguyen e Meftah (2013)

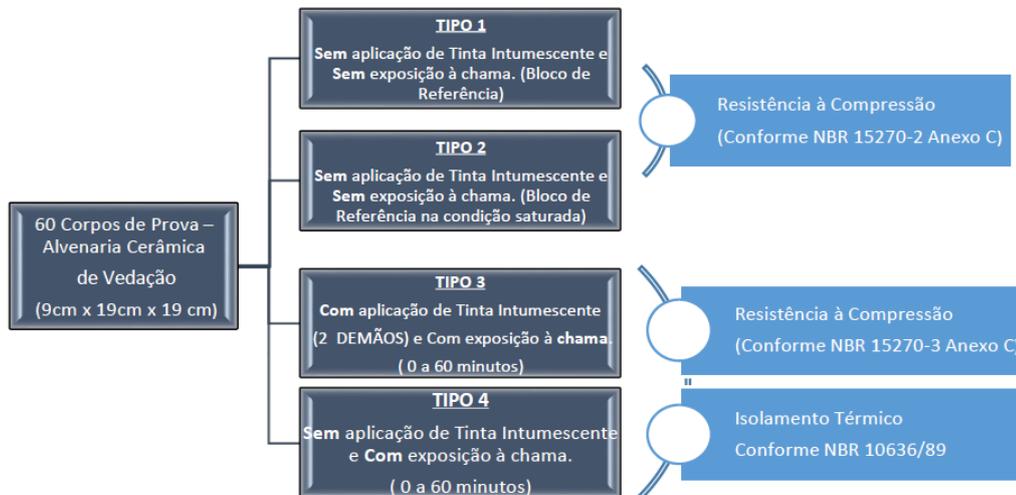
Com relação aos deslocamentos proporcionados pelo encurvamento da alvenaria, algumas dificuldades foram encontradas na tentativa de reproduzir esse fenômeno como modelo computacional. Podemos destacar a fragilidade das juntas de assentamento entre as fiadas, pois nas paredes com tijolos assentados com furos na horizontal a argamassa apresenta um preenchimento mais uniforme. Nos tijolos com furos na vertical, parte da argamassa desce pelos orifícios, por ação da gravidade, causando falhas nas juntas de assentamento entre os blocos, o que não pode ser reproduzido na simulação, logo contribui para justificar o melhor desempenho das paredes na simulação do que nos experimentos. Os autores também chamaram a atenção quanto à variação de características geométricas e físicas dos tijolos, as quais não foram consideradas na simulação computacional.

2.5 PESQUISAS NO BRASIL SOBRE O COMPORTAMENTO DE ALVENARIA EM BLOCOS CERÂMICOS SUBMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS

Sales (2016) realizou um estudo comparativo, no qual tomou 60 blocos cerâmicos vazados de oitos furos (similares aos desta pesquisa) e dividiu em 4 grupos de 15 blocos que

passaram por tratamentos distintos antes de serem ensaiados à compressão e ao isolamento térmico, conforme previsto na NBR 15270 e na NBR 10636 respectivamente. A figura 9 resume as condições nas quais ocorreram os ensaios.

Figura 9 – Distribuição das amostras de blocos cerâmicos ensaiados



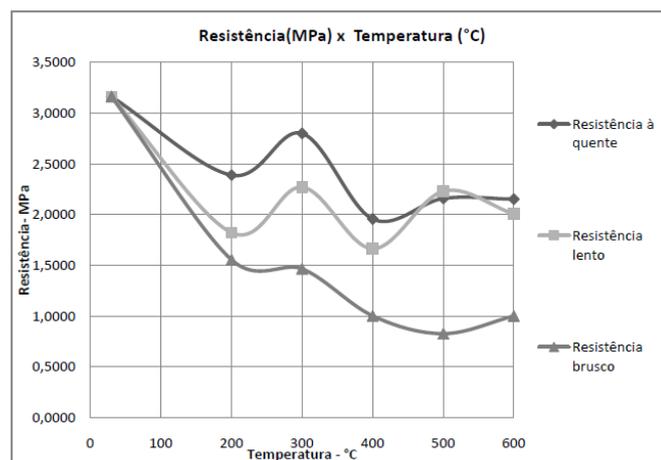
Fonte: Sales (2016)

A tinta intumescente aplicada às superfícies dos blocos nas condições de ensaio tipo 3 e tipo 4 foi a CKC 300, que entra em processo de expansão volumétrica por volta dos 200 °C. Para produção das chamas, foi utilizado um maçarico abastecido por gás GLP, o qual proporcionou chamas com temperatura de 1.200 °C, dirigidas diretamente à superfície dos blocos durante 60 minutos. Findados os ensaios e, após tratar os dados estatisticamente, o autor chegou às seguintes conclusões: a tinta intumescente proporcionou uma diminuição da temperatura nos pontos mais desfavoráveis da face exposta ao fogo, quando comparado com blocos não intumescidos; quanto à diferença de temperatura entre as faces dos blocos expostas e não expostas ao fogo, as amostras intumescidas apresentaram essa diferença 128% superior ao observado nos blocos não intumescidos; quanto à resistência à compressão, os blocos intumescidos apresentaram desempenho 70% superior em relação aos blocos sem proteção. Por fim, o autor ressaltou a importância da aplicação de tintas intumescentes em áreas de potencial reunião de público, alto risco de armazenamento de materiais combustíveis e locais de difíceis intervenções estruturais, como igrejas e sítios históricos.

Coelho (2017) realizou estudos acerca do comportamento das alvenarias de vedação compostas de blocos cerâmicos vazados de dimensões 9x19x19 cm assentados com o uso de argamassa de cimento industrializada. As amostras foram confeccionadas e ensaiadas no

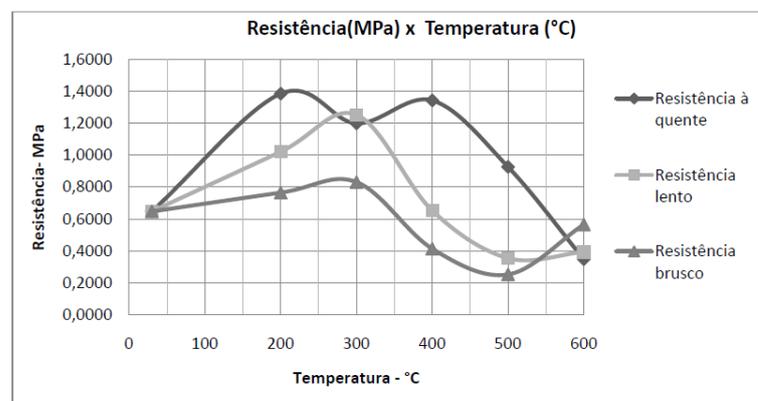
laboratório de estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Para qualificação e análise dos materiais componentes das alvenarias (blocos e argamassas), foram realizados ensaios de resistência à compressão residual dos blocos, prismas e argamassa, com duas maneiras distintas de resfriamento, lenta e brusca, incluindo na análise os tipos de ruptura e módulo de elasticidade. As figuras 10 e 12 apresentam resistência à compressão média dos blocos cerâmicos e prismas, para diferentes temperaturas e formas de resfriamento.

Figura 10 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento



Fonte: Coelho (2017).

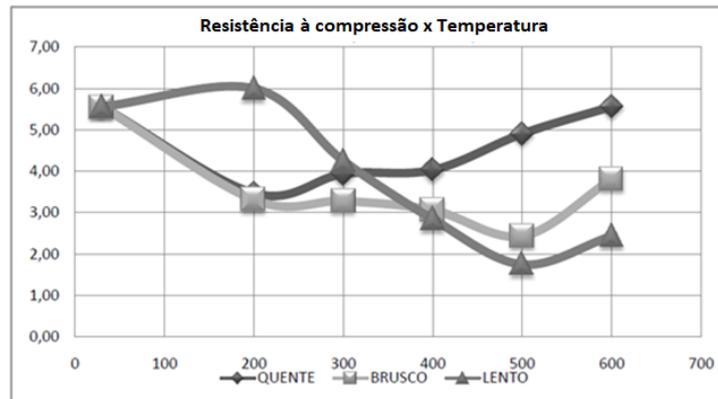
Figura 11 – Resistência à compressão dos prismas de blocos cerâmicos sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento



Fonte: Coelho (2017)

A figura 12 apresenta o comportamento dos prismas de argamassa nas diferentes condições de aquecimento e resfriamento utilizadas no ensaio.

Figura 12 – Resistência à compressão dos prismas de argamassa sujeitos a diferentes formas de aquecimento e resfriamento



Fonte: Coelho (2017)

Feita a análise dos comportamentos térmico e mecânico dos componentes individualmente, foram então confeccionadas seis paredes em moldes metálicos, cada uma com dimensões 1,5x1,5m e as seguintes características: duas paredes sem revestimento (tipo I), duas paredes revestidas em uma das faces (tipo II) e duas paredes revestidas em ambas as faces (tipo III). Todas ensaiadas, conforme previsto na NBR 10636 (1989). Para todos os aquecimentos, foi utilizado um forno elétrico alimentado por rede elétrica trifásica. A programação de aquecimento das paredes atende à curva Tempo x Temperatura descrita na referida norma. Considerando o critério de isolamento térmico, as paredes apresentaram os seguintes tempos de resistência ao fogo: tipo I - 56 minutos, tipo II - 67 minutos e tipo III - 79 minutos. Coelho (2017), dentre as conclusões de sua pesquisa, propõe duas equações: a primeira $y(x) = 0,073 \cdot x - 3,865$ ($r^2 = 0,992$) permite determinar a espessura $y(x)$ para um dado tempo “x” de resistência ao fogo da parede; e a segunda $y(x) = -4,307 \cdot x + 7,893$ ($r^2 = 0,934$) determina a espessura $y(x)$ para uma dada taxa de aquecimento “x”.

Rosemann (2011) analisou paredes de alvenaria estrutural compostas por blocos cerâmicos de dimensões 14 x 19 x 29 cm, quanto ao critério de isolamento térmico, através da comparação de resultados experimentais (segundo a NBR 5628) com métodos analítico-numéricos. Os blocos cerâmicos apresentaram resistência à compressão de 9 N/mm² (9 MPa). Foram executados 4 corpos de prova (paredes) com dimensões de 2,70 x 2,60m, com alternância entre faces revestidas de argamassa e vazados preenchidos com areia. A figura 13 mostra as faces externas das paredes com e sem revestimento. O aquecimento foi aplicado em uma das faces com o uso de lança-chamas alimentado por gás GLP. Na parte analítico-numérica, foram utilizados 2 métodos para a determinação da resistência ao fogo: o método

analítico do *Brick Industry Association*, baseado na espessura equivalente da parede; e o método dos elementos finitos, com o auxílio do software CAST3M, utilizando um modelo calibrado e considerando a condução como única forma de transferência de calor no interior dos blocos.

Figura 13 – Paredes utilizadas por Rosemann para teste de resistência ao fogo

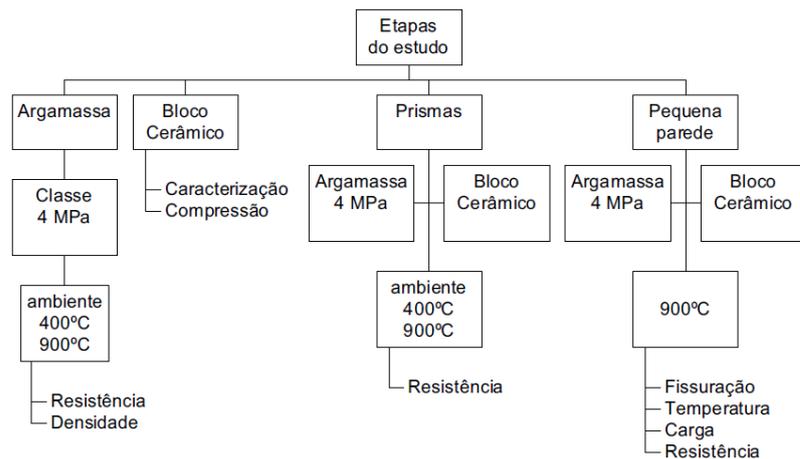


Fonte: Adaptado de Rosemann (2011)

O autor chegou à conclusão que a aplicação de revestimentos de argamassa nas faces da parede proporcionou um aumento de 80% na resistência ao fogo e, com o preenchimento de areia nos vazados principais dos blocos, o acréscimo de resistência foi de 100%. Tanto o revestimento quanto o preenchimento proporcionaram boas alternativas para aumentar a resistência ao fogo, a um custo relativamente baixo. Quanto aos métodos analítico-numéricos, o da *Brick Industry Association* apresentou valores 25% inferiores aos resultados experimentais, ao passo que o método de elementos finitos conseguiu reproduzir a transferência de calor através das paredes com valores muito próximos aos experimentais, mediante a calibração de um modelo.

Rigão (2012) ensaiou cinco pequenas paredes de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos (dimensões 0,90x1,00m), carregadas verticalmente por sistema composto de viga metálica, prensa hidráulica e bomba, a fim de atingir 78,22 KN/m, simulando a carga suportada por uma parede térrea de um prédio de 4 pavimentos. A argamassa utilizada nas amostras foi do tipo industrializada e com resistência nominal de 4 MPa. Os blocos cerâmicos, utilizados com dimensões 14x29x19cm, foram assentados com os furos na vertical. Os termopares foram posicionados não só nas faces expostas e não expostas das paredes, como também nos septos internos dos blocos que as compõem, para fins de acompanhamento da evolução do gradiente de temperatura. A figura 14 mostra o organograma que resume as etapas do programa experimental.

Figura 14 – Organograma do programa experimental



Fonte: Rigão (2012)

Seguem algumas das várias observações feitas por Rigão ao final do estudo:

- O nível de fissuração das paredes foi baixo e também não houve a passagem de gases aquecidos;
- As temperaturas na face não exposta ao aquecimento apresentaram crescimento próximo ao linear, fator esse atribuído à capacidade térmica da alvenaria e à perda de calor para o ambiente;
- As temperaturas medidas nos septos dos blocos utilizados na alvenaria alcançaram 180 °C no intervalo entre 70 e 107 minutos de ensaio;
- Na face não exposta ao aquecimento, a temperatura limite pontual (180 °C) foi alcançada, na superfície da argamassa, num tempo médio de 314 minutos e, na superfície do bloco, em 268 minutos. Já a temperatura limite média (140°C) foi alcançada em 237 minutos e 209 minutos nas superfícies da argamassa e do bloco respectivamente;
- Aos 900°C, a argamassa ficou totalmente deteriorada, ou seja, houve perda total de resistência;
- As argamassas tiveram perda de resistência mais acentuada que os prismas;
- Quanto à resistência à compressão, a parede ensaiada termicamente rompeu a uma tensão de 2,58 MPa, enquanto que a ensaiada à temperatura ambiente rompeu a 3,77 Mpa, ou seja, uma redução próxima a 32% devido à ação da temperatura.

Rodvalho, Simões e Correa (2017) realizaram um estudo, no qual simularam numericamente duas Paredes em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: a primeira sem

revestimento; e a segunda revestida em ambas as faces com 15 mm de argamassa. O resultado das simulações foi validado pelos resultados obtidos experimentalmente por Rosemann (2011). O principal objetivo dos autores foi estudar o gradiente térmico entre as duas faces das paredes de blocos cerâmicos, proporcionado pelo aquecimento de apenas uma delas. Os autores não simularam as paredes preenchidas de areia, também existentes na pesquisa de Rosemann, por entenderem que não constituem arranjos de alvenarias estruturais utilizados na prática e ainda reforçaram que as paredes revestidas de argamassa são mais susceptíveis ao fenômeno do arqueamento. A simulação numérica apresentou valores satisfatórios ao representar o comportamento das paredes. Reforçaram o efeito que a argamassa proporciona no isolamento térmico, ou seja, menor condução de calor entre as faces aquecida e não aquecida das paredes. Ao analisar os efeitos que as diferentes curvas de aquecimento causam nas alvenarias, constatou-se que curvas que proporcionam aquecimento mais rápido contribuem para o arqueamento da estrutura, uma vez que provocam o aquecimento excessivo da superfície exposta, enquanto que o fluxo de calor se mantém constante. Em contrapartida, a curva provoca um aquecimento de menor intensidade e diminui a diferença de temperatura entre as duas superfícies favorecendo a dilatação térmica axial.

2.6 GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gesso aglomerante aéreo, com diversas aplicações na construção civil, tem como matéria-prima a gipsita, sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Trata-se de um mineral compacto, de baixa dureza, pouco solúvel em água e que é bastante abundante no Brasil. A gipsita apresenta a seguinte composição química teórica: 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O (ROCHA, 2007).

A gipsita passa pelas seguintes etapas antes da calcinação: britagem, moagem grossa; estocagem; secagem; moagem fina e acondicionamento. O material é calcinado numa faixa de temperatura variando entre 140 °C e 160 °C, visando eliminar cerca de 75% da água de cristalização do mineral para obter o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). A equação balanceada mostra o processo de calcinação da gipsita (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014).



