

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

Iago de Albuquerque Borges

**ALVENARIAS DE VEDAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES
SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DE
PROCESSOS DE INCÊNDIO**

Recife

2018

Iago de Albuquerque Borges

**ALVENARIAS DE VEDAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES
SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DE
PROCESSOS DE INCÊNDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas com Ênfase em Construção Civil.

Orientador Interno: Prof. Dr. Antônio Acácio de Melo Neto.

Orientador Externo: Prof. Dr. José Jéferson Rego Silva.

Recife

2018

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

- B732a Borges, Iago de Albuquerque.
 Alvenarias de vedação em blocos de concreto simples submetidas a elevadas temperaturas características de processos de incêndio / Iago de Albuquerque Borges. - 2018.
 158 folhas, il., e simb.
- Orientador Interno: Prof. Dr. Antônio Acácio de Melo Neto.
 Orientador Externo: Prof. Dr. José Jéferson Rego Silva.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.
 Inclui Referências, Apêndices.
1. Engenharia Civil. 2. Análise experimental. 3. Alvenarias de vedação. 4. Blocos vazados de concreto simples. 5. Elevadas temperaturas. 6. Incêndio. I. Melo Neto, Antônio Acácio de (Orientador Interno). II. Silva, José Jéferson Rego (Orientador Externo). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-221



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 DE CONCRETO SIMPLES
SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DE
PROCESSOS DE INCÊNDIO**

defendida por

Iago de Albuquerque Borges

Considera o candidato APROVADO

Recife, 13 de abril de 2018

Prof. Dr. Antônio Acácio de Melo Neto – 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)

Major Dr. Cristiano Corrêa – CBMPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira – UNICAP
(examinador externo)

Agradecimentos

Agradecimento primeiramente e em especial a Deus por toda saúde e força a mim concedido.

Agradecimento especial a todos os familiares dentre eles: mãe (Rosine Lima de Albuquerque), Pai (Gutenberg Melo de Seixas Borges), Avó (Roseles Lima de Albuquerque), namorada e companheira (Monalyssa Lira Ramos), tios (Luciano Lima de Albuquerque e Lucio Lima de Albuquerque), tias (Angélica Melo de Seixas Borges e Rosane Lima de Albuquerque) e Irmão (Lucas de Albuquerque Borges); que acreditaram na minha capacidade e me concederam todo apoio material e imaterial para que eu pudesse ter a oportunidade de assumir a responsabilidade de desenvolver este trabalho com afinco e competência.

Agradecimento aos professores pertencentes ao Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, em destaque ao professor Dr. José Jéferson Rego Silva pelo apoio durante o processo de realização do trabalho.

Agradecimento aos meus amigos e colegas da graduação e pós-graduação: Paulo Sousa, Roberta Tabaczinski e Cristovão Feitosa pelo apoio e auxílio durante a realização dos experimentos laboratoriais.

Agradecimento aos técnicos laboratoristas pertencentes ao Departamento de Engenharia Civil da UFPE pelo auxílio durante a realização de todas as atividades laboratoriais.

Agradecimento ao órgão de fomento FACEPE, que através da bolsa de auxílio possibilitou a manutenção de uma dedicação exclusiva aos estudos e ao desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

O corrente trabalho tem como ênfase o estudo e a análise experimental de alvenarias de vedação compostas por blocos de concreto simples e argamassa cimentícia submetidas a elevadas temperaturas características de processos de incêndios, sendo estes residenciais e considerados com composição predominante de materiais celulósicos. Dentre os objetivos gerais está: identificar por análise experimental os comportamentos, características e a seguridade quanto à capacidade de isolamento térmico, à estanqueidade aos gases e fumaça e à estabilidade estrutural de paredes de alvenaria de vedação construídas em blocos vazados de concreto simples (com e sem revestimentos por argamassas cimentícias) frente a um carregamento térmico aplicado através de uma curva teórica de temperatura no tempo característica de um processo de incêndio padrão, estabelecida por normatizações nacionais e internacionais. Após os ensaios térmicos das paredes, foram realizados ensaios de caracterização quanto a dimensão, absorção de água, módulo de elasticidade e resistência à compressão axial dos materiais, através de corpos de prova de blocos vazados de concreto simples, prismas constituídos por dois blocos e exemplares prismáticos de argamassa. Os ensaios de resistência a compressão foram desenvolvidos em condições ambientes de temperatura e umidade, em condições de saturação a temperatura ambiente e em elevadas temperaturas (200 °C, 400 °C, 600 °C e 800 °C), visando a identificação das influências do teor de umidade, da exposição e permanência nas elevadas temperaturas e das altas taxas de aquecimento nas características e resistências desses materiais componentes. A partir dos resultados obtidos, foi possível o estabelecimento de algumas conclusões significativas tanto para os ensaios de caracterização dos materiais utilizados: em que para os blocos e prismas de argamassa a redução de resistência de forma mais significativa foi observada apenas após os 400°C, tornando-se valores nulos aos 800°C (devido ao alto grau de desagregação e fissura generalizada dos materiais); além de ser possível constatar que para esses materiais utilizados o momento de resistência crítico está após o método de resfriamento por jateamento de água, análogo ao que pode ser observado durante ao processo de combate a incêndio. Considerando as conclusões obtidas para os ensaios térmicos das paredes, foi possível destacar que a presença ou não da argamassa cimentícia de revestimento, assim como a sua espessura, influenciam significativamente de forma positiva no comportamento das curvas de aquecimento na região aquecida da face não exposta ao aquecimento, no aparecimento de deformações (desaprumo), na ocorrência das fissuras e formas de ruptura das paredes.

Palavras-chave: Análise experimental. Alvenarias de vedação. Blocos vazados de concreto simples. Elevadas temperaturas. Incêndio.

ABSTRACT

The current work has as an emphasis the study and the experimental analysis of masonry of sealing composed of blocks of simple concrete and cementitious mortar submitted to high temperatures characteristic of fire processes, being these residential and considered with predominant composition of cellulosic materials. Among the general objectives is to identify, by experimental analysis, the behavior, characteristics and safety of thermal insulation, gas and smoke sealing and structural stability of masonry walls made of simple concrete uncoated by cement mortars) against a thermal load applied through a theoretical time-temperature curve characteristic of a standard fire process established by national and international regulations. After the thermal tests of the walls, characterization tests were carried out regarding the dimension, water absorption, modulus of elasticity and resistance to the axial compression of the materials, through test pieces of single concrete cast blocks, prisms consisting of two blocks and exemplars mortar prisms. The compressive strength tests were developed under ambient conditions of temperature and humidity, in saturated conditions at room temperature and at high temperatures (200 ° C, 400 ° C, 600 ° C and 800 ° C), in order to identify the influences moisture content, exposure and permanence at high temperatures and high heating rates in the characteristics and strengths of these component materials. From the obtained results, it was possible to establish some significant conclusions both for the tests of characterization of the materials used: in that for the blocks and prisms of mortar the reduction of resistance of more significant form was observed only after the 400 ° C, becoming zero values at 800 ° C (due to the high degree of disaggregation and generalized fissure of the materials); in addition to being possible to verify that for these materials used the moment of critical resistance is after the method of cooling by water blasting, analogous to what can be observed during the process of fire fighting. Considering the conclusions obtained for the thermal tests of the walls, it was possible to emphasize that the presence or not of the cementitious coating mortar, as well as its thickness, have a positive influence on the behavior of the heating curves in the heated region of the face not exposed to the heating, in the appearance of deformations (disappearance), in the occurrence of cracks and forms of wall rupture.

Keywords: Experimental analysis. Non-structural masonry. Hollow concrete blocks. High temperatures. Fire.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de Evolução de um Incêndio de Combustível Celulósico.....	34
Gráfico 2 - Curva de Temperatura x Tempo dos gases de um Incêndio Experimental para Cargas Combustíveis Diferenciadas	35
Gráfico 3 - Curva de Temperatura x Tempo dos Gases de um Incêndio Experimental para Graus de Ventilação Diferenciados	36
Gráfico 4 – Curva de Tempo x Temperatura Representativa de um Incêndio Padrão	37
Gráfico 5 - Resistência à Compressão de Diferentes Argamassas de Cimento Portland Submetidas a Elevadas Temperaturas	40
Gráfico 6 - Resistência à Compressão de Diferentes Concretos Pesquisados Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	41
Gráfico 7 – Módulo de Elasticidade de Diferentes Concretos Pesquisados Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	41
Gráfico 8 – Ciclo de Carregamentos para Ensaio de Módulo de Elasticidade Longitudinal ...	74
Gráfico 9 – Resultado da Determinação das Absorções Parciais	77
Gráfico 10 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para os Blocos	82
Gráfico 11 – Resistência Característica Estimada à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	85
Gráfico 12 – Percentuais da Resistência Característica Estimada à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas	85
Gráfico 13 - Resistência Média à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas	86
Gráfico 14 - Percentuais da Resistência Média à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	86
Gráfico 15 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para os Prismas.....	92
Gráfico 16 - Resistência Média à Compressão dos Prismas Submetidos a Elevadas Temperaturas	93
Gráfico 17 - Percentuais da Resistência Média à Compressão dos Prismas Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	94
Gráfico 18 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para as Argamassas	99
Gráfico 19 - Resistência Média à Compressão dos Exemplares de Argamassa Submetidos a Elevadas Temperaturas.....	101

Gráfico 20 - Percentuais da Resistência Média à Compressão das Argamassas Submetidas a Elevadas Temperaturas.....	101
Gráfico 21 – Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 1	104
Gráfico 22 – Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 1	105
Gráfico 23 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 2	107
Gráfico 24 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 2	107
Gráfico 25 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 3	111
Gráfico 26 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 3	111
Gráfico 27 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 4	114
Gráfico 28 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 4	114
Gráfico 29 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 5	118
Gráfico 30 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 5	118
Gráfico 31 – Curvas de Aquecimento Médio para os Termopares das Faces Não Expostas das Paredes.....	121