Segundo Leitão (2005), da gipsita são produzidos o gesso alfa (α) e o gesso beta (β), os quais apresentam processos distintos de fabricação e aplicação. No momento do desmonte da bancada, já é possível proceder com a classificação da gipsita, de acordo com a aplicação: o Tipo A destina-se à fabricação do gesso α para utilização em materiais odontológicos e ortopédicos e também como moldes para a indústria cerâmica; o Tipo B destina-se à fabricação do gesso beta β , utilizado em serviços de revestimento e fundição; e o Tipo C é usado para refugo ou para uso como corretivo de solo, na forma de gipsita, com partículas de 0 a 5 mm. Fatores, como tipo do minério e grau de impureza, têm influência direta na classificação do tipo de gesso.

Descobertas arqueológicas na Turquia revelaram que o gesso já era utilizado para fabricação de recipientes e rebocos (com cal) para fins decorativos, aproximadamente, no ano 9.000 a.C. As técnicas de calcinação já eram utilizadas pelo povo egípcio visando à utilização na construção (FERREIRA, 2017). Após 1885, o emprego do gesso na construção civil foi estimulado justamente pelo melhor controle que se obteve quanto ao retardo do tempo de pega (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005 *apud* FERREIRA, 2017).

No Brasil, a Chapada do Araripe é a região que possui maior área de exploração. Trata-se de uma bacia sedimentar, com área aproximada de 8000 km², composta pelos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí. Segundo Araújo (2004), Pernambuco é tido como o maior produtor, superando, portanto, o Ceará e o Piauí. Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade são os municípios pernambucanos que fazem parte da região, a qual responde por 95% da produção de gesso do país (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005).

Figura 15 – Municípios pernambucanos que compõem o polo gesseiro do Araripe



Fonte: Peres, Filho e Alencar (2004)

Em meados da década de 1980, as calcinadoras aumentaram o consumo de gesso, ao ponto de, no final da década, superarem a indústria cimenteira que, até então, era a maior consumidora do material no estado bruto. Em 1996, devido ao investimento em maquinário, técnicas mais eficientes de extração e incentivo financeiro do Estado, o Brasil extraiu mais de um milhão de toneladas de gipsita (ARAÚJO, 2004 *apud* FERREIRA, 2017).

Segundo o SINDUSGESSO (2017) *apud* Ferreira (2017), no polo do Araripe estão instaladas 42 mineradoras, 174 calcinadoras e 750 produtores de pré-moldados, sendo responsáveis por 84,3% de todo gesso produzido no país, favorecendo a geração de cerca de 13.900 empregos diretos e 69.000 indiretos. Leitão (2005) afirma que a região ocupa essa posição em função da magnitude de suas reservas, da alta qualidade do minério ali encontrado e pela instalação de um parque industrial de porte no local. Barbosa *et al.* (2014) informa que, comercialmente, o gesso β é mais consumido que o gesso α na construção civil, conforme pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Percentuais de consumo de gesso no Brasil

Aplicação	Consumo
Pré-moldado	61%
Revestimento	35%
Moldes cerâmicos	3%
Outros	1%

Fonte: Barbosa *et al.* (2014)

2.6.1 Gesso para revestimento de alvenaria

O gesso também pode ser utilizado como material para revestimento de paredes em substituição à argamassa de cimento, areia e cal. Não precisa de uma camada prévia de ancoragem (chapisco) antes de sua aplicação nem massa de regularização. Para utilização, é necessário estar numa consistência adequada, alcançada através de uma mistura água/gesso apropriada. Segundo Leitão (2005), quanto maior o valor da relação água/gesso, maior o tempo de pega da pasta; e Barbosa *et al.* (2014) afirmam que favorece o aumento de porosidade do material, depois de endurecido. Leitão (2005) ainda reforça que a pasta deve estar na faixa de consistência útil, a fim de garantir produtividade e qualidade no serviço de aplicação do revestimento e que, para estas condições, o consumo estimado de gesso na mistura é de 1,0 Kg/mm/m².

O revestimento em pasta de gesso possui algumas diferenças, positivas e negativas, comparando com o revestimento de argamassa de cimento, a saber: disponibilidade no Brasil, em especial na Região Nordeste (polo gesseiro do Araripe); apresenta menor valor unitário, 12% menor que o do cimento; por não necessitar de agregado em sua composição, ao término da aplicação tende a apresentar um acabamento mais refinado; possui bom desempenho acústico e térmico; boa resistência ao fogo; baixa resistência a riscos; não pode ser utilizado em áreas molhadas.

2.6.2 Proteção contra o fogo

Partindo do princípio de que o calor e os gases tóxicos são agentes causadores de risco aos usuários de uma edificação acometida por incêndio, e que, nesse contexto, o revestimento das paredes constitui o primeiro elemento de uma construção a ter contato com as chamas, logo é necessário escolher os materiais de forma adequada para que apresentem comportamento apropriado, quando expostos ao fogo.

Ono (2008) ressalta que, no momento da escolha, os materiais constituintes dos revestimentos devem apresentar pequena produção de calor e fumaça, bem como baixa taxa de propagação superficial de chamas. Durante um incêndio, o gesso está perdendo água de cristalização e sua temperatura não ultrapassa 140°C, contribuindo para que seja projetado como elemento de proteção contra o fogo (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008). Maiores detalhes serão observados nos resultados e conclusões desta pesquisa sobre o comportamento do revestimento de gesso, frente a elevadas temperaturas decorrente de processo de incêndio.

2.6.3 Divisória em blocos de gesso

Oriundo do gesso de fundição, as placas pré-moldadas de gesso são bastante utilizadas como elementos de vedação vertical, porém limitados a divisórias internas das edificações e sem função estrutural (FILHO, 2006). As divisórias são compostas por placas moduladas, vazadas ou compactas (standard), cujos requisitos de fabricação são estabelecidos pela NBR 16494:2017 e o procedimento de execução, inspeção e controle pela NBR 16657:2017. As espessuras possíveis para painéis compactos são 50 mm, 70 mm, 100 mm; aos painéis vazados, adicionam-se ainda as espessuras 76 mm e 80 mm. Para ambos os tipos, o

comprimento e a altura normativas são de 666 mm e 500 mm respectivamente. Uma das propriedades mais importantes dos blocos é referente a sua propensão à absorção d'água, podendo ser classificados como simples (indicados para áreas secas) ou hidrofugados (indicados para áreas molhadas, molháveis e secas). A fim de facilitar a identificação, de acordo com sua densidade e capacidade de absorção, os blocos são fabricados nas seguintes cores: a) verde: densidade alta; b) branco: densidade média; c) amarelo: densidade baixa; d) rosa: densidade alta para hidrofugados; e) lilás ou rosa: densidade baixa para hidrofugados; f) azul: densidade média para hidrofugados (figura 16).

Figura 16 – Blocos de gesso vazados (esq.) e compactos (dir.)



Fonte: Ecogesso e Comercial NP (2019).

Sobrinho *et al.* (2011) apresentam estudo, no qual comparam o desempenho das alvenarias em blocos de gesso e em blocos cerâmicos com foco em aspectos técnicos, econômicos e ambientais:

Quanto a aspectos técnicos:

- Apresentam maior resistência mecânica;
- Podem ser aplicados sobre piso acabado, sem precisar escarear;
- Podem ser facilmente removíveis, sem deixar marcas;
- Apresentam maior isolamento térmico e acústico, por unidade de espessura;
- Uma vez que são mais leves, transferem menor carga aos elementos estruturais.

Quanto a aspectos econômicos:

- Maior produtividade e menor custo global das vedações;
- Por possuírem menor espessura que os blocos cerâmicos revestidos, proporcionam um aumento na área interna dos cômodos;

- Ocupam menos espaço no canteiro durante a obra.

Quanto a aspectos ambientais:

- Menor quantidade de Energia Incorporada na produção e na aplicação dos constituintes, por unidade de área;
- Menor degradação ambiental por unidade de volume e de produção dos materiais e componentes constituintes;
- Menor energia (kWh) utilizada nas etapas de transporte e produção dos materiais constituintes;
- Menor quantidade d'água utilizada na produção das vedações internas.

3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Neste capítulo serão detalhados os materiais e equipamentos utilizados nos testes de resistência ao fogo das paredes.

3.1 BLOCOS CERÂMICOS VAZADOS

Os blocos cerâmicos utilizados na confecção das paredes foram obtidos junto a uma olaria localizada no município de Chã de Alegria, Mata Norte de Pernambuco. Os blocos cerâmicos utilizados foram os vazados de oito furos. Suas dimensões nominais são: 190x190x90 mm (CxAxL). A área bruta de sua seção transversal é 17.100 mm². Segundo a ABNT NBR 15270-1:2017, por se tratar de material com utilização prevista para sistemas de vedação vertical e pela necessidade de atender à resistência à compressão, característica mínima de 1,5 MPa, é classificado na categoria VED (15).

3.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos que integram os prismas e paredes ensaiados, recomendada inclusive para o revestimento de paredes de alvenaria, é do tipo industrializada. Na ficha técnica do produto, o fabricante recomenda a adição de 3,1 litros de água para cada 20kg de argamassa no estado anidro. Consta da mesma ficha a classificação da argamassa com base nos critérios estabelecidos pelas normas NBR 13281 e 13749, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas da argamassa

Critério	valor	classificação
Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	1600 a 2000	D4
Retenção de água (%)	72 a 85	U2
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	≥0,30	A3

Fonte: Adaptado ABNT (2005)

3.3 GESSO

Para a pasta utilizada no revestimento das paredes, foi adotada uma relação água/gesso de 0,5 que corresponde ao utilizado comumente por profissionais gesseiros da região. A venda e a aplicação do material foram realizadas por uma empresa sediada no grande Recife,

especializada em serviços e comercialização de derivados de gesso. Os blocos de gesso pré-moldados foram gentilmente cedidos pela Lajeiro Gesso, empresa com sede na cidade do Recife, especializada no ramo de venda de derivados de gesso (pré-moldados de gesso, gesso em pó etc.) e também na execução de serviços especializados, como revestimento de paredes e tetos, divisórias verticais, forro em placas de gesso, dentre outros. Os blocos utilizados foram do tipo compacto, com dimensões 666x500mm (LxA) e com três espessuras distintas: 50mm, 70mm e 100mm. Para o assentamento dos blocos e preenchimento das juntas horizontais e verticais foi utilizado gesso cola fabricado pela Lajeiro Gesso.

3.4 FORNO

O forno empregado para realizar o ensaio de resistência ao fogo das paredes é alimentado por rede elétrica trifásica e tem capacidade de fornecer até 1400°C. O calor é gerado pelo aquecimento das várias resistências elétricas de fio Kanthal que circundam as paredes internas do forno e são conectadas a três barramentos localizados na parte externa do forno. Para garantir a eficiência térmica do forno durante sua utilização, conforme pode ser visto na figura 17, ele é envolto por uma carcaça metálica e lã de vidro. A área da abertura frontal usada para aquecimento das estruturas possui 1 m². O funcionamento é totalmente programado pelo controlador N1100 (figura 18), que bloqueia ou libera corrente elétrica ao conjunto de resistências, conforme a curva de aquecimento previamente programada. Durante os ensaios, foram utilizadas peças de lã de vidro entre a amostra e o forno, fazendo com que os gases aquecidos permanecessem no interior e garantissem a eficiência térmica do conjunto.

Figura 17 – Forno elétrico trifásico utilizado nos ensaios de resistência ao fogo



Fonte: O Autor (2018)

Figura 18 – Controlador do forno



Fonte: O Autor (2018)

3.5 TERMOPARES

Termopares tipo K foram empregados para medição das temperaturas nas superfícies das paredes. No interior do forno foram usados os do tipo sonda (também chamado de termosonda), conforme pode ser visto na figura 19 (esq.), enquanto que na superfície da parede não exposta ao aquecimento foram utilizados termopares do tipo fio, ver figura 19 (dir.). Os fabricantes recomendam para a termosonda uma temperatura máxima de utilização de 1.200 °C. Já para os do tipo fio é de 400 °C. Os dois materiais estão representados na figura 19.

Figura 19 – Termosonda (esq.) e fio termopar (dir.)



Fonte: O Autor (2018)

3.6 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (DATA LOGGER)

Para processamento dos dados captados pelos termopares, foram usados dois sistemas data loggers de diferentes modelos: Quantum X (figura 20), fabricante HBM, com oito entradas para conectores e o Spider 8 (figura 21), fabricante HBM, com dez entradas para conectores. Ambos utilizam o software Catman para programação e configuração das medições.

Figura 20 – Data logger Quantum X



Fonte: O Autor (2018)

Figura 21 – Data logger Spider 8



Fonte: O Autor (2018)

4 MÉTODOS

Para determinação dos valores previstos nos itens 4.1, 4.2 e 4.3, os ensaios seguiram as recomendações previstas na ABNT NBR 15270-2:2017.

4.1 MASSA SECA

A amostra foi composta por seis blocos escolhidos aleatoriamente, os quais foram secados em estufa por 24h a 105 °C. O próximo passo foi a retirada do material da estufa e realização de duas pesagens com intervalo de 1h entre elas. Constatou-se que, entre as pesagens, os corpos de prova apresentaram perda de massa inferior a 0,25%. Logo, foram considerados aptos e os valores obtidos nas pesagens foram registrados como massa seca.

4.2 MASSA ÚMIDA

Os blocos ensaiados para determinação da massa seca foram os mesmos utilizados para a determinação da massa úmida. Os corpos de prova foram totalmente submersos em água por um período de 24h. Posteriormente, foram retirados da água, postos sobre uma bancada para escoamento do excesso d'água e, em seguida, pesados. O valor obtido para cada corpo de prova foi registrado como de massa úmida correspondente.

4.3 DIMENSIONAL

A amostra foi composta por treze blocos escolhidos aleatoriamente. Cada bloco foi submetido a duas medições em diferentes dimensões: altura, comprimento e largura, sendo adotada a média obtida para cada uma das dimensões. Para a medição das espessuras dos septos e paredes externas dos blocos, foi utilizado um paquímetro analógico de 6 pol., com resolução mínima de 0,05mm. Para cada bloco, foram realizadas quatro medições em cada uma das paredes e outras quatro em septos distintos. As dimensões médias obtidas foram 19,0x8,7x18,8cm (CxLxA), 7mm para paredes externas e 6mm para os septos.

4.4 ENSAIO À COMPRESSÃO

A seguir, será apresentada a preparação dos blocos e prismas utilizados nos ensaios de resistência à compressão.

4.4.1 Blocos

Para realização do ensaio foram selecionados treze blocos cerâmicos, conforme previsto na ABNT NBR 15270-1:2017. Os blocos foram previamente capeados na base e no topo, com argamassa industrializada do mesmo lote das argamassas empregadas na construção das paredes e passaram por um período de cura de 7 dias, sob condições ambientes de temperatura e umidade, visando garantir que a resistência à compressão da argamassa fosse superior a 70% da resistência à compressão dos blocos. Encerrada a cura, os blocos ficaram imersos em água por 24h para atingir máxima saturação e, conseqüentemente, serem ensaiados na condição mais desfavorável. A figura 22 apresenta o tratamento dado aos blocos antes do ensaio à compressão.

Figura 22 – Preparo de bloco antes do ensaio de compressão axial



Fonte: O Autor (2018)

Terminado o período de imersão em água, os blocos foram retirados, enxugados com tecido, para retirar o excesso d'água, e colocados na prensa hidráulica para o início do ensaio de compressão axial, conforme figura 23. Para cada bloco ensaiado, foi anotada a carga de ruptura expressa em Newtons (N), obtendo-se a resistência à compressão de cada bloco em megapascals (MPa) através da divisão da carga de ruptura pela área média da seção transversal expressa em milímetros quadrados (mm²). Feito o procedimento para todos os blocos, calculou-se então a resistência média dos blocos em megapascals (MPa).

Figura 23 – Bloco ensaiado à compressão, antes (esq.) e após a ruptura (dir.)



Fonte: O Autor (2018)

4.4.2 Prismas

Também foram ensaiados prismas de dois blocos unidos por argamassa, a fim de avaliar o comportamento do conjunto bloco/argamassa de assentamento. No Brasil, não há norma descrevendo procedimento para ensaio de resistência à compressão de prismas compostos de blocos cerâmicos de vedação, porém para blocos cerâmicos estruturais e para blocos de concreto existem a ABNT NBR 15812-3:2017 e a ABNT NBR 16522:2016 respectivamente.

4.5 PAREDES

Serão detalhados nos tópicos a seguir: o procedimento de construção das paredes, a instalação e fixação dos acessórios de medição nas faces das paredes e as etapas dos ensaios de resistência ao fogo conforme a NBR 10636.

4.5.1 Execução

Foram construídas seis paredes em blocos cerâmicos de oito furos assentados com argamassa industrializada e, conforme o caso, revestidas com pasta de gesso com diferentes espessuras. Outras três foram construídas em blocos de gesso compactos, assentados com gesso cola. Todas as paredes foram construídas dentro de pórticos metálicos, compostos por cantoneiras de aço e unidas nas extremidades por parafusos (figura 24). Todas possuem dimensões 1,5x1,5m (LxA) e espessura variando entre 5 e 13cm, de acordo com o tipo de bloco e revestimento utilizados. A tabela 4 detalha as características de cada uma das paredes

ensaiadas e também atribui um código a cada uma delas, para fins de identificação neste trabalho:

$\left. \begin{array}{l} \text{xx Z y} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{xx: Espessura da parede acabada (mm)} \\ \text{Z: Tipo de bloco, "C" cerâmico ou "G" gesso} \\ \text{y: Qtde. de faces revestidas de gesso (só para alvenaria em blocos cerâmicos)} \end{array}$

Tabela 4 – Características construtivas das paredes ensaiadas

Parede	Tipo de Bloco	Espessura do bloco (mm)	Qtde. de faces revestidas	Espessura do revestimento (cm)
10C1	Cerâmico vazado	90	1	10
10C2	Cerâmico vazado	90	2	10
15C1	Cerâmico vazado	90	1	15
15C2	Cerâmico vazado	90	2	15
20C1	Cerâmico vazado	90	1	20
20C2	Cerâmico vazado	90	2	20
50G	Gesso compacto	50	-	-
70G	Gesso compacto	70	-	-
100G	Gesso compacto	100	-	-

Fonte: O Autor (2018)

Figura 24 – Pórticos para suporte das paredes



Fonte: O Autor (2018)

O ensaio de resistência ao fogo das paredes atendeu ao previsto na ABNT NBR 10636:1989, exceto com relação às dimensões, em virtude das limitações proporcionadas pelo forno e pórticos empregados. As dimensões normativas são 2,5x2,5m (LxA). Logo, os resultados obtidos neste trabalho servirão como indicativos de comportamento e não para classificação do tipo de alvenaria, quanto à referida norma.

As paredes 1C, 3C e 5C foram revestidas com pasta de gesso em uma das faces, enquanto que as 2C, 4C e 6C, em ambas as faces. Quanto à utilização de pasta de gesso como revestimento, as alvenarias em blocos cerâmicos não necessitaram de camada prévia de chapisco. As paredes em bloco de gesso não receberam nenhum tipo de revestimento depois de construídas.

Os revestimentos foram executados após 40 dias de cura da alvenaria em blocos cerâmicos, em dois dias distintos, com intuito de analisar, mediante ensaio, o isolamento térmico proporcionado pela espessura da camada de gesso, quando submetido a temperaturas características de incêndio padrão. A aplicação da pasta de gesso foi realizada com a colocação prévia de linhas mestras, a fim de garantir um revestimento de espessura uniforme em toda a superfície de cada uma das paredes. A figura 25 mostra algumas das paredes durante e após a aplicação do revestimento.

Figura 25 – Paredes durante (esq.) e após (dir.) aplicação de pasta de gesso



Fonte: O Autor (2018)

4.5.2 Instrumentação para ensaio

As faces serão tratadas, ao longo do trabalho, como interna (exposição direta ao aquecimento) e externa (sem exposição direta ao aquecimento). As paredes foram equipadas

com cinco termopares em cada uma das faces, quantidade mínima exigida para esse tipo de ensaio, conforme a NBR 10638:1989. As termosondas, por suportarem maiores temperaturas, foram utilizadas na superfície interna das paredes, com o propósito de mensurar a temperatura dos gases aquecidos do interior do forno. A média das temperaturas registradas pelas termosondas foi comparada com a curva incêndio padrão ISO 834-1, para fins de avaliação do desempenho do forno. As cinco termosondas foram fixadas a aproximadamente 10 cm da parede e distribuídas em cinco pontos dentro de uma área de aproximadamente 1m² (zona de aquecimento), justamente onde o calor proveniente do forno incide de forma direta. Na superfície externa foram fixados os fios termopares, tocando na superfície da parede em pontos alinhados com os pontos da face interna.

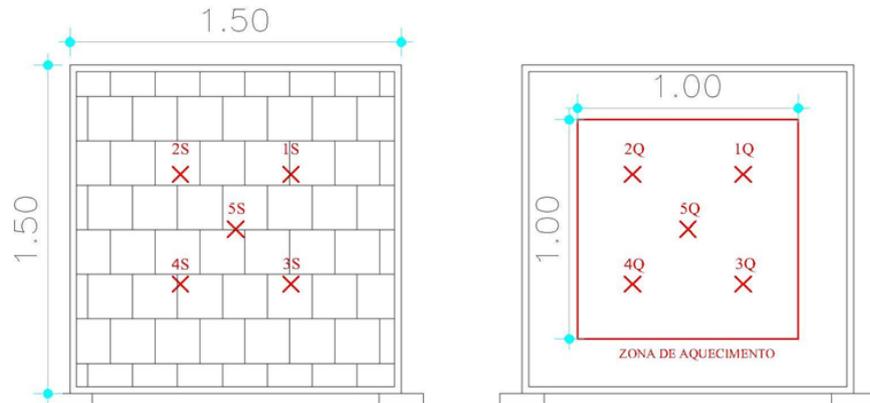
A simbologia adotada para os termopares foi a seguinte: primeiramente o número, variando de 1 a 5 (indica a localização de cada termopar da respectiva face); depois a letra “Q” ou “S” correspondente ao datalogger ao qual esteja conectado, se Quantum X ou Spider, respectivamente. A identificação dos termopares e a devida localização encontram-se resumidas nas tabelas 5 e figura 26.

Tabela 5 – Localização dos termopares em cada face da parede

Face interna (Termosonda)		Face externa (Fio termopar)	
Sigla	Localização	Sigla	Localização
1Q	Superior esquerda	1S	Superior direita
2Q	Superior direita	2S	Superior esquerda
3Q	Inferior esquerda	3S	Inferior direita
4Q	Inferior direita	4S	Inferior esquerda
5Q	Centro	5S	Centro

Fonte: O Autor (2018)

Figura 26 – Distribuição dos termopares nas faces externa (esq.) e interna (dir.) das paredes



Fonte: O Autor (2018)

Os termopares, conforme a localização, foram conectados ao datalogger Quantum X ou Spider 8, ambos responsáveis por receber os dados e realizar o devido processamento. Dois computadores foram utilizados durante a programação dos experimentos, com o software Catman. A programação consistiu basicamente na identificação dos termopares, frequência de medição e tipo de gráfico para visualização do comportamento das temperaturas ao longo do tempo. Ao término de cada ensaio, os dados correspondentes ao comportamento de cada parede foram salvos em arquivo formato *.xls*.

Antes de iniciar cada ensaio, devido à falta de prumo, os dois pórticos foram unidos por grampos sargento em metal. Os espaços entre as paredes e o forno foram totalmente preenchidos por lã de vidro (figura 27), a fim de manter a pressão interna do forno em níveis normativos.

Figura 27 – Instrumentos para fixação da parede ao forno



Fonte: O Autor (2018)

Para cada ensaio, o forno recebeu duas programações de aquecimento distintas:

- A prévia, tratada neste trabalho como pré-aquecimento, tem a função de minimizar os efeitos da inércia térmica do forno, permitindo que a temperatura interna se aproxime ao máximo da curva ISO 834-1, quando o ensaio iniciar de fato. Essa etapa ocorreu a uma taxa de 5°C/min, chegando ao final dos 20 minutos com uma temperatura de 100 °C;
- Com a segunda, pretende-se chegar à curva ISO 834-1 propriamente dita, conforme exige a NBR 10636:1989, quando da realização do teste de resistência ao fogo das paredes. A taxa de aquecimento nessa etapa varia em função da programação inserida no controlador do forno.

4.5.3 Ensaio

Serão apresentados a seguir os critérios da ABNT NBR 10636:1989 avaliados durante os ensaios das paredes.

4.5.3.1 Estabilidade

O teste de estabilidade consiste em submeter o corpo de prova a uma energia de impacto de 20J, proporcionado pelo choque mecânico de uma esfera de aço com massa entre 15kg e 25kg, movimentando-se numa trajetória pendular. O desnível entre o ponto de impacto e a altura na qual a esfera é solta deve ser tal que proporcione uma energia de impacto de 20J ao conjunto. O impacto deve ser realizado em três pontos afastados horizontalmente e a 1,40m em relação à base do corpo de prova. Caso surjam trincas, fissuras, deformações ou sinais de instabilidade estrutural, devem ser anotados e, se possível, medidos. A ABNT NBR 10636 estabelece ainda que o teste de impacto deve ser realizado três minutos após o término do ensaio de resistência ao fogo.

Nos ensaios, pensando na segurança do operador e na integridade dos instrumentos de medição, o teste de estabilidade foi realizado horas depois do término do ensaio quando da retirada dos termopares do corpo de prova. Não dispondo, no laboratório, de uma esfera de aço, utilizou-se uma esfera de concreto fixada a um anel metálico, para alcançar o peso de 17,7 Kg e, conseqüentemente, atender ao intervalo previsto na norma. Para chegar aos 20J de

energia de impacto, o pêndulo foi deslocado verticalmente 11,5cm em relação à posição inicial. O sistema pendular empregado pode ser observado na figura 28.

Figura 28 – Sistema utilizado como pêndulo no teste de estabilidade das paredes



Fonte: Borges (2018)

4.5.3.2 Estanqueidade

A norma especifica que o teste de estanqueidade deve ser realizado quando do aparecimento de trincas ou outras aberturas na parede, através da aproximação de um chumaço de algodão, dimensões 100x100mm (LxA) por 20mm de espessura, durante um intervalo de tempo entre 10s e 20s. Os chumaços permaneceram em estufa por 40 minutos, a 100°C, com intuito de retirar, deles, a umidade existente. Todos os testes realizados foram devidamente anotados na ficha de experimento, independentemente de queima do algodão, sempre especificando a posição da fissura e o momento exato do teste.

4.5.3.3 Isolamento térmico

O teste consiste em avaliar se a diferença de temperatura entre as faces interna e externa da parede deixa de atender a um dos parâmetros a seguir:

- As temperaturas medidas por cada termopar da face não exposta ao aquecimento não devem aumentar mais que 180 °C em relação à temperatura inicial;
- A média das temperaturas medidas por cada termopar da face exposta ao aquecimento não deve aumentar mais que 140 °C em relação à média das temperaturas iniciais.

Também deve ser registrado o aparecimento de fumaça ou vapores provenientes da face não exposta da parede.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos nas etapas de qualificação dos materiais e nos ensaios de resistência ao fogo de cada parede.

5.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Após as etapas de caracterização e preparo (capeamento, cura e saturação), os blocos cerâmicos foram ensaiados na prensa hidráulica para determinação da carga de ruptura. A tabela 6 resume os valores recorrentes dos ensaios.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos cerâmicos

CP	Área (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)
1	16941,7	30750	1,82
2	16987,1	46000	2,71
3	16606,0	31380	1,89
4	17065,8	50510	2,96
5	16530,0	31610	1,91
6	16418,6	53310	3,25
7	16720,0	24720	1,48
8	17082,0	53940	3,16
9	16936,7	29030	1,71
10	17280,0	30710	1,78
11	17014,0	33220	1,95
12	16756,6	42130	2,51
13	17090,0	53470	3,13
Média (MPa)			2,33
Desvio padrão da amostra (MPa)			0,58

Fonte: O Autor (2018)

A ABNT NBR 15270-1 exige para blocos de vedação classe VED(15), assentados com os furos na horizontal, uma resistência à compressão mínima de 1,5 MPa. Todos os blocos obtiveram resistência à compressão superior à mínima. Logo, o lote foi aprovado. Em nenhum dos blocos ensaiados foi constatada a ruptura dos capeamentos realizados. A figura 29 mostra o mecanismo de ruptura de alguns dos blocos ensaiados.

Figura 29 – Blocos cerâmicos após ensaio de compressão axial



Fonte: O Autor (2018)

5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS

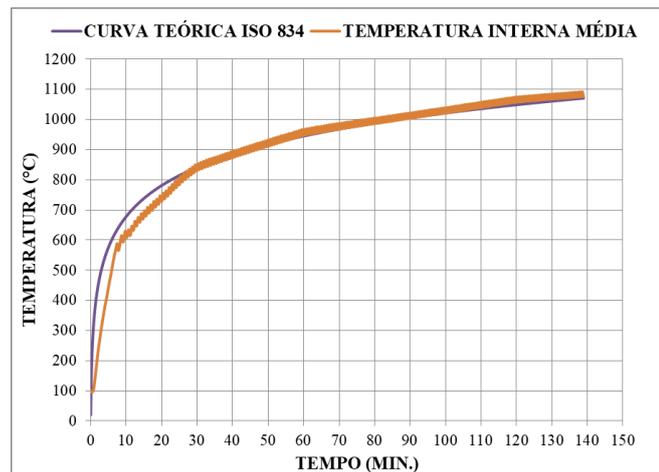
Será apresentado, nesta seção, o desempenho das seis paredes durante ensaio de resistência ao fogo, com base nos critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

5.2.1 Parede 10C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 10 mm de gesso

A parede 10C1 foi ensaiada em 10/12/2018, por volta das 16h, após 64 dias de cura da alvenaria e 36 dias de aplicação de revestimento de gesso, com 10 mm de espessura, na face do corpo de prova exposta ao aquecimento. A temperatura ambiente, no momento do ensaio, era 30°C.

A diferença entre as curvas ISO 834 e a de aquecimento interno do forno está representada no gráfico 3. Apenas a partir dos 27 minutos de ensaio, as duas curvas passaram a apresentar comportamentos semelhantes.

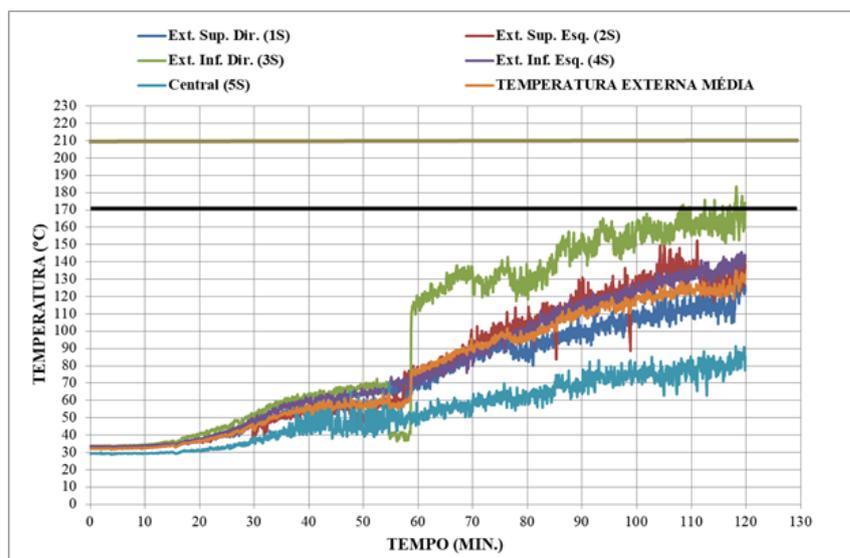
Gráfico 3 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 10C1



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 4 mostra as curvas de aquecimento dos fios termopares instalados na face externa da parede 10C1. Até os 60 minutos iniciais de ensaio, os termopares localizados na área inferior direita (3S) e no centro (5S) destoaram das temperaturas dos demais termopares. No intervalo de tempo entre 40 e 60 minutos, a taxa de aquecimento da superfície externa foi em torno de $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$. Já na segunda metade do ensaio, a taxa de aquecimento média foi $1,16 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$.

Gráfico 4 – Temperatura na face não exposta ao aquecimento – parede 10C1

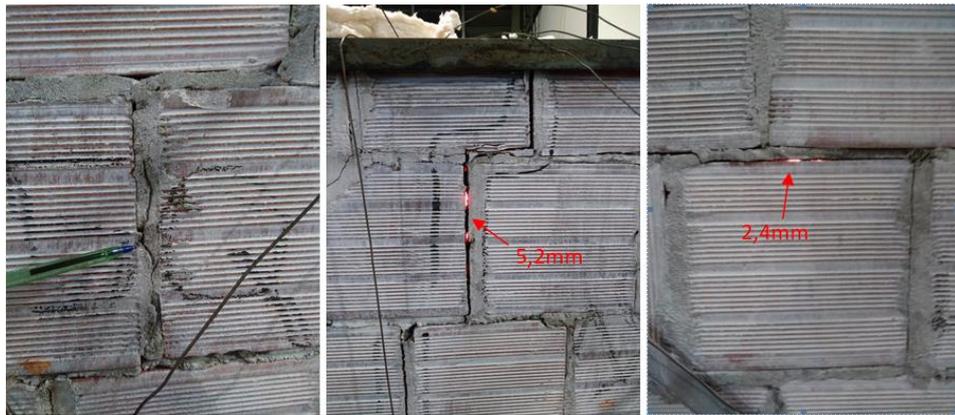


Fonte: O Autor (2018)

Os primeiros ruídos provenientes do interior do forno ocorreram nos 3 minutos iniciais do ensaio. Aos 7 minutos, começaram os ruídos contínuos, acompanhados de saída de vapor d'água no topo da parede e, aos 14 minutos, praticamente cessaram.

A figura 30 apresenta as principais fissuras decorrentes do ensaio de resistência ao fogo. Pode-se observar que as fissuras, em sua maioria, desenvolvem-se na interface bloco/argamassa por mais de uma fiada. Ao término do ensaio, a fissura vertical apresentou espessura de 5,2mm, enquanto que a horizontal, 2,4mm.

Figura 30 – Fissuras da parede 10C1 após o término do ensaio de resistência ao fogo



Fonte: O Autor (2018)

O revestimento da face interna da parede apresentou estado generalizado de fissuração, devido à perda d'água. Na figura 31, é possível visualizar o estado final do revestimento, mais precisamente na zona de aquecimento.