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1- Resistência Característica à Compressão Estimada - Valor Não Conhecido do Desvio Padrão.....	25
Fórmula 2- Resistência Característica à Compressão Estimada – Valor Conhecido do Desvio Padrão	26
Fórmula 3- Determinação da Absorção de Água	28
Fórmula 4- Determinação do Módulo de Elasticidade - CEB-FIB Mode Code	29
Fórmula 5- Determinação do Módulo de Elasticidade - ACI - Building Code 318.....	29
Fórmula 6- Tempo / Temperatura para um Incêndio Padrão (Internacional).....	36
Fórmula 7- Tempo/Temperatura para um Incêndio Padrão (Nacional)	37

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Forno Menor (Utilizado para Blocos e Prismas).....	49
Foto 2 – Forno Maior (Utilizado para Paredes).....	49
Foto 3 – Termopares do Tipo K	50
Foto 4 – Data Logger Quantum X	50
Foto 5 – Célula de Carga	51
Foto 6 – Pesagem dos Blocos	52
Foto 7 – Saturação dos Blocos	53
Foto 8 – Configuração para Ensaio Térmico dos Blocos	55
Foto 9 – Configuração dos Blocos com os Termopares	55
Foto 10 – Configuração para Ensaio Térmico dos Prismas	57
Foto 11 – Configuração para Ensaio Térmico das Argamassas	58
Foto 12 – Corpos de Prova de Alvenaria.....	60
Foto 13 – Posicionamento dos Termopares na Zona de Influência do Forno na Face Não Exposta ao Aquecimento	61
Foto 14 – Contato do Forno com a Parede Durante Ensaio Térmico.....	62
Foto 15 – Verificação da Estabilidade das Paredes Após Ensaio Térmico	64
Foto 16 – Preparação do Bloco para Ensaio de Resistência à Compressão Axial	65
Foto 17 – Metodologia de Ensaio a Quente Blocos	66
Foto 18 – Metodologia de Ensaio a Quente Blocos	66
Foto 19 – Resfriamento Brusco dos Blocos por Jato de Água	67
Foto 20 - Preparação do Prisma para Ensaio de Resistência à Compressão Axial	68
Foto 21 - Metodologia de Ensaio a Quente Prismas	69
Foto 22 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão das Argamassas.....	70
Foto 23 - Ensaio de Resistência à Compressão das Argamassas	70
Foto 24 - Metodologia de Ensaio a Quente Argamassas.....	71
Foto 25 – Montagem para Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade Longitudinal dos Blocos	72
Foto 26 – Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade dos Blocos	73
Foto 27 – Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade dos Prismas	75
Foto 28 – Bloco Ensaiado à Resistência à Compressão Axial	78
Foto 29 – Bloco Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial	78

Foto 30 – Bloco Saturado Ensaiado à Resistência à Compressão Axial	80
Foto 31 – Bloco Saturado Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial	80
Foto 32 – Blocos Após Ensaio Térmico a 400 °C	83
Foto 33 - Blocos Após Ensaio Térmico a 600 °C	83
Foto 34 - Blocos Após Ensaio Térmico a 800 °C	84
Foto 35 – Desagregação dos Blocos Após Ensaio Térmico 800 °C - 1	87
Foto 36 - Desagregação dos Blocos Após Ensaio Térmico 800 °C – 2	88
Foto 37 - Prisma Ensaiado à Resistência à Compressão Axial	89
Foto 38 - Prisma Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial.....	89
Foto 39 – Argamassa Ensaída à Resistência à Tração na Flexão	95
Foto 40 - Argamassa Ensaída à Resistência à Compressão	95
Foto 41 - Argamassa Após Ensaio de Resistência à Compressão	96
Foto 42 – Exemplos de Argamassa Ensaídos Termicamente até 600 °C, Resfriados Bruscamente e Resfriados Lentamente.....	100
Foto 43 – Exemplar de Argamassa Desagregado Após Ensaio Térmico à 800 °C e Resfriamento Lento	102
Foto 44 - Exemplar de Argamassa Desagregado Após Ensaio Térmico à 800 °C e Resfriamento Brusco por Submersão em Água.....	103
Foto 45 – Face Exposta ao Aquecimento da Parede 1 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	105
Foto 46 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 2 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	108
Foto 47 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 2 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	108
Foto 48 – Flecha na Região de Influência do Aquecimento da Face Não Exposta da Parede 2	109
Foto 49 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 3 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	112
Foto 50 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 3 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	112
Foto 51 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 4 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	115
Foto 52 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 4 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	115