Figura 31 – Face exposta ao aquecimento da parede 10C1 após o ensaio de resistência ao fogo

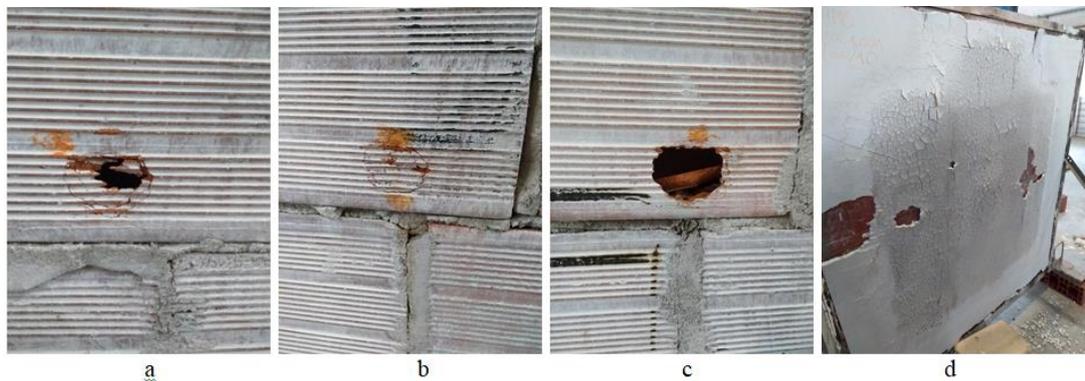


Fonte: O Autor (2018)

Analisando o gráfico 4, observa-se que a parede 10C1 atendeu aos critérios de isolamento térmico da ABNT NBR 10636. O termopar localizado na área inferior direito (3S) foi o que alcançou maior temperatura, 180 °C, que, por sua vez, ficou abaixo da temperatura individual máxima permitida para as paredes individualmente, 210 °C. Quanto à média, a temperatura máxima da curva foi 130 °C, 40 °C abaixo da temperatura limite média.

As figuras 32a, 32b e 32c mostram a face da parede não exposta ao aquecimento após o ensaio de estabilidade. É possível visualizar os danos causados pelos três impactos do pêndulo com a parede. Já na face exposta ao aquecimento (figura 32d), houve apenas descolamento de revestimento nas áreas onde os impactos ocorreram, porém não foram suficientes para reprovar a parede quanto à estabilidade.

Figura 32 – Parede 10C1 após teste de estabilidade



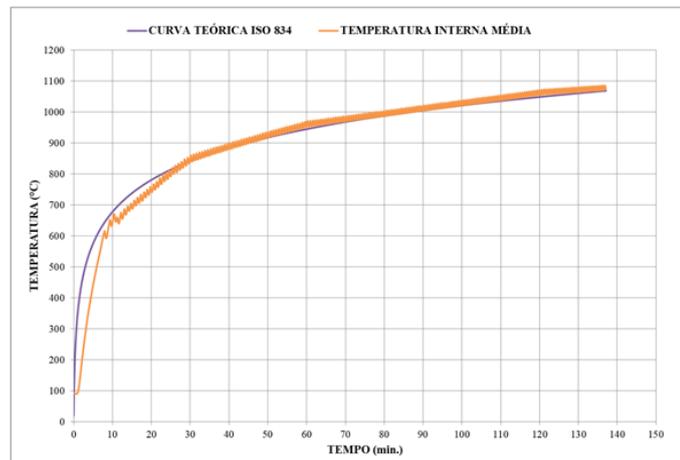
Fonte: O Autor (2018)

5.2.2 Parede 10C2 – Ambas as faces revestidas com 10 mm de gesso

A parede 10C2 foi ensaiada em 28/11/2018, por volta das 11h10, após 88 dias de cura da alvenaria e 32 dias de aplicação do revestimento de gesso nas duas faces, com 10 mm de espessura. A temperatura ambiente no momento do ensaio foi 31°C.

O gráfico 5 mostra o desenvolvimento da temperatura interna do forno. A temperatura ficou abaixo da ISO 834-1 nos primeiros 27 minutos. Em seguida, apresentou desempenho satisfatório até o término.

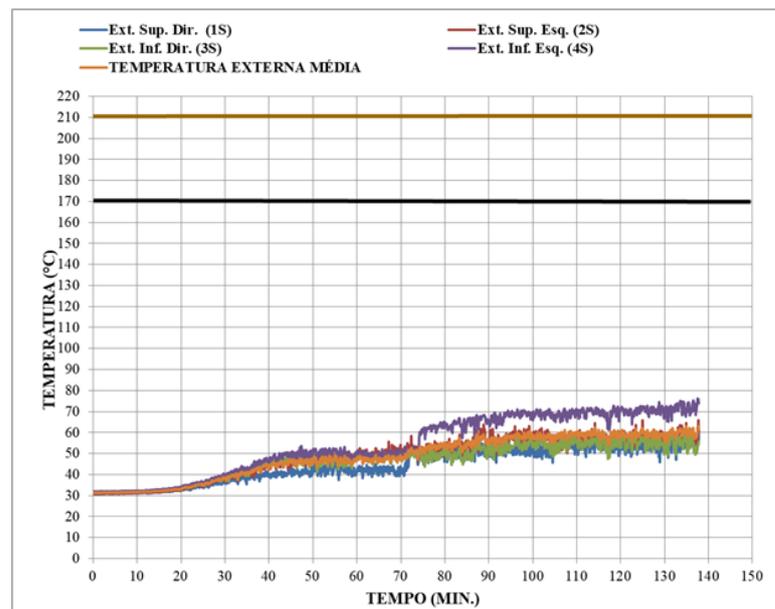
Gráfico 5 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 10C2



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 6 apresenta o comportamento das temperaturas registradas pelos termopares na face da parede não exposta ao aquecimento. O termopar correspondente ao centro da parede teve os dados descartados, inclusive no cálculo da média, por apresentar uma temperatura constante durante todo o ensaio.

Gráfico 6 – Temperatura na face não exposta ao aquecimento – Parede 10C2



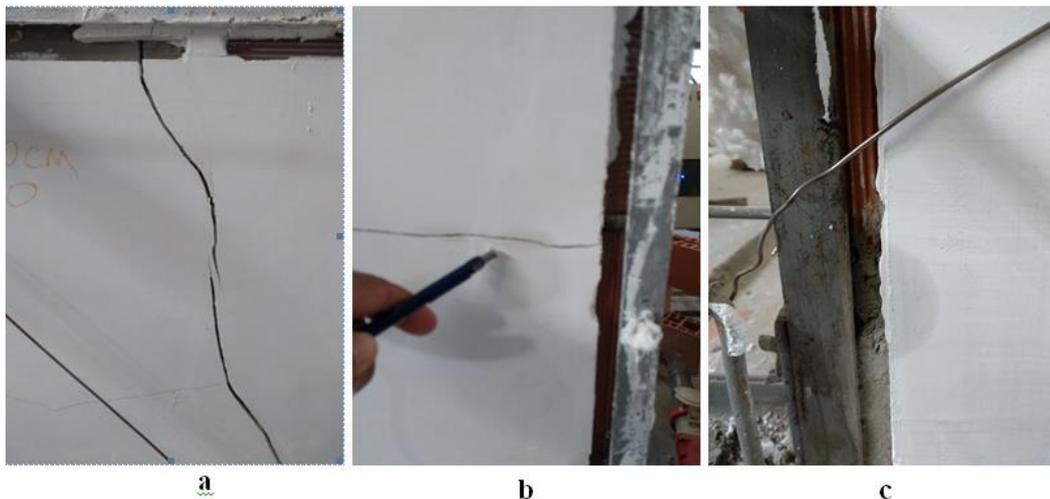
Fonte: O Autor (2018)

A curva correspondente ao termopar do quadrante superior direito (1S) apresentou uma mudança brusca de 40°C para 50°C, aos 70 minutos de ensaio. Isso foi devido a um

ajuste feito na posição do termopar para corrigir um afastamento da parede. Fato idêntico ocorreu com o termopar do quadrante inferior esquerdo (4S), aos 74 minutos de ensaio e, após ajustá-lo, a temperatura variou de 50°C para 61°C. De modo geral, a variação das temperaturas em torno da média foi aceitável.

Os vapores d'água provenientes do interior do forno começaram a sair do topo da parede por volta dos 5 minutos de ensaio, apresentando maior volume aos 11 minutos e reduzindo, consideravelmente, aos 21 minutos. Além de ruídos contínuos, característicos do processo de desidratação do revestimento interno, os primeiros minutos de ensaio também foram marcados por alguns ruídos curtos e elevados, coincidindo com o surgimento das primeiras fissuras, no revestimento externo, que ocorreram no vértice superior esquerdo e na margem direita da parede. Aos 30 minutos do ensaio, as fissuras apresentaram espessura média de 0,5mm. Aos 40 minutos, surgiu uma fissura no vértice inferior esquerdo. Ao término do ensaio, as duas primeiras fissuras evoluíram para 3mm de espessura e surgiram manchas nas bordas, provenientes do vapor d'água. As fissuras podem ser observadas nas figuras 33a, 33b e 33c.

Figura 33 – Fissuras surgidas na superfície não exposta ao aquecimento da parede 10C2



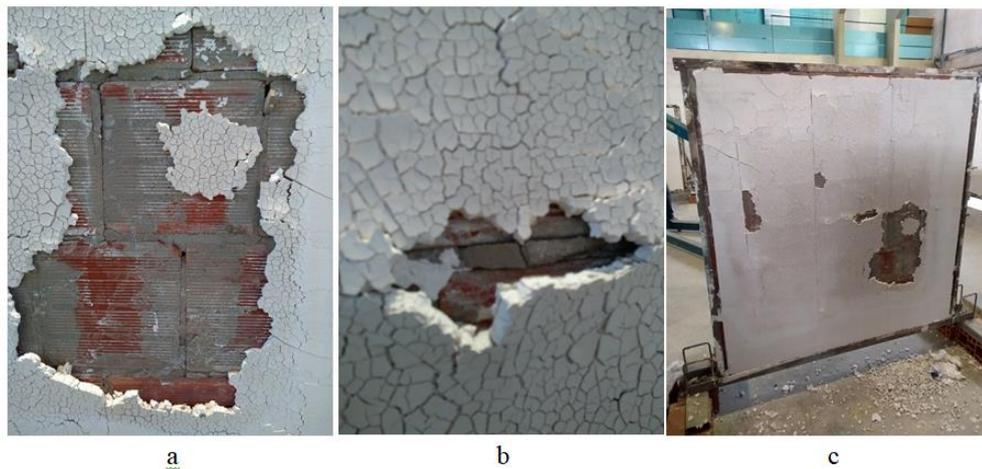
Fonte: O Autor (2018)

As fissuras mostradas na figura 34 foram destacadas com uso de giz de cera. As maiores fissuras apresentaram 3 mm de espessura; as demais oscilaram entre 1,5mm e 2mm.

Analisando o gráfico 6, pode-se observar que a parede 10C2 atendeu aos critérios de isolamento térmico da ABNT NBR 10636. Cada termopar externo apresentou, durante o ensaio, aumento das temperaturas sempre inferior a 180 °C. O termopar inferior esquerdo (4S) foi o que apresentou maior pico de temperatura, algo em torno de 75°C. O valor máximo obtido, para a média dos termopares, foi 60 °C, portanto, 110 °C abaixo da temperatura média limite.

O teste de estabilidade foi realizado no dia seguinte (29/11/2018). A figura 36 mostra o estado da face não exposta da parede após a realização dos impactos.

Figura 36 – Face interna (a, b) e externa (c) da parede 10C2 após ensaio de estabilidade



Fonte: O Autor (2018)

Os impactos realizados contra a parede 10C2 ocasionaram o deslocamento do revestimento, porém sem afetar a alvenaria, fazendo com que a parede fosse considerada estável.

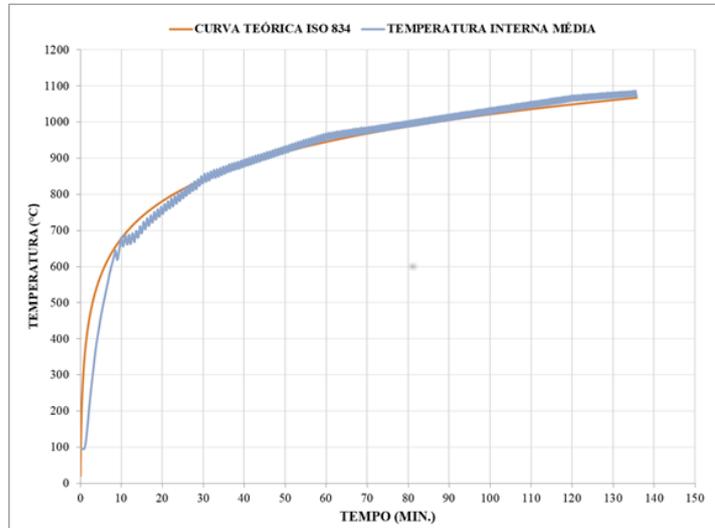
5.2.3 Parede 15C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 15 mm de gesso

A parede 15C1 foi ensaiada em 23/11/2018, por volta das 11h50, após 53 dias de cura da alvenaria e 28 dias de aplicação do revestimento de gesso, com 1,5 cm de espessura, em apenas uma das faces. A temperatura ambiente registrada foi 30°C.

O gráfico 7 mostra o desenvolvimento da temperatura interna do forno obtida pela média das temperaturas das termosondas localizadas no interior do forno. O forno apresentou um bom desenvolvimento da temperatura, principalmente após os primeiros 10 minutos de ensaio, quando comparado com a curva teórica ISO 834-1. O gráfico 8 apresenta o

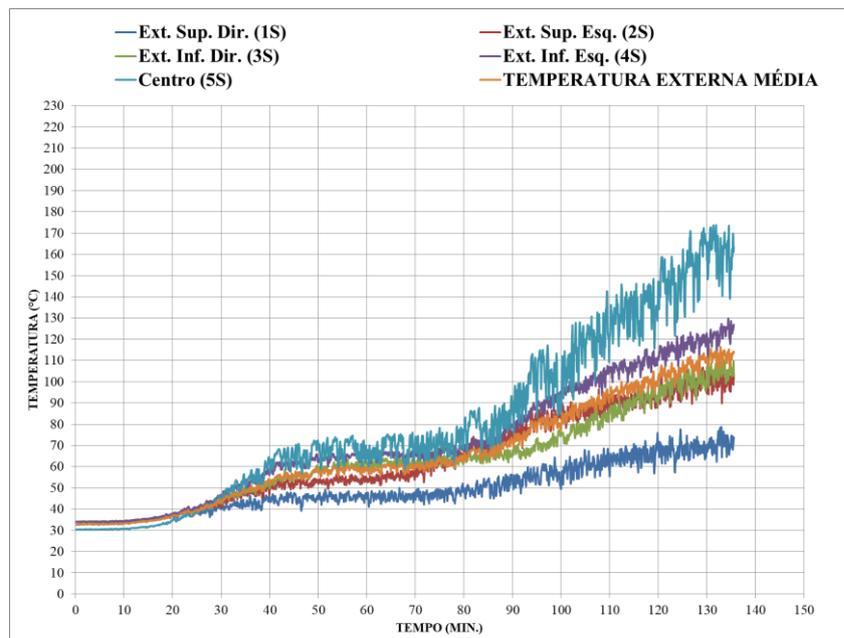
comportamento das temperaturas registradas pelos termopares na face da parede não exposta ao aquecimento.

Gráfico 7 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 15C1



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 8 – Temperatura da face não exposta ao aquecimento – Parede 15C1



Fonte: O Autor (2018)

As temperaturas da região inferior direita e esquerda e da região superior esquerda da parede 15C1 apresentaram comportamento similar quanto às temperaturas. Destoaram da

média as temperaturas da região superior direita e do centro da face externa. Nos primeiros 25 minutos e no intervalo entre 40 e 80 minutos de ensaio, os termopares apresentaram um período de latência, ou seja, a taxa de aquecimento foi quase nula. No mesmo intervalo, notou-se ainda a saída de vapor d'água do interior do forno, acompanhado de ruídos contínuos provenientes da face interna. Analisando o revestimento da face interna da parede, no dia seguinte ao ensaio, observou-se a existência de fissuras características de retração por perda de umidade, bem como deslocamentos em toda a superfície da camada de gesso, sobretudo na zona de aquecimento (figura 37). Ainda é possível observar, na figura, que o deslocamento ocorreu em camadas sucessivas, à medida que o calor avançava em direção ao interior da parede.

Figura 37 – Superfície interna da parede 15C1 um dia após o ensaio



Fonte: O Autor (2018)

Após 60 minutos de ensaio, foram observadas as primeiras fissuras, mais especificamente na superfície de contato entre a argamassa de assentamento e os blocos cerâmicos no topo da parede. No decorrer do ensaio, surgiram outras na superfície dos blocos, porém em menor proporção. Ao término, duas fissuras obtiveram maior destaque, por apresentarem cerca de 3 mm de espessura, sendo possível observar, na figura 38, uma das resistências do forno, no momento em que os termopares internos mediam em torno de 1.000 °C, como também fissuras secundárias, caracterizadas novamente por ocorrer na interface entre a argamassa de assentamento e o bloco cerâmico. Oliveira (2001) atribui esse tipo de fissura, normalmente, à baixa aderência entre bloco e argamassa que não resiste às tensões tangenciais provenientes da deformação da alvenaria.