Foto 53 – Liberação de Vapor D’água Sob Pressão da Região Superior da Parede 4	116
Foto 54 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 5 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	119
Foto 55 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 5 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resistência Característica à Compressão, Absorção e Retração por Secagem dos Blocos	25
Quadro 2 - Valores de ψ em Função da Quantidade de Blocos da Amostra.....	26
Quadro 3 - Determinação do Módulo de Elasticidade de Alvenarias em Blocos Vazados de Concreto Simples.....	30
Quadro 4 - Propriedades e Importâncias das Argamassas de Assentamento	31
Quadro 5 – Normas para Obtenção dos Requisitos e Classificação das Argamassas	32
Quadro 6 - Amostragem de Blocos para Ensaio Térmico	54
Quadro 7 - Amostragem de Prismas para Ensaio Térmico	56
Quadro 8 - Amostragem de Argamassas para Ensaio Térmico.....	58
Quadro 9 – Resultados do Ensaio de Absorção.....	76
Quadro 10 – Resultados de Resistência à Compressão dos Blocos em Condições Ambiente e Não Saturados.....	79
Quadro 11 – Resultados de Resistência à Compressão dos Blocos em Condições Ambiente e Saturados	81
Quadro 12 – Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Blocos por Temperatura de Ensaio.....	82
Quadro 13 – Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno.....	82
Quadro 14 - Resultados de Resistência à Compressão dos Prismas em Condições Ambiente e Não Saturados.....	90
Quadro 15 - Resultados de Resistência à Compressão dos Prismas em Condições Ambiente e Saturados	91
Quadro 16 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Prismas por Temperatura de Ensaio	91
Quadro 17 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno.....	92
Quadro 18 - Resultados de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão da Argamassa em Condições Ambiente e Não Saturadas.....	97
Quadro 19 - Resultados de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão da Argamassa em Condições Ambiente e Saturadas	98

Quadro 20 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Exemplares de Argamassa por Temperatura de Ensaio	99
Quadro 21 – Resultados de Isolamento Térmico, Estanqueidade e Estabilidade Estrutural das Paredes.....	121
Quadro 22 – Classificação Comparativa dos Resultados das Paredes com o Estabelecido Pela ABNT NBR 10636:1989.....	124
Quadro 23 – Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade para Blocos.....	125
Quadro 24 – Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade para Prismas	126

LISTA DE SÍMBOLOS

a – Absorção total de água do bloco

A_b – Área bruta da seção transversal do bloco

b – largura do bloco

$f_{bk,est}$ – Resistência à compressão característica estimada

f_{bm} - Resistência média da amostra

h – Altura dos blocos

l – Comprimento do bloco

l_{real} - Comprimento real do bloco

m_1 – Massa seca do bloco

m_2 - Massa saturada do bloco

s_d – Desvio padrão de fabricação

T – Temperatura em um instante “ t ”

T_0 – Temperatura inicial

t - tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVAS	21
1.2	OBJETIVOS GERAIS.....	21
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES	23
2.1.1	Blocos de Concreto Simples	23
2.1.1.1	Requisitos Dimensionais	24
2.1.1.2	Requisitos Físico-Mecânicos	25
2.1.1.3	Análise Dimensional.....	27
2.1.1.4	Absorção de Água.....	27
2.1.1.5	Resistência à Compressão.....	28
2.1.1.6	Módulo de Elasticidade	29
2.1.2	Argamassas para Assentamento e Revestimento de Paredes	30
2.2	CONCEITUAÇÃO DE FOGO E INCÊNDIO	32
2.2.1	Curvas de Tempo por Temperatura de um Incêndio.....	34
2.2.1.1	Curvas Experimentais	34
2.2.1.2	Curvas Teóricas	36
2.3	MATERIAIS CIMENTÍCIOS E CONCRETOS SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS.....	38
2.4	ALVENARIAS SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS	44
3	MATERIAIS	48
3.1	BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES	48
3.2	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO.....	48
3.3	FORNOS.....	48

3.4	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E ENSAIO	50
4	MÉTODOS.....	52
4.1	ENSAIOS DE ABSORÇÃO	52
4.2	DIMENSIONAL.....	53
4.3	ENSAIOS TÉRMICOS	54
4.3.1	Blocos	54
4.3.2	Prismas.....	56
4.3.3	Argamassas.....	57
4.3.4	Alvenarias.....	59
4.3.4.1	Verificação do Isolamento Térmico	62
4.3.4.2	Verificação da Estanqueidade.....	63
4.3.4.3	Verificação da Estabilidade	63
4.4	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	64
4.4.1	Blocos	64
4.4.2	Prismas.....	67
4.4.3	Argamassa	69
4.5	ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	72
4.5.1	Blocos	72
4.5.2	Prismas.....	74
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.1	ENSAIOS DE ABSORÇÃO	76
5.2	ENSAIOS TÉRMICOS E MECÂNICOS	77
5.2.1	Blocos	77
5.2.1.1	Blocos em Condições Ambiente.....	78
5.2.1.2	Blocos Após Ensaio Térmico	81
5.2.2	Prismas.....	88
5.2.2.1	Prismas em Condição Ambiente.....	88

5.2.2.2	Prismas Após Ensaios Térmicos.....	91
5.2.3	Argamassas.....	94
5.2.3.1	Argamassa em Condição Ambiente.....	94
5.2.3.2	Argamassa Após Ensaio Térmico.....	98
5.2.4	Alvenarias.....	103
5.2.4.1	Parede de Alvenaria 1 – Não Revestida	103
5.2.4.2	Parede de Alvenaria 2 – Não Revestida	106
5.2.4.3	Parede de Alvenaria 3 – Revestida na Face Exposta ao Aquecimento.....	110
5.2.4.4	Parede de Alvenaria 4 – Revestida na Face Exposta ao Aquecimento.....	113
5.2.4.5	Parede de Alvenaria 5 – Revestida nas Duas Faces	116
5.2.4.6	Comparação dos Resultados	120
5.3	ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	125
5.3.1	Blocos	125
5.3.2	Prismas.....	125
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	127
6.1	CONCLUSÕES	127
6.2	RECOMENDAÇÕES	130
	REFERÊNCIAS.....	132
	APENDICE I - ENSAIOS TÉRMICOS DOS BLOCOS.....	137
	APENDICE II - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS.....	141
	APENDICE III - ENSAIOS TÉRMICOS DOS PRISMAS.....	144
	APENDICE IV - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS.....	148
	APENDICE V - ENSAIOS TÉRMICOS DAS ARGAMASSAS.....	152
	APENDICE VI - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS...154	

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano que pôde ser observado no Brasil no decorrer das últimas décadas, está intimamente atrelado ao aumento nas demandas por moradia e a um consequente déficit habitacional na maior parte das grandes cidades brasileiras. Com a finalidade de diminuir este déficit, muitas técnicas construtivas, economicamente mais viáveis, foram desenvolvidas no mercado desde então, dentre elas a alvenaria estrutural como componente estrutural da edificação (ALMEIDA, 2002 apud ROSEMAN, 2011).

A alvenaria estrutural pode ser caracterizada como um método construtivo racionalizado em que os elementos de vedação são também os que desempenham a função estrutural (VILLAR, 2005). Em suas formas mais primitivas os materiais componentes característicos eram de pedras ou de tijolos de barro de baixa resistência. Alguns exemplos da sua utilização na antiguidade ainda podem ser observados íntegros até os dias atuais, como: as pirâmides do Egito, a muralha da China, pontes e aquedutos arqueados, grandes catedrais, dentre outros (IZQUIERDO, 2011).

Este método construtivo utilizado desde a antiguidade por grande parte das civilizações caracterizou-se como a principal técnica construtiva empregada até o início do século XX (VILLAR, 2005 apud ROSEMAN, 2011). Porém com o desenvolvimento de estudos em materiais como o concreto armado e o aço, que possibilitaram a construção de estruturas mais leves, esbeltas e melhor compreendidas tecnicamente, o sistema de alvenaria estrutural perdeu espaço a partir desse período (RAZEN, 2004 apud CARVALHO, 2007). Isso fez com que a alvenaria passasse a ser mais vista com uma funcionalidade de vedação e travamento da estrutura.

Com a intensificação dos estudos e pesquisas, desenvolvimento das normatizações técnicas e com a disseminação do conhecimento dentro das universidades, a retomada da utilização da alvenaria estrutural deu-se a partir da década de 1950 (CARVALHO, 2007).

No Brasil a retomada da utilização desse método construtivo se deu mais tardiamente (décadas de 1960 e 1970), com o desenvolvimento e utilização dos blocos sílico-calcários, blocos estruturais de concreto e os blocos estruturais cerâmicos (CARVALHO, 2007).

Considerando o período de recessão econômica enfrentado pelo país, a sistemática construtiva em alvenaria estrutural vem se consolidando como um método econômico, moderno e viável, principalmente devido a sua capacidade de racionalização, atrelada ao processo construtivo (CAVALHEIRO, 2004).

Tendo isso em vista, quando um engenheiro projetista projeta uma edificação, dentre os principais aspectos relativos ao desempenho que devem ser considerados estão: a funcionalidade, o conforto, a resistência estrutural, o revestimento e os materiais de vedação empregados, sempre procurando a manutenção desses mesmos aspectos de desempenho quando a edificação é submetida à ocorrência de um incêndio (RIGÃO, 2012).

“A resistência ao fogo é a capacidade de um elemento estrutural permanecer exercendo as funções para as quais foi projetado durante um determinado tempo, sob as circunstâncias de um incêndio” (LEITE *et al.*, 2015).

Para estabelecimento do tempo de resistência da edificação ao fogo, devem-se considerar limites determinados por consensos sociais, que garantam a fuga dos ocupantes da edificação em estado de segurança, que mitiguem os danos ocasionados às edificações adjacentes e à infraestrutura pública e que permitam as operações de combate a incêndio de forma segura (sendo padronizados pela NBR 14432) (LEITE *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos já foram realizados referentes ao ensaio de elementos de alvenaria estrutural e de vedação frente às altas temperaturas, definindo-se suas resistências e capacidades portantes residuais após o término da elevação da temperatura. Porém é possível observar pouco desenvolvimento no que diz respeito a trabalhos que englobem a aplicação de carregamentos em concomitante ao decorrer do ensaio térmico (CASONATO, 2007).