Figura 38 – Fissuras surgidas na superfície externa da Parede 15C1



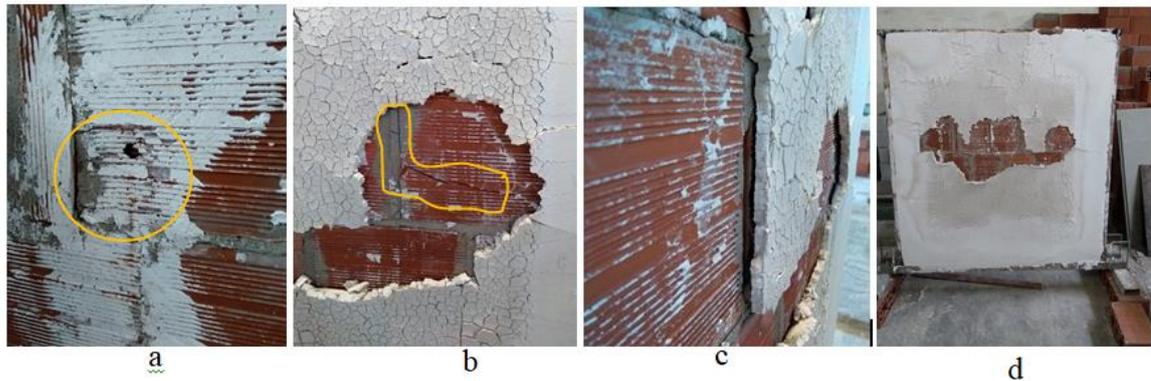
Fonte: O Autor (2018)

O teste com chumaço de algodão foi realizado em dois momentos distintos: 120 minutos e 135 minutos. Não ocorreu combustão em ambos, bem como não houve saída de fumaça ou gases aquecidos provenientes da superfície externa. Logo, a parede foi considerada estanque.

Quanto ao isolamento térmico e analisando os termopares individualmente, constatou-se que o termopar que sofreu maior aumento de temperatura, durante todo o ensaio, foi o do centro da face, em torno de 140 °C, valor este abaixo do limite individual normativo, que é 180 °C. A curva que representa a média dos termopares da face externa apresentou, ao longo do ensaio, um aumento de apenas 80 °C, bem abaixo dos 140 °C permitidos em norma (gráfico 2).

O teste de estabilidade foi realizado por volta das 9h do dia seguinte (24/11/2018), por motivo de segurança, conforme justificado anteriormente. A estrutura para realização do teste foi montada e posicionada em frente à face não exposta ao aquecimento da parede 15C1. Os três impactos ocorreram em pontos distintos, entretanto à mesma altura, em relação à base da parede. A figura 39 mostra as faces da parede após a realização do teste.

Figura 39 – Parede 15C1 após ensaio de estabilidade



Fonte: O Autor (2018)

A figura 39a mostra o local exato onde ocorreu a primeira colisão com abertura de orifício. A figura 39b mostra algumas fissuras na argamassa e no bloco, causadas pela segunda colisão da esfera. Na figura 39c, é possível observar um descolamento entre o revestimento e a alvenaria, após a realização das três colisões. Vale salientar que esse descolamento é favorecido pelo estado fragmentado em que se encontra o revestimento. A figura 39d apresenta o aspecto geral da face interna da parede, ao término do ensaio, podendo-se observar que a maior queda de revestimento ocorreu justamente na região onde aconteceu o impacto da bola.

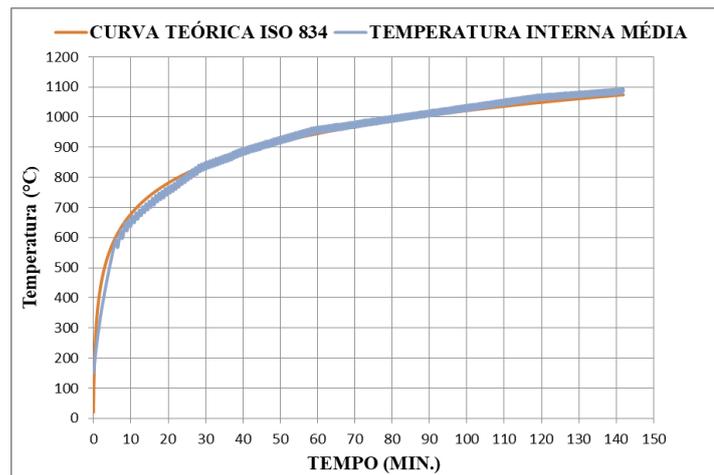
Concluiu-se que a parede 15C1 resistiu bem aos impactos e os danos decorrentes não foram suficientes para afetar sua estabilidade.

5.2.4 Parede 15C2 – Ambas as faces revestidas com 15 mm de gesso

A parede 15C2 foi ensaiada em 11/12/2018, às 16h50, após 67 dias de cura da alvenaria e 41 dias de aplicação de revestimento de gesso, com 1,5 cm de espessura, nas duas faces. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 31°C.

A diferença entre as curvas ISO 834 e a de aquecimento interno do forno está representada no gráfico 9. Considerando o início da curva, a parede 15C2 foi a de melhor desempenho, se igualando às demais após 27°C.

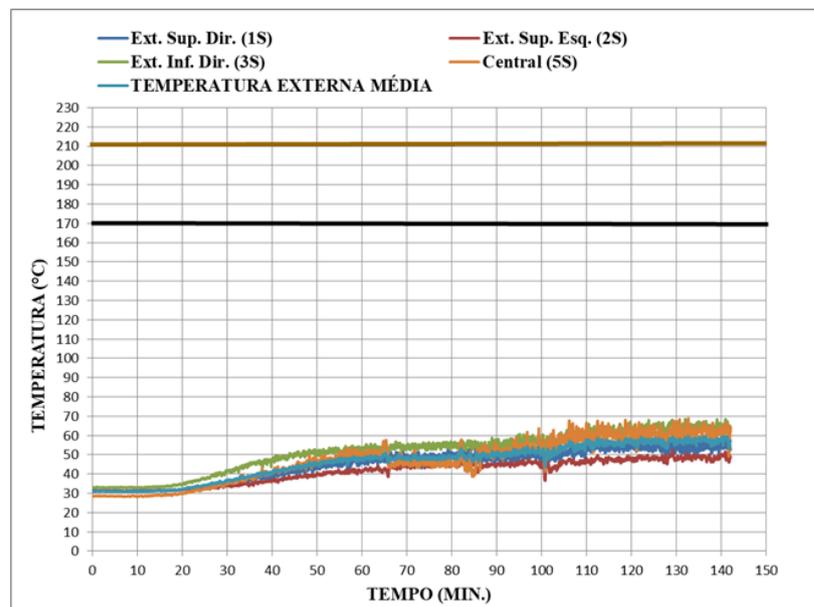
Gráfico 9 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 15C2



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 10 mostra as curvas de aquecimento dos fios termopares instalados na face externa da parede. O termopar localizado no quadrante inferior esquerdo (4S) foi descartado na análise dos dados, inclusive no cálculo da média, por apresentar oscilações incompatíveis com o comportamento dos demais. No intervalo de tempo de 20 a 60 minutos, a temperatura média evoluiu a uma taxa de aproximadamente $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, passando em seguida a dois intervalos de tempo com valor constante: 60 a 100 minutos ($\pm 50^{\circ}\text{C}$) e 110 a 140 minutos ($\pm 58^{\circ}\text{C}$). Os termopares, de modo geral, apresentaram temperaturas com desenvolvimentos semelhantes, fazendo com que a média proporcionasse uma boa representação da temperatura da face externa durante todo o ensaio.

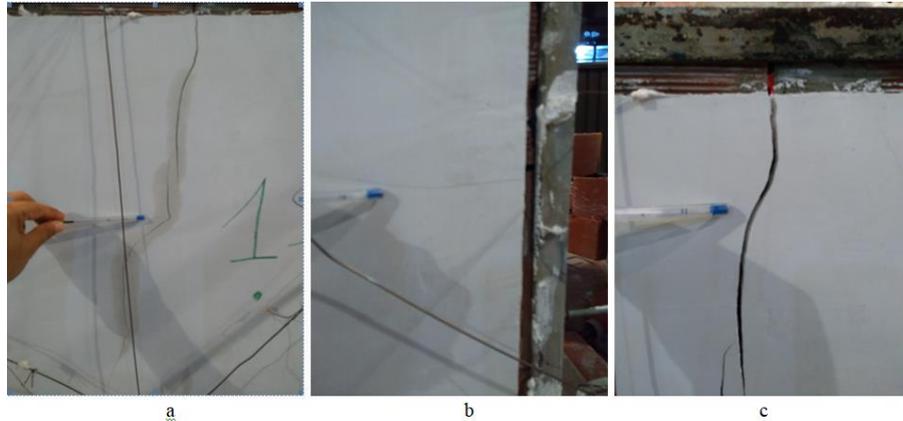
Gráfico 10 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – Parede 15C2



Fonte: O Autor (2018)

Os primeiros ruídos advindos do interior do forno ocorreram no primeiro minuto do ensaio, de forma intermitente, coincidindo com o desenvolvimento de fissuras no topo da superfície da parede. Aos 5 minutos, iniciaram os ruídos contínuos, acompanhados da saída de vapor d'água no topo da parede, aumentando de intensidade aos 8 minutos e praticamente cessando aos 27 minutos.

Figura 40 – Fissuras da parede 15C2 após o término do ensaio de resistência ao fogo



Fonte: O Autor (2018)

As figuras 40a e 40c mostram a primeira fissura, no começo e no fim do ensaio, respectivamente. A figura 40b mostra o surgimento de uma fissura horizontal que manteve a espessura até o final do ensaio.

O revestimento da face interna da parede 15C2, assim como nas demais, ficou completamente fissurado na zona de aquecimento, em decorrência da desidratação do material (figura 41).

Figura 41 – Face exposta ao aquecimento da parede 15C2 após o ensaio de resistência ao fogo

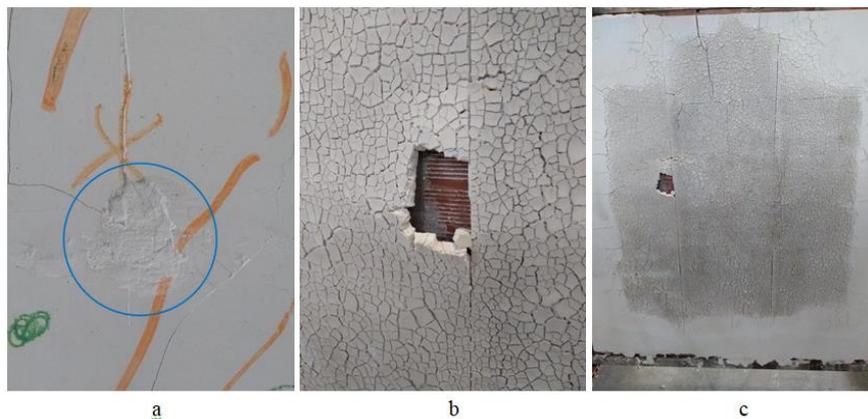


Fonte: O Autor (2018)

No gráfico 10, observa-se que a parede 15C2 atendeu aos critérios de isolamento térmico da ABNT NBR 10636, pois nenhum dos termopares externos superou a temperatura limite individual de 211°C. A média das temperaturas também não superou a temperatura limite média de 171°C.

As figuras 42a, 42b e 42c apresentam a face da parede não exposta ao aquecimento após o ensaio de estabilidade. Na face externa, o pêndulo não ocasionou danos, além de afundamento no revestimento externo (figura 42a). As figuras 42b e 42c mostram os danos causados ao revestimento interno após os três impactos da esfera de concreto que se limitaram à remoção de pequena parcela do revestimento. Nenhum dos danos relatados afetou a estabilidade da parede 15C2.

Figura 42 – Face interna (a) e externa (b,c) da parede 15C2 após realização do teste de estabilidade



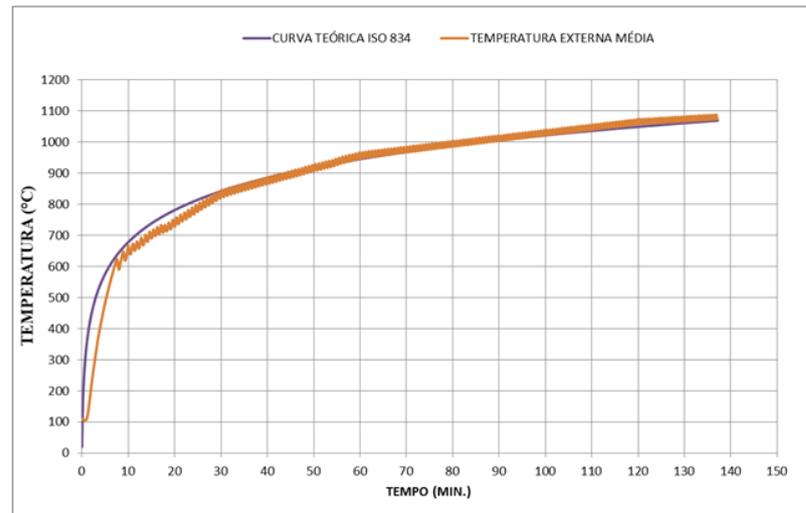
Fonte: O Autor (2018)

5.2.5 Parede 20C1 – Face exposta ao aquecimento revestida com 20 mm de gesso

A parede 20C1 foi ensaiada em 03/12/2018, por volta das 15h50, após 61 dias de cura da alvenaria e 33 dias de aplicação de revestimento de gesso, com 20 mm de espessura, na face exposta ao aquecimento. A temperatura ambiente no momento do ensaio foi 30°C.

O gráfico 11 mostra o desenvolvimento da temperatura interna do forno. A curva de aquecimento dos gases ficou abaixo da ISO 834-1 nos primeiros 27 minutos e com bom desempenho em seguida.

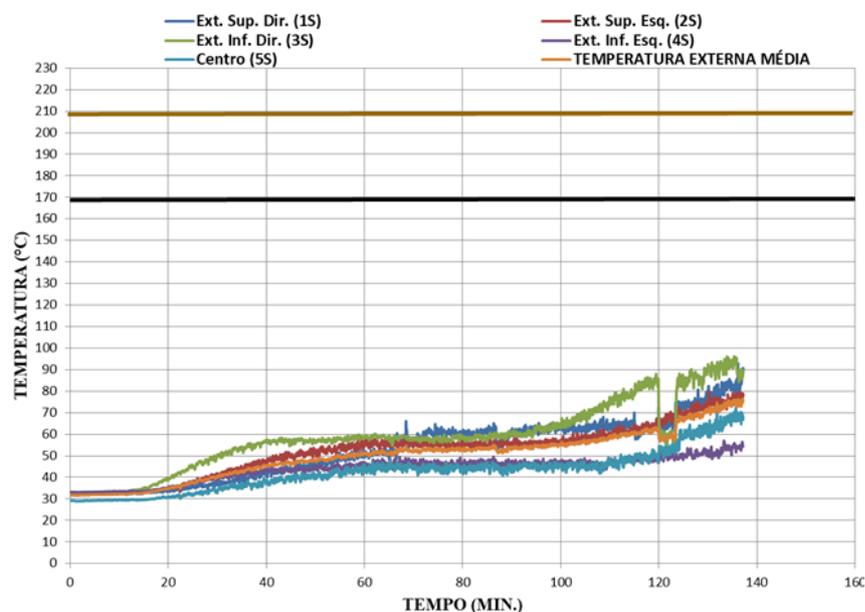
Gráfico 11 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 20C1



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 12 apresenta o comportamento das temperaturas registradas pelos termopares na face da parede não exposta ao aquecimento. Todos os termopares apresentaram comportamentos dentro da normalidade, durante quase todo o ensaio, exceto o termopar localizado na região inferior direita (3S), cuja temperatura diminuiu aproximadamente 30°C após perder contato com a parede. Entre 60 e 110 minutos, os termopares não registraram variação de temperatura, visto que a água, retida na parede e no revestimento, estava em processo de evaporação.

Gráfico 12 – Temperatura da face não exposta ao aquecimento – parede 20C1



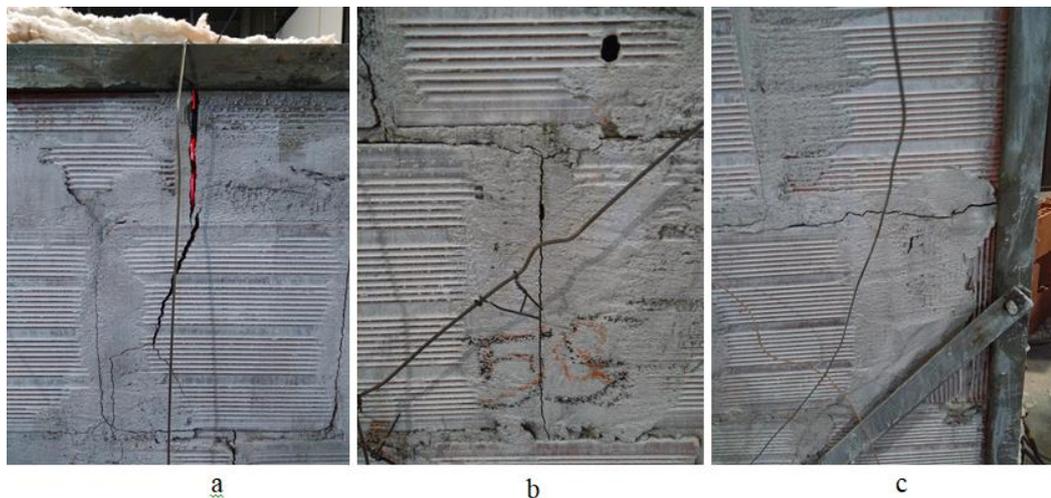
Fonte: O Autor (2018)

Os vapores d'água provenientes do interior do forno começaram a sair do topo da parede por volta dos 8 minutos. Aos 15 minutos o fluxo aumentou, reduzindo consideravelmente aos 40 minutos.