Com isso é possível concluir que nacionalmente, ainda se caminha a passos lentos na avaliação do comportamento da alvenaria estrutural e de vedação quando submetida à situação de incêndio. Não se conhece muito, no Brasil, sobre as propriedades térmica e mecânicas dos diferentes materiais componentes das alvenarias sob elevadas temperaturas, que pode ser retratado como consequência da insignificância numérica dos resultados nacionais (LEITE *et al.*, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVAS

Tomando como base o quadro nacional vivenciado atualmente no que diz respeito às informações expostas anteriormente, é possível observar uma carência nos conhecimentos e estudos associados às propriedades (resistência estrutural, isolamento térmico e estanqueidade) da alvenaria estrutural e de vedação quando submetidas às condições de temperaturas características de um processo de incêndio, principalmente as alvenarias que têm como composição blocos de concreto simples, uma vez que dos poucos estudos nacionais feitos até então, quase a totalidade, referem-se às alvenarias estruturais em blocos cerâmicos. Conhecimentos estes que podem ser obtidos pela análise comparativa entre resultados e dados experimentais, com fundamental importância no desenvolvimento de correlações empíricas e teóricas que se aproximem do comportamento real da estrutura.

Isso permitiria uma maior confiabilidade de projeto nesse tipo de material construtivo, garantindo um equilíbrio entre o fator econômico e a segurança; e embasamentos técnicos que poderiam ser utilizados na elaboração de normas técnicas mais específicas relativas ao desempenho e segurança estrutural de alvenarias em blocos de concreto simples submetidas à situação de incêndio.

Outro fator relevante para o estudo do comportamento de tais elementos em tais condições está na criação da “família” de normas relativas aos desempenhos das estruturas, sendo essas mais especificamente a ABNT NBR 15575-1 – Desempenho: Requisitos Gerais; ABNT NBR 15575-2 – Desempenho: Requisitos Para os Sistemas Estruturais e ABNT NBR 15575-4 – Desempenho: Requisitos Para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O trabalho tem por objetivo geral identificar por análise experimental os comportamentos, características e a seguridade de alvenarias de vedação construídas em blocos vazados de concreto simples (com e sem revestimentos por argamassas cimentícias) frente a um carregamento térmico, através de uma curva teórica de temperatura x tempo característica de um processo de incêndio padrão, estabelecida pela ISO 834 – 1.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho tem por objetivos específicos:

- Caracterizar o material utilizado (blocos vazados de concretos simples e argamassa de assentamento) visando uma correlação de especificidade dos materiais utilizados com os resultados obtidos nos outros ensaios;
- Aferir correlações entre as resistências à compressão dos blocos vazados de concreto simples em condições ambientes de temperatura e umidade, com os blocos submetidos às elevadas temperaturas (200 °C, 400 °C, 600° C e 800 °C);
- Aferir correlações entre as resistências à compressão dos prismas compostos por dois blocos vazados de concreto simples em condições ambientes de temperatura e umidade, com os prismas submetidos às elevadas temperaturas (200 °C, 400 °C e 600° C);
- Observar correlações entre as resistências à compressão dos exemplares de argamassa em condições ambientes de temperatura e umidade, com os submetidos às elevadas temperaturas (200 °C, 400 °C e 600° C, 800 °C);
- Analisar experimentalmente paredes construídas com blocos vazados de concreto simples (com e sem revestimento por argamassas cimentícias) submetidas à curva teórica de temperatura x tempo correspondente a um incêndio padrão estabelecida pela ISO 834-1, visando identificar o tempo de resistência ao fogo para os requisitos de estanqueidade aos gases e fumaça, isolamento térmico e estabilidade estrutural, durante o desenvolvimento do ensaio térmico;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO SIMPLES

No Brasil, atualmente, dentre as principais normas que regem os requisitos, usos, ensaios, projeto e execução de alvenarias estruturais ou de vedação em blocos de concreto simples estão: ABNT NBR 6136:2014 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos; ABNT NBR 12118:2013 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio; ABNT NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão; ABNT NBR 15961-1:2011 – Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto – Parte 1 – Projeto; ABNT NBR 15961-2:2011 – Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto – Parte 2 – Execução e controle de obras (nesta, nos respectivos anexos A e B, estão descritos os procedimentos e métodos que devem ser adotados para ensaio de resistência à compressão de elementos estruturais prismáticos de dois blocos e de pequenas paredes, produzidos com blocos estruturais de concreto simples).