Os ruídos contínuos, característicos do processo de desidratação do revestimento interno, ocorreram concomitantemente com o início da saída de vapor d'água aos 8 minutos. A primeira fissura surgiu no topo da parede, mais precisamente na argamassa de assentamento, e irradiou para o bloco logo abaixo, conforme a figura 43a. Ocorreram várias fissuras na interface bloco/argamassa, conforme as figuras 43b e 43c. Aos 80 minutos de ensaio, a fissura visível na figura 43a apresentou espessura 1,6mm. De 120 minutos para 135 minutos, as fissuras evoluíram de 3 mm para 5 mm

O teste do chumaço de algodão foi realizado na fissura localizada no topo da parede e o algodão não inflamou.

Figura 43 – Fissuras vistas da face não exposta ao aquecimento da parede 20C1



Fonte: O Autor (2018)

A figura 44 apresenta nível de degradação da superfície exposta ao aquecimento. O grau de fissuração por ação da desidratação foi bem intenso. No entanto, nenhuma parte da superfície da alvenaria ficou exposta.

Figura 44 – Face exposta ao aquecimento da parede 20C1 após o ensaio

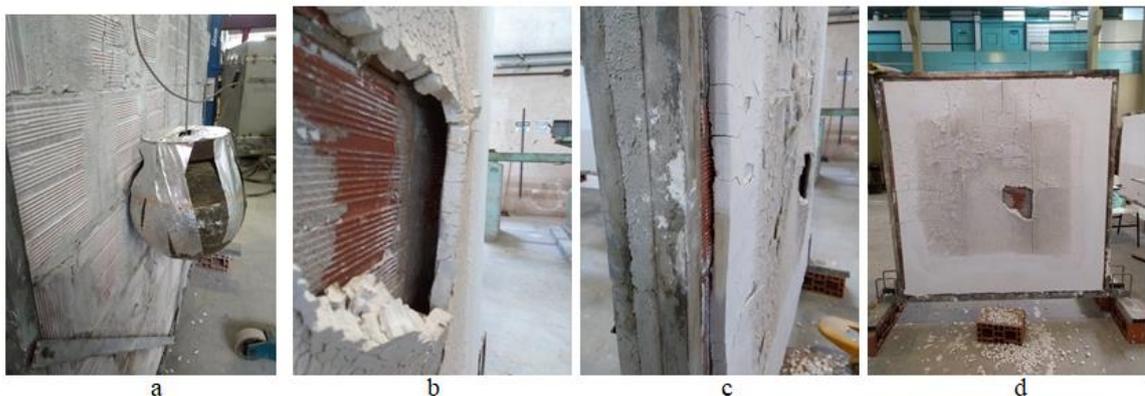


Fonte: O Autor (2018)

A figura 45 mostra a parede após a realização do teste de estabilidade. Os três impactos realizados provocaram queda do revestimento externo na região mais central da parede, como pode ser visto na figura 45d. É possível observar na figura 45c que parte do revestimento periférico se encontra descolado da alvenaria. Os três impactos do pêndulo com a parede não causaram danos capazes de prejudicar a sua estabilidade.

Analisando o gráfico 12, pode-se observar facilmente que a parede 20C1 atendeu com segurança aos critérios de isolamento térmico da ABNT NBR 10636. Todos os termopares externos apresentaram, ao longo do ensaio, aumento inferior a 180 °C, previsto em norma. O termopar inferior direito foi o que registrou maiores temperaturas ao longo do ensaio, destacando-se os intervalos de 20 a 60 minutos e de 100 a 130 minutos. A temperatura média da face externa ficou 65°C abaixo da temperatura limite média.

Figura 45 – Parede 20C1 durante e após o teste de estabilidade



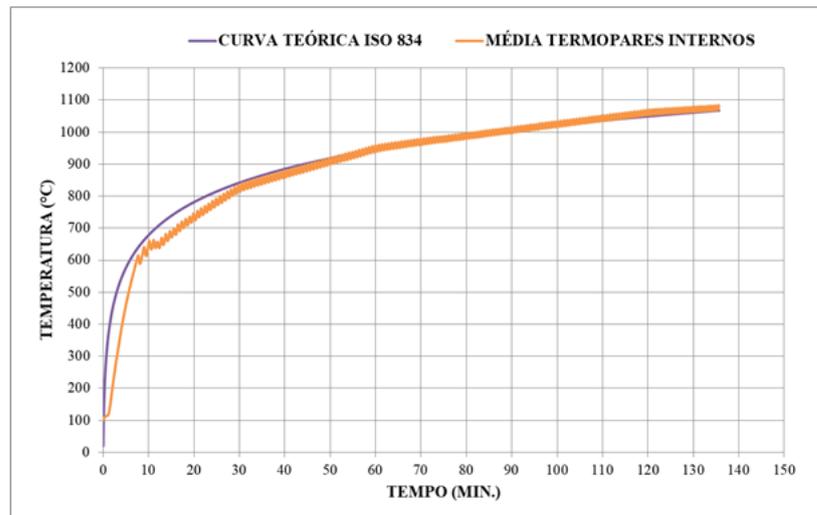
Fonte: O Autor (2018)

5.2.6 Parede 20C2 – Ambas as faces revestidas com 20 mm de gesso

A parede 20C2 foi ensaiada em 06/12/2018, às 9h30, após 64 dias de cura da alvenaria e 36 dias de aplicação de revestimento de gesso, com 20 mm de espessura, nas duas faces. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 29°C.

Foi observado, ao longo do ensaio, que uma das termosondas estava danificada, portanto a temperatura interna média foi calculada a partir da leitura das quatro termosondas restantes. O forno apresentou curva de aquecimento bem abaixo da ISO 834-1 nos primeiros 30 minutos. Aos 50 minutos, a diferença diminuiu e praticamente se anulou para o restante do ensaio. O gráfico 13 mostra o desenvolvimento da temperatura interna do forno.

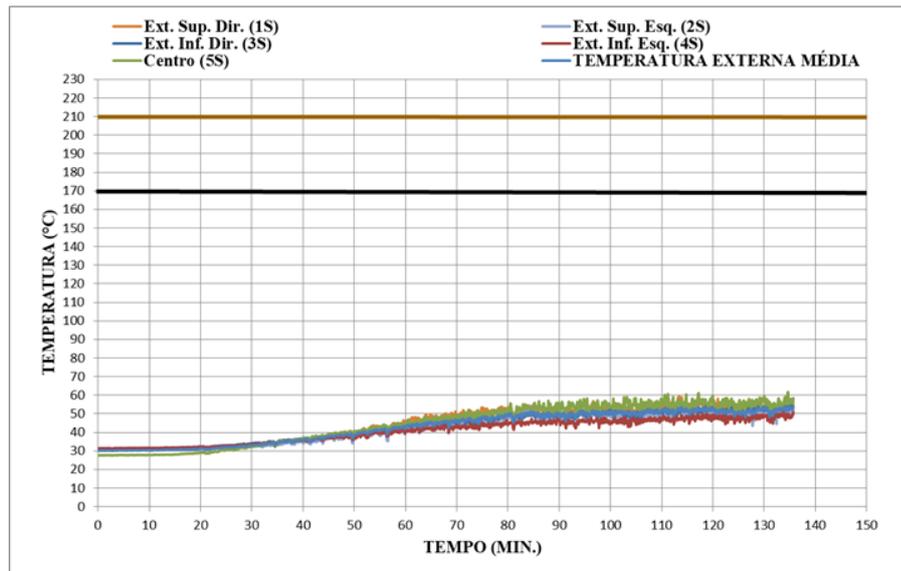
Gráfico 13 – Temperatura dos gases no interior do forno – Parede 20C2



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 14 apresenta o comportamento das temperaturas medidas pelos termopares na face da parede não exposta ao aquecimento. Todos os termopares tiveram curvas de aquecimento muito próximas, durante o ensaio. De 20 a 80 minutos, a taxa de aquecimento da face não exposta foi de aproximadamente 0,33 °C/min.

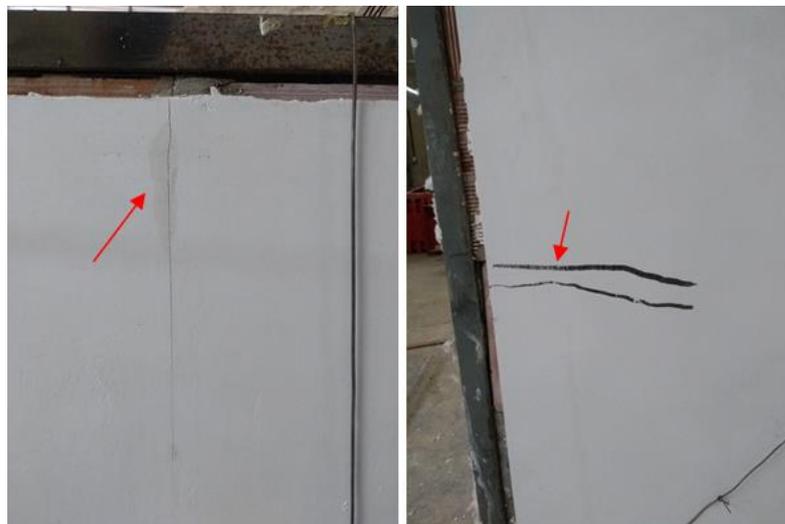
Gráfico 14 – Desenvolvimento da temperatura na face não exposta ao aquecimento – Parede 20C2



Fonte: O Autor (2018)

Os ruídos contínuos, decorrentes do processo de desidratação do revestimento interno, tiveram início no segundo minuto do ensaio e cessaram 2 minutos após. A saída de vapor d'água no topo da parede começou aos 5 minutos de ensaio, momento em que a temperatura interna alcançou cerca de 520 °C, tendo o volume se intensificado aos 21 minutos, após a temperatura alcançar cerca de 750 °C. Aos 45 minutos, a saída de vapor d'água praticamente não ocorreu mais. As primeiras fissuras surgiram no topo e na lateral esquerda da parede, aos 39 e 64 minutos, respectivamente. As fissuras podem ser visualizadas na figura 46.

Figura 46 – Fissuras na face não exposta ao aquecimento da parede 20C2



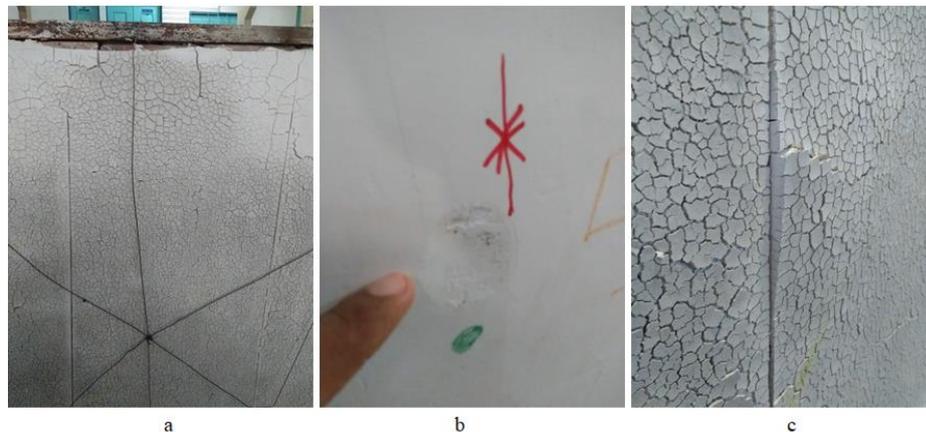
Fonte: O Autor (2018)

Analisando o gráfico 14, observa-se que a parede 20C2 atendeu aos critérios de isolamento térmico da ABNT NBR 10636. As temperaturas registradas externamente apresentaram desenvolvimento bastante similar, tanto individualmente, quanto na média. As referidas temperaturas ficaram em torno de 50 °C, ou seja, cerca de 90 °C abaixo da temperatura máxima média permitida e 150 °C abaixo da temperatura máxima permitida para os termopares individualmente. Portanto, atendeu perfeitamente aos critérios normativos, quanto ao isolamento térmico.

O teste de estanqueidade foi realizado apenas ao término do ensaio, mesmo não identificando saída de gases ou vapores aquecidos através das fissuras.

A figura 47a mostra a face interna da parede após o ensaio de resistência ao fogo. A superfície apresenta fissuras decorrentes do processo de perda de umidade na zona de aquecimento. O teste de estabilidade foi realizado, não resultando em danos que prejudicassem a estabilidade da parede, conforme pode ser observado nas figuras 47b e 47c.

Figura 47 – Superfície interna (a, c) e externa (b) da parede 20C2 após teste de estabilidade



Fonte: O Autor (2018)

5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO - PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE GESSO COMPACTOS

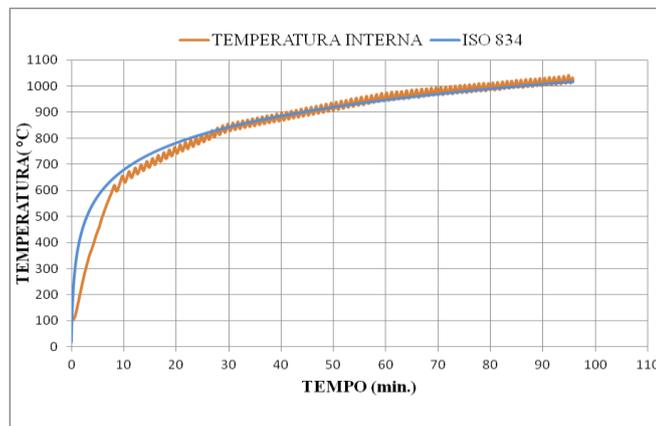
Será apresentado, nesta seção, o desempenho quanto à resistência ao fogo, das três paredes executadas em blocos de gesso compactos, com base nos critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

5.3.1 Parede 50G – 50 mm de espessura

A parede 50G foi ensaiada em 23/01/2019, às 17h30, após 16 dias de cura. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 33°C.

A curva de aquecimento interno do forno se aproximou da ISO 834-1, em cerca de 30 minutos de ensaio (gráfico 15).

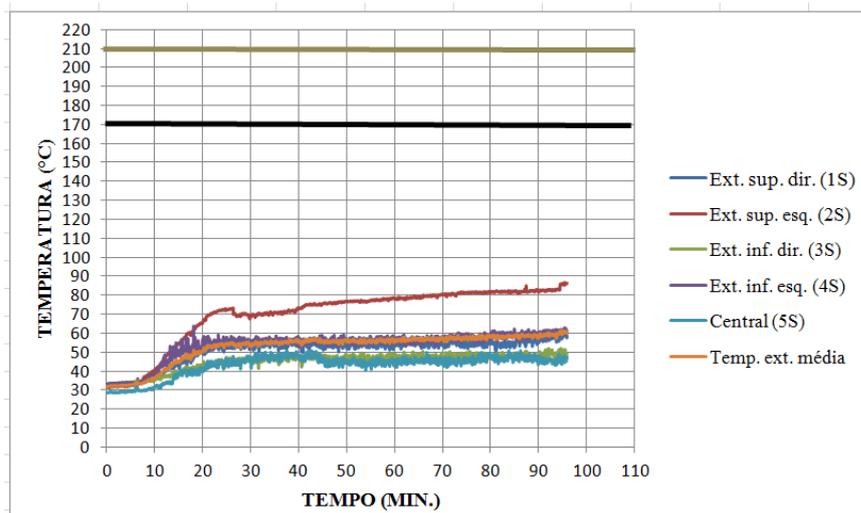
Gráfico 15 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 50G



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 16 mostra as curvas de aquecimento dos fios termopares instalados na face externa da parede. O termopar localizado no quadrante superior esquerdo (2S) foi o que mais se afastou da média das temperaturas externas, enquanto que os outros quatro apresentaram comportamento similares. A temperatura da face externa da parede cresceu a uma taxa de 1,4 °C/min, no intervalo de 8 e 20 minutos. Após essa taxa, foi quase insignificante, fazendo com que a temperatura fosse constante ($\pm 55^{\circ}\text{C}$) até o término do ensaio.

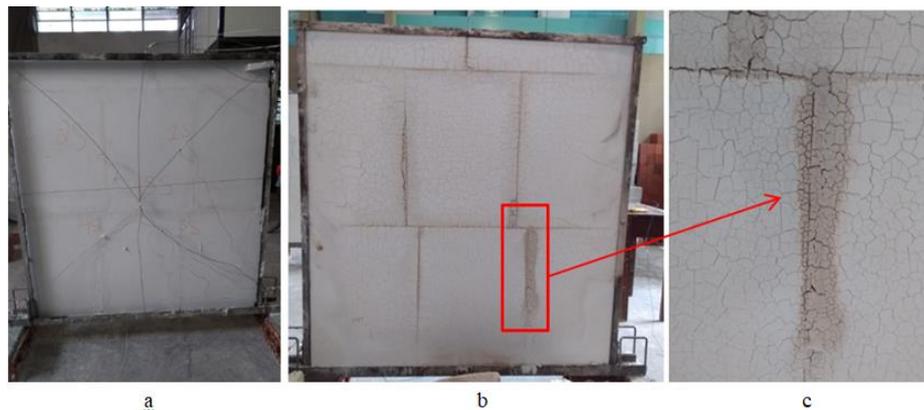
Gráfico 16 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – parede 50G



Fonte: O Autor (2018)

A primeira fissura ocorreu aos 2 minutos de ensaio, numa junta vertical da fiada inferior da parede. As demais fissuras de menor magnitude surgiram por volta dos 5 minutos, também em juntas verticais, e acompanhadas de ruídos intermitentes. De 7 a 16 minutos, ocorreu a saída de vapor d'água da face interna da parede. Aos 26 minutos, aconteceu a fragmentação com posterior deslocamento da camada mais superficial do revestimento interno da parede. Aos 97 minutos, o ensaio foi encerrado, devido a uma pane elétrica que ocorreu no forno. A figura 48 mostra as paredes após o teste de resistência ao fogo.

Figura 48 – Parede 50G antes (a) e após (b, c) ensaio de resistência ao fogo



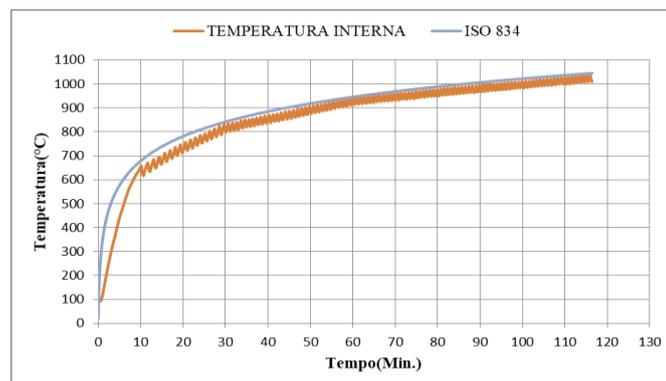
Fonte: O Autor (2018)

5.3.2 Parede 70G – 70 mm de espessura

A parede 70G foi ensaiada em 25/01/2019, às 17h, após 17 dias de cura. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 32°C.

A curva de aquecimento interno do forno se manteve defasada em relação à ISO 834-1 durante todo o ensaio, conforme gráfico 17.

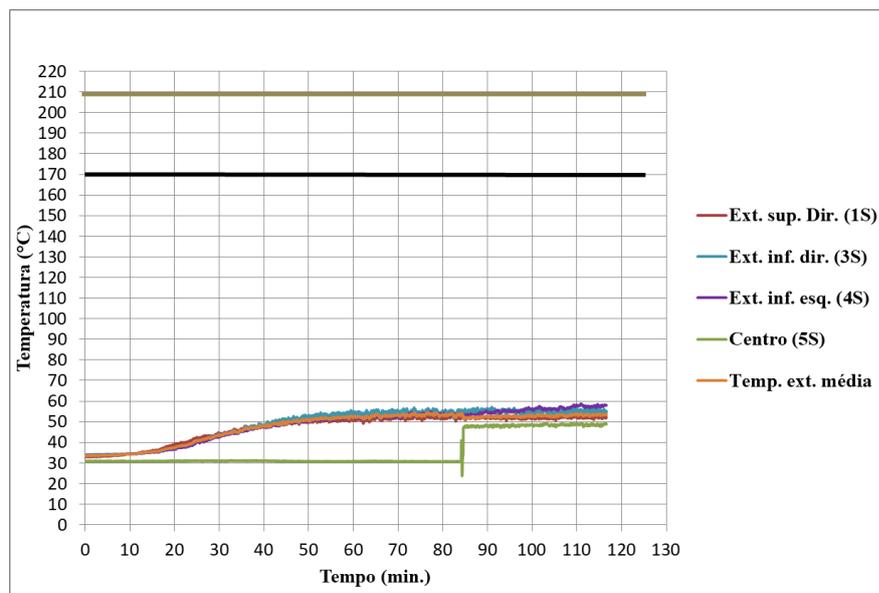
Gráfico 17 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 70G



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 18 mostra as curvas de aquecimento dos fios termopares fixados na face externa da parede. O termopar localizado no quadrante superior esquerdo (2S) teve os dados descartados por suspeita de falha no funcionamento, visto que apresentou durante todo o ensaio temperaturas cerca de 50 °C acima dos demais termopares. O termopar central (5S), durante os primeiros 84 minutos, apresentou problemas na conexão com o data logger. O problema foi corrigido e as medições foram inclusas na média das temperaturas da face externa. Um aumento considerável da temperatura foi registrado entre 15 e 47 minutos, a uma taxa de 0,4 °C/min, quando a temperatura variou de 37°C para 50°C, permanecendo nesta até o término do ensaio.

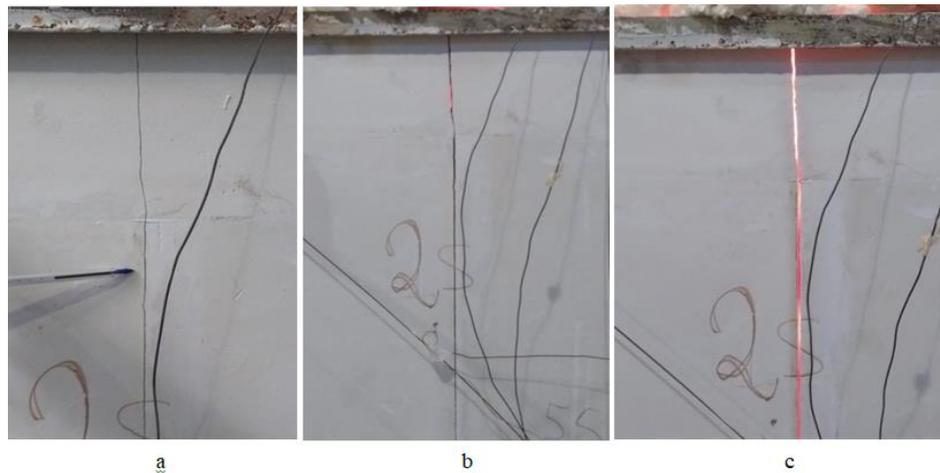
Gráfico 18 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – parede 70G



Fonte: O Autor (2018)

A primeira fissura ocorreu em 1 minuto de ensaio, numa das juntas verticais, acompanhada de fortes ruídos (figura 49a). Entre 7 e 13 minutos, ocorreu a saída de vapor d'água na região superior da parede e também pela primeira fissura surgida na parede, na qual foi executado o 1º teste de estanqueidade, sem que o algodão inflamasse. Aos 48 minutos, a fissura aumentou de espessura, a ponto de ser possível ver as resistências incandescentes (figura 49b). Aos 60 minutos, foi realizado o 2º teste de estanqueidade, sem que o algodão inflamasse. Entretanto, aos 116 minutos, observando que a espessura da fissura aumentou consideravelmente (figura 49c), optou-se por realizar o teste de estanqueidade pela 3ª vez, tendo o chumaço entrado em combustão e, por consequência, o teste foi encerrado por falha no critério estanqueidade.

Figura 49 – Parede 70G antes e durante o ensaio de resistência ao fogo



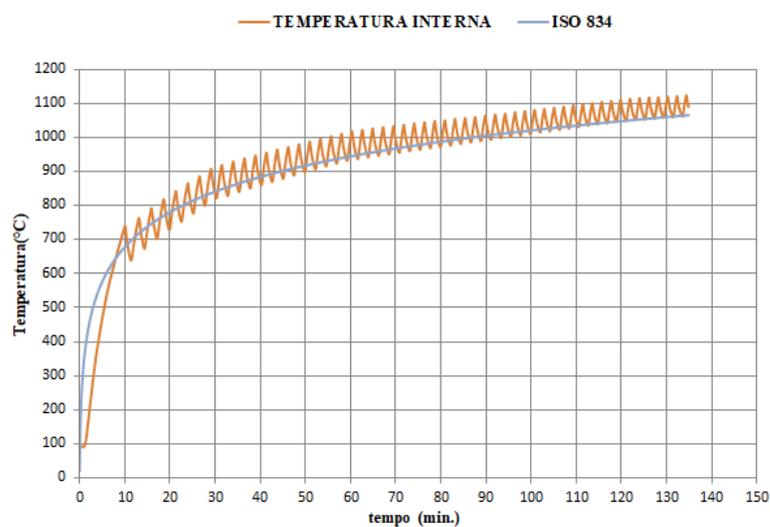
Fonte: O Autor (2018)

5.3.3 Parede 100G – 10 mm de espessura.

A parede 100G foi ensaiada em 29/01/2019, às 16h, após 21 dias de cura. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 32°C.

A curva de aquecimento interno do forno ficou abaixo da curva ISO 834-1 durante os 8 minutos iniciais de ensaio e, em seguida, passou a oscilar bastante (gráfico 19).

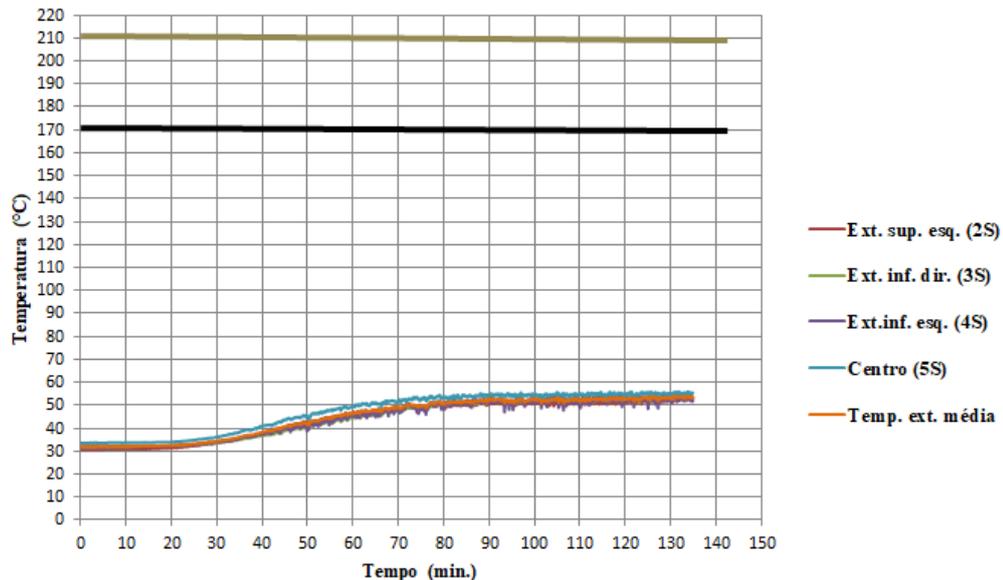
Gráfico 19 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície interna – Parede 100G



Fonte: O Autor (2018)

O gráfico 20 mostra as curvas de aquecimento dos fios termopares instalados na face externa da parede. O termopar localizado no quadrante superior direito (1S) não funcionou, logo foi excluído do cálculo da temperatura média externa. A taxa de crescimento da temperatura foi 0,4 °C/min. No intervalo de 20 e 70 minutos, a temperatura variou de 30°C para 50°C, permanecendo constante a partir de então.

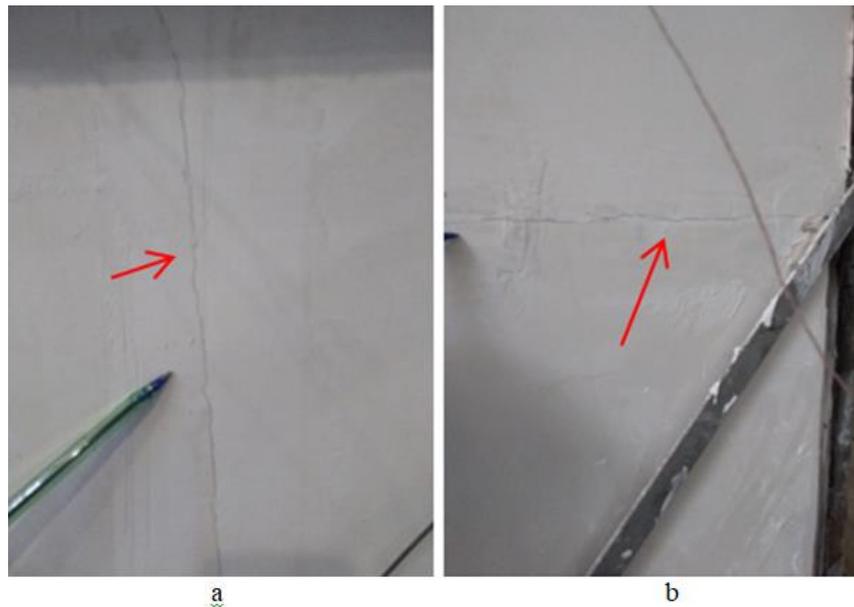
Gráfico 20 – Temperaturas registradas pelos termopares da superfície externa – Parede 100G



Fonte: O Autor (2018)

A saída de vapor d'água da face interna começou com 4 minutos do início da curva ISO 834-1, intensificou nos 7 minutos subsequentes e se tornou quase imperceptível aos 18 minutos. A primeira fissura (figura 50a) foi identificada aos 5 minutos, tendo origem na junta vertical dos blocos e se estendendo até o centro do bloco da fiada do topo. Aos 23 minutos, surgiu uma fissura localizada na junta horizontal de assentamento (figura 50b). Mesmo a fissura principal sendo pouco espessa, foram realizados 2 testes de estanqueidade, um aos 127 minutos e outro aos 135 minutos, porém em ambos o algodão não inflamou. Logo, a parede 100G foi considerada estanque, momento em que também foi encerrado o ensaio.

Figura 50 – Fissuras vertical (esq.) e horizontal (dir.) registradas durante ensaio da parede 100G



Fonte: O Autor (2018)

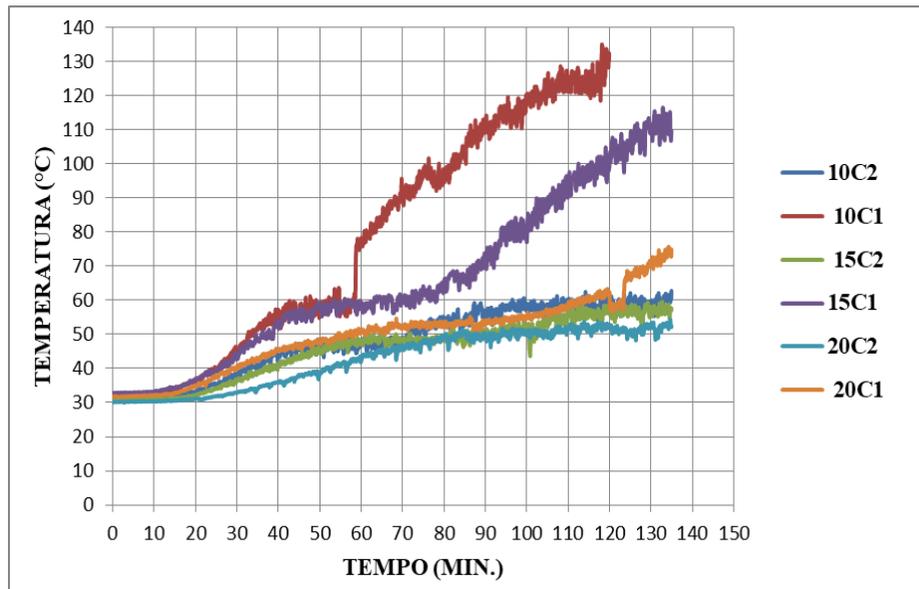
5.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS PAREDES

Nesta seção, serão comparados os desempenhos de cada parede referentes aos testes de resistência ao fogo, com ênfase nos critérios de isolamento térmico e de estanqueidade. Cada parede será representada, nos gráficos a seguir, por sua respectiva curva de aquecimento, correspondente à média dos termopares fixados na face não exposta ao aquecimento. Visando prover uma melhor visualização dos gráficos com curvas muito próximas, a escala do eixo vertical, correspondente à temperatura, foi ampliada até o valor máximo de 140 °C, visto que nenhuma das paredes ultrapassou esse valor.

O gráfico 21 mostra o desempenho das paredes de alvenaria em blocos cerâmicos. Observando as curvas encontradas, nota-se que as paredes 10C1 e 15C1 apresentaram desempenho bem abaixo das demais, sobretudo a partir dos 70 minutos de ensaio. Destaque também para o ponto de descontinuidade (60°C para 78°C), ocorrido na curva da parede 10C1, devido a um ajuste de posição realizado no termopar 1S.