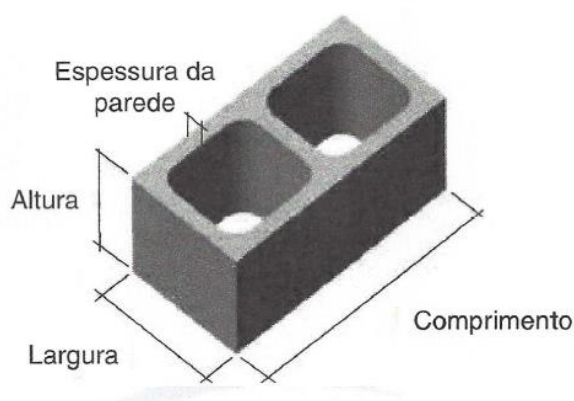
Apesar dos procedimentos dos métodos utilizados na corrente pesquisa seguirem o estabelecido pelas normas nacionais, além das normatizações nacionais explicitadas anteriormente, referentes ao assunto, algumas normas internacionais de importância significativa, e que embasaram fortemente as normatizações nacionais podem ser listadas, como: Eurocode 6 - Design of masonry structures part 1-2: General rules - Structural fire design; Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures; Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design; Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry; Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures

2.1.1 Blocos de Concreto Simples

Os blocos vazados de concreto simples utilizados para confecção de alvenarias, com ou sem função estrutural, são aqueles vazados nas suas faces superior e inferior em que sua área líquida

é igual ou inferior a 75% da área bruta transversal aos furos do bloco (NBR 6136, 2014). Sua estrutura pode ser melhor identificada na figura que segue.

Figura 1 - Estrutura do Bloco Vazado de Concreto Simples



Fonte: ABNT NBR 6136/2014

O concreto da sua constituição deve ser produzido por cimento Portland, agregados e água, em que, no Brasil, a água de amassamento deve atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15900-1; os agregados graúdos e miúdos devem possuir dimensão máxima inferior à metade da menor espessura da parede do bloco e seguir o estabelecido pela ABNT NBR 7211 (podendo-se utilizar materiais alternativos como agregado, como: escórias de alto forno, cinzas volantes, argila expandidas ou outros agregados, leves ou não, desde que os requisitos físico-mecânicos estejam em acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 6136), e os cimentos são aqueles que obedecem as especificações brasileiras para cimento: ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 5737 e ABNT NBR 11578, (NBR 6136, 2014).

2.1.1.1 Requisitos Dimensionais

As dimensões nominais normatizadas relativas ao comprimento, altura, largura e espessuras para blocos vazados de concreto, modulares e submodulares estão em destaque nas tabelas 1 e 2 referentes a ABNT NBR 6136:2014, que regulamenta os requisitos dimensionais.

2.1.1.2 Requisitos Físico-Mecânicos

Os requisitos para as diferentes classes de blocos de concreto simples relativos aos aspectos da resistência característica à compressão, absorção e retração linear por secagem devem atender ao estabelecido pelo seguinte quadro.

Quadro 1 - Resistência Característica à Compressão, Absorção e Retração por Secagem dos Blocos

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a MPa	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

^b Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).

^c Blocos fabricados com agregado leve. .(ver definição na ABNT NBR 9935).

^d Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT NBR 6136/2014

Para o estabelecimento desses requisitos os ensaios a serem realizados são descritos pela ABNT NBR 12118:2013.

A resistência característica à compressão ($f_{bk,est}$) dos blocos de concreto simples pode ser determinada de duas formas: quando não se conhece o desvio padrão de produção na fabricação e quando o desvio padrão de produção é conhecido (NBR 6136, 2014).

Quando não se conhece o desvio padrão de produção na fabricação o valor da resistência característica a compressão de um determinado lote pode ser estimada a partir da seguinte formulação.

Fórmula 1- Resistência Característica à Compressão Estimada - Valor Não Conhecido do Desvio Padrão

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi}$$

Fonte: ABNT NBR 6136:2014

Em que:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar;

$f_{bk,est}$: é a resistência característica à compressão estimada da amostra, em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$: são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n : é igual à quantidade de blocos da amostra.

É importante considerar que, utilizando-se essa metodologia de cálculo, $(f_{bk,est})$ não deve tomar valores inferiores a ψ . $f_{b(1)}$ em que os valores de ψ dependem do tamanho da amostra e correspondem aos expostos no quadro que segue.

Quadro 2 - Valores de ψ em Função da Quantidade de Blocos da Amostra

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
ψ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT NBR 6136/2014

Quando o valor do desvio padrão de produção é conhecido, o valor estimado para a resistência característica à compressão ($f_{bk,est}$) dos blocos de concreto simples pode ser determinado a partir da seguinte formulação.

Fórmula 2- Resistência Característica à Compressão Estimada – Valor Conhecido do Desvio Padrão

$$f_{bk,est} = f_{bm} - 1,65 \cdot s_d$$

Fonte: ABNT NBR 6136:2014

Em que:

f_{bm} : é a resistência média da amostra, expressa em megapascals (MPa);

s_d : é o desvio padrão de fabricação.

2.1.1.3 Análise Dimensional

A aparelhagem utilizada para esse tipo de ensaio é um paquímetro metálico calibrado com uma resolução mínima de 0,05mm e comprimento adequado às dimensões do bloco. Pode-se utilizar escala metálica calibrada com resolução mínima de 1mm para a medição de comprimento, altura e largura, não sendo permitido a sua utilização para medição de espessura (NBR 12118, 2013).