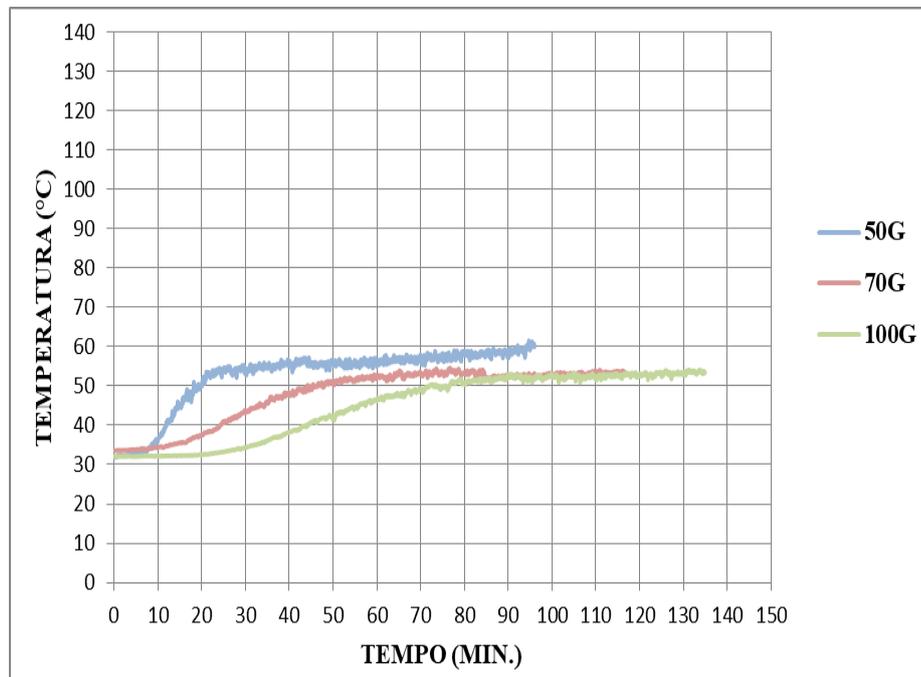
O gráfico 22 mostra o desempenho das paredes de alvenaria em blocos de gesso compactos. Até os oito minutos de ensaio, as paredes apresentaram comportamento similar; de 8 a 30 minutos, a parede 50G cresceu a uma taxa bem maior em relação às outras duas. Chama a atenção a partir dos 85 minutos, quando a temperatura das três paredes apresenta comportamento convergente, em especial, as paredes 70G e 100G, que se igualam, ao se aproximarem de 52°C.

Gráfico 21 – Curvas de aquecimento das paredes de alvenaria em blocos cerâmicos



Fonte: O Autor (2018)

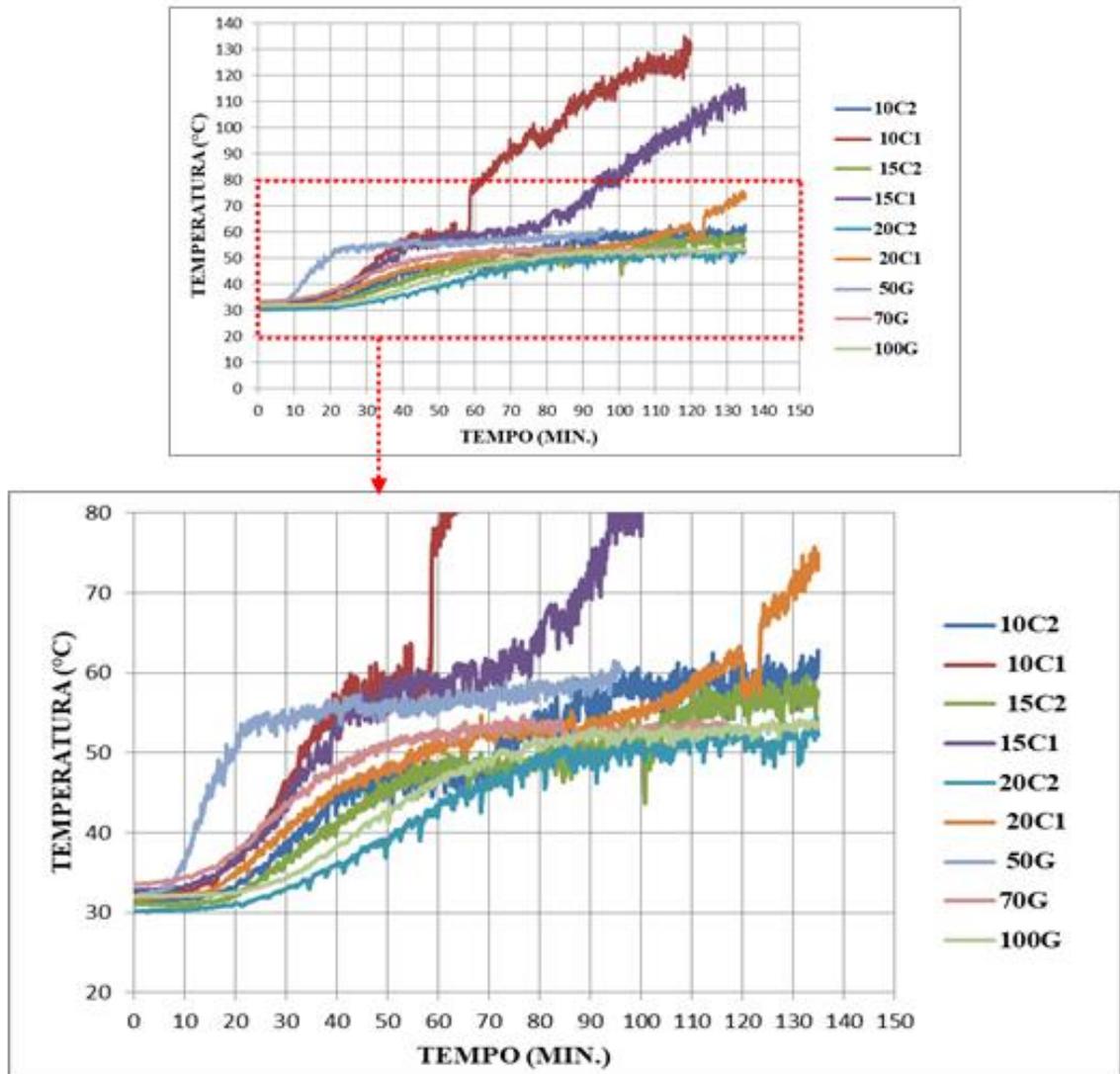
Gráfico 22 – Curvas de aquecimento das paredes de alvenaria em blocos compactos de gesso



Fonte: O Autor (2018)

No gráfico 23 estão reunidas as curvas dos gráficos 21 e 22, e em seguida foi ampliada a região de maior densidade de curvas.

Gráfico 23 – Curvas de aquecimento de todas as paredes ensaiadas (adaptado)



Fonte: O Autor (2018)

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As curvas de aquecimento da face da parede exposta ao aquecimento (interior do forno) apresentaram comportamento aceitável na maioria dos ensaios. A maior defasagem da curva real em relação à teórica ocorreu sempre abaixo dos 30 minutos de ensaio. Vale salientar que o pré-aquecimento no início de cada ensaio, antes da curva ISO 834-1, foi justamente visando superar a inércia térmica do forno e diminuir essa defasagem.

Com relação à estanqueidade, pode-se concluir que, embora todas as paredes tenham apresentado fissuras em diferentes níveis e espessuras, inclusive com passagem de gases aquecidos, apenas no teste da parede em alvenaria de blocos de gesso de 70 mm de espessura (70G) ocorreu a combustão do chumaço de algodão.

No caso das paredes compostas por blocos cerâmicos vazados, as fissuras apresentaram um comportamento similar, principalmente as surgidas no início de cada ensaio. Desenvolveram-se na direção vertical e na interface bloco-argamassa, por vezes irradiando para os blocos. Ao término do ensaio, as paredes apresentaram fissuras, em ambas as superfícies, sobretudo na interna, em decorrência do intenso processo de desidratação, contudo, sem apresentar indícios de colapso, o que foi comprovado no teste de estabilidade.

No caso das paredes compostas por blocos de gesso compactos, as fissuras surgiram sempre na junta de assentamento entre blocos (preenchida por gesso cola), ainda nos 10 minutos iniciais da curva ISO 834-1. Assim como no revestimento de gesso da face interna das paredes compostas de blocos cerâmicos, a face interna das paredes de blocos de gesso apresentou fissuração intensa decorrente do processo de desidratação. Quanto à estabilidade, não se pode tirar maiores conclusões, visto que o teste de impacto não foi realizado nas três amostras.

Quanto ao isolamento térmico proporcionado pelo revestimento de gesso nas paredes, ficou claro, através das curvas de aquecimento das faces externas, que o acréscimo na espessura dos revestimentos de gesso aumenta o isolamento térmico, comprovando uma das hipóteses iniciais deste estudo. A seguir, as paredes de blocos cerâmicos estão colocadas em ordem crescente de desempenho, quanto ao isolamento térmico aos 120 minutos de ensaio:

- Parede 10C1 (10 mm de gesso em uma das faces): Apresentou pior desempenho térmico com temperatura média na face externa de 130,3 °C;
- Parede 15C1 (15 mm de gesso em uma das faces): Com temperatura média na face externa de 102 °C;

- Parede 20C1 (20 mm de gesso em uma das faces): Com temperatura média na face externa de 63,3 °C;
- Parede 10C2 (10 mm de gesso nas duas faces): Com temperatura média na face externa de 60,8 °C;
- Parede 15C2 (15 mm de gesso nas duas faces): Com temperatura média na face externa de 57,2 °C;
- Parede 20C2 (20 mm de gesso nas duas faces): Com temperatura média na face externa de 52,1 °C.

As paredes 10C1 e 15C1 apresentaram desempenho térmico muito abaixo das demais. Tomando como referência a temperatura da parede 20C2 (melhor desempenho) aos 120 minutos, a parede 10C1 apresentou apenas 40% do desempenho da parede 20C2, ao passo que a parede 15C1, 48%. As demais paredes apresentaram melhor desempenho, a saber: Parede 20C1, 82,3%; Parede 10C2, 85,7%; Parede 15C2, 91,1%.

Ainda com relação ao isolamento térmico, observou-se que a espessura total de revestimento (soma da espessura das duas faces) teve maior influência no isolamento térmico do que a forma como o revestimento foi distribuído nas faces, visto que as paredes 20C1 (20mm de gesso numa face) e 10C2 (10mm de gesso por face) apresentaram curvas de aquecimento muito próximas (ver gráfico 22).

Vale ressaltar alguns critérios adotados durante a execução dos ensaios:

- Os corpos de prova utilizados tinham dimensões 1,50 x 1,50m, quando a norma exige no mínimo 2,50 x 2,50m;
- 135 minutos foi o tempo máximo de ensaio, independentemente de falha na estanqueidade ou no isolamento térmico;
- O teste de estabilidade foi realizado no dia seguinte aos testes de estanqueidade e isolamento térmico.

Comparando os resultados obtidos com os critérios previstos na NBR 10636, pode-se atribuir a todas as paredes de alvenaria em blocos cerâmicos revestidas de gesso a classificação mínima CF 120, visto que atenderam aos critérios normativos por, no mínimo, 120 minutos.

Analisando o gráfico 21, no qual foi possível observar o isolamento térmico proporcionado pelas seis paredes revestidas de pasta de gesso, conclui-se que as paredes revestidas em ambas as faces proporcionaram isolamento térmico semelhante. Entretanto, partindo-se da premissa de que, na engenharia de segurança contra incêndio, o fator custo é

intrínseco à solução adotada, no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da construção civil – SINAPI, referente ao mês de fevereiro de 2019, o valor do m² de revestimento de paredes com gesso sarrafeado de espessura 15 mm é 15% superior ao mesmo serviço com espessura 10 mm. Logo, para alvenarias de vedação em blocos cerâmicos das quais seja exigido TRRF mínimo de 120 minutos, o revestimento de gesso com espessura 10 mm é o que apresenta melhor relação custo x benefício para aplicação em ambientes sem riscos adjacentes.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se:

- A execução de pesquisas voltadas para alvenaria de vedação com diferentes classes de blocos cerâmicos e de concreto, além de variar o tipo de revestimento;
- Variar a relação água/gesso da pasta e ver o quanto o teor de umidade pode influenciar no processo de fissuração do revestimento interno, quando sujeito a temperaturas características de processo de incêndio;
- Construir paredes compostas por blocos de gesso vazados, com diferentes espessuras comerciais, e submetê-las ao ensaio de resistência ao fogo, conforme a ABNT NBR 10636:1989, a fim de avaliar a influência dos vazios no desempenho térmico enquanto elementos de compartimentação horizontal.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. M. S. **O polo gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004, 259 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10636:** Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo. 1 ed. Rio de Janeiro, 1989. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- 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. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16494:** Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 12 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16657:** Bloco de gesso — Alvenaria de vedação — Execução, inspeção e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 13 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. ABNT, 2017. 32 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2:** Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 35 p
- BEICHEL, A. Argamassa projetada à base de gesso para revestimento interno. In: GYPSUM FAIR, 1997, Olinda. **Anais [...]** Olinda: FINEP, ITEP, 1997. p. 107-111.
- BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.
- BONITESE, Karina Venâncio. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço.** 2007. 278 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- BORGES, Iago de Albuquerque. **Alvenarias de vedação em blocos de concreto simples submetidas a elevadas temperaturas características de processos de incêndio.** 2018. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

- COELHO, Antônio A. C. de Miranda. **Estudos do comportamento das alvenarias de vedação em blocos cerâmicos, submetidos a elevadas temperaturas**. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CBPMSP). Coletânea de Manuais Técnicos. **Manual de Fundamentos do Corpo de Bombeiros**. v.00. 2.ed. 2006.
- CORRÊA, Cristiano; *et al.* Mapeamento de Incêndios em Edificações: um estudo de caso na cidade do Recife. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 2(3): 15-34, 2015.
- CORRÊA, Cristiano; *et al.* Incêndio em compartimento de residência na Cidade do Recife: Um estudo experimental. **Revista ALCONPAT**, v. 7, n. 3, p. 215-230. 2017a.
- COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. **Seminário Internacional NUTAU**, 2006.
- CTIF, Centre of Fire Statistics (International Association of Fire and Rescue Services). **World Fire Statistics, Report nº23**, p.62. 2018.
- DELGADO, C.B.; PIRES SOBRINHO, C.W.A. Revestimentos de Gesso: pasta e Argamassa: determinação das propriedades mecânicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais [...]** Salvador: ANTAC, 1997. p. 192-202.
- DIAS, A.M.N. **Gesso de Construção**: caracterização do pó, pasta e argamassa e aplicação como revestimento interno. 1994. 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- DIAS, E. M. Barbosa. **Comportamento estrutural de edifícios de múltiplos andares considerando as alvenarias de vedação**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- FERREIRA, Fernanda Cavalcanti. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. 2017. 200 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- FILHO, A. V. de Siqueira. **Estudo da patologia do amarelamento pós-pintura nos pré-moldados**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- DŽADIĆ, Sanin. Fire resistance of reinforced concrete slabs according to EC2 and branz TR8. **MODERN THEORY AND PRACTICE IN CONSTRUCTION**, v. 13, n. 1, 2018.

GARCIA, Patricia Domingues. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. 2000. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

INGHAM, Jeremy P. Application of petrographic examination techniques to the assessment of fire-damaged concrete and masonry structures. **Materials characterization**, v. 60, n. 7, p. 700-709, 2009.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 834-1**: Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements. 1 ed. Switzerland, 1999. 25 p.

LARA, Helena Arias *et al.* Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. **Ambiente Construído**, 2016.

LEITÃO, M. A. S. . Gesso: Conhecimento e Uso na Engenharia. In: XXXIII Cobenge - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, Campina Grande. Anais do XXXIII COBENGE- Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, **Anais [...]** 2005. v. 1.

LEITE, H. A. L.; MORENO JÚNIOR, 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. 2016.

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

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

OLIVEIRA, Romilde Almeida *et al.* Edificações em alvenaria resistente na região metropolitana do Recife. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 175-199, 2017.

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.

PERES, Luciano; FILHO, J. I. de Oliveira; ALENCAR, Hidelberto. Potencialidades do Pólo Gesseiro do Araripe. **In: SIMPÓSIO POLO GESSEIRO DO GESSEIRO DO ARARIPE: Potencialidade, Problemas e Soluções**. 2004, Araripina.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **Gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: SEBRAE. 2008. 120 p.

- PITANGA, Marcelo de Andrade. **Contribuição ao estudo de pórticos de concreto armado preenchidos com alvenaria de blocos cerâmicos**. 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- 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 da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- ROCHA, Carlos Augusto Laranjeira. **O gesso na indústria da construção civil: considerações econômicas sobre utilização de blocos de gesso**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- SALES, Carlos A. Santos. **Análise de resistência ao fogo de blocos de alvenaria cerâmica de vedação utilizando proteção de tinta intumescente**. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.
- SOBRINHO, C. W. de A. Pires, *et al.* Divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso-vantagens técnicas, econômicas e ambientais. **Instituto de Tecnologia de Pernambuco**, 2011.
- SILVA, J. B. V.; SILVA, R. V. Comportamento da microestrutura do concreto em situação de incêndio. **Revista Flammae**. v. 2, n. 03. Edição de jan a jun, 2016.
- SILVA, Marcelo Lima. **Colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.
- TAGUCHI, Mário Koji. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- VALLE, J. B. de Senna. **Patologia das Alvenarias–Causa/Diagnóstico/Previsibilidade**. 2008. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia da Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta. **Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS/Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA, 2003.