Na execução do ensaio, para cada dimensão do corpo de prova (comprimento, largura e altura), devem ser realizadas ao menos três medições em pontos distintos da face de maior espessura das paredes do bloco, com resolução mínima de 1 mm (NBR 12118, 2013).

Para determinação da espessura das paredes, devem ser realizadas duas determinações em cada parede longitudinal do bloco e uma determinação para cada parede transversal, sempre tomada na face de menor espessura das paredes do bloco (face inferior no momento do assentamento), com resolução mínima de 1 mm (NBR 12118, 2013).

Segundo NBR 12118 (2013), dentre os principais resultados obtidos estão:

- As dimensões reais, expressas como as médias das determinações executadas para a largura (b), a altura (h) e o comprimento (l), em milímetros;
- A espessura equivalente mínima (e_{eq}), calculada como a soma das espessuras de todas as paredes transversais dos blocos dividido pelo comprimento real do bloco;
- A área bruta (A_b), calculada utilizando o valor médio das dimensões totais da seção de trabalho do corpo de prova, sem descontar as áreas referentes aos furos ou reentrâncias.

2.1.1.4 Absorção de Água

Para realização desse ensaio é necessária uma balança com dispositivo para pesagem hidrostática, com resolução mínima de 10 g e capacidade mínima de 20.000 g; estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$; e termômetro para fazer a verificação térmica da água no tanque de imersão com uma resolução mínima de $1 ^\circ\text{C}$ (NBR 12118, 2013).

Durante a execução inicialmente o corpo de prova é submetido a um processo de secagem em estufa por 24 h, sendo pesado após isso de 2 em 2 h até que em duas determinações sucessivas

não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, determinando-se assim a sua massa seca m_1 (NBR 12118, 2013).

Após o processo de secagem o corpo de prova passará pelo processo de saturação, em que após os corpos de prova terem sido resfriados naturalmente em contato com o ar, eles são imergidos em água à temperatura ambiente (23 ± 5) °C por 24 h, sendo posteriormente pesados com a superfície seca para determinação das suas massas saturadas m_2 (NBR 12118, 2013).

O resultado para o teste de absorção é obtido pela seguinte formulação.

Fórmula 3- Determinação da Absorção de Água

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Fonte: ABNT NBR 12118/2013

Em que:

a: é a absorção total, expressa em porcentagem (%);

m_1 : é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g);

m_2 : é a massa do corpo de prova saturado, expressa em porcentagem (%).

2.1.1.5 Resistência à Compressão

Para execução do ensaio, a prensa utilizada deve atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR NM ISO 7500-1. Ser equipada com pratos cuja dureza superficial deve ter no mínimo 55 HRC, de superfícies planas, não podendo apresentar desníveis superiores a 0,08 mm para cada 400 mm. A espessura mínima das placas de apoio, que ficarão em contato com os corpos de prova é de 50 mm para uma carga não superior a 1000 kN. A prensa também deve possuir instrumentos que permitam a medição e a leitura de carga máxima com aproximação de ± 2 %, e ser provida de dispositivo que assegure distribuição uniforme dos esforços ao corpo de proa e ser capaz de transmitir a carga de modo contínuo e sem a ocorrência de choques (NBR 12118, 2013).

Para os corpos de prova que serão ensaiados com as faces de trabalho regularizadas com pasta ou argamassa, a pasta deve ser colocada sobre molde de capeamento ou sobre superfície plana, cuja superfície não pode se afastar do plano mais que 0,08 mm para cada 400 mm. O corpo de prova a ser capeado deve ser comprimido de encontro a pasta ou argamassa, fazendo-se com que suas faces laterais fiquem perpendiculares à referida superfície, com uma tolerância máxima de $\pm 5 \%$. O capeamento deve se apresentar plano, uniforme e sem remendos no momento do ensaio e sua espessura média não pode exceder 3 mm (NBR 12118, 2013).

Durante a execução do ensaio os blocos devem ser ensaiados de modo que a carga seja aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, de modo que a parede de maior espessura esteja voltada para parte superior. No posicionamento do corpo de prova o bloco deve ser inserido de modo que seu centro de gravidade coincida com o eixo de carga dos pratos da prensa. Durante a aplicação do carregamento a velocidade de aplicação da carga deve obedecer aos seguintes requisitos: $(0,15 \pm 0,03)$ MPa/s, para blocos com resistência característica específica superior ou igual a 8 MPa; $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s, para blocos com resistência característica específica inferior a 8 MPa (NBR 12118, 2013).

2.1.1.6 Módulo de Elasticidade

Com relação ao módulo de elasticidade para os blocos vazados de concreto simples, este pode ser determinado a partir da Fórmula 4 desenvolvida pelo CEB-FIB Mode Code (1990) ou alternativamente pela Fórmula 5 estabelecida pelo ACI - Building Code 318 (1999), ambas em função da resistência característica à compressão do concreto de produção dos blocos (MATA, 2006) e (MOHAMAD, 2007).

Fórmula 4- Determinação do Módulo de Elasticidade - CEB-FIB Mode Code

$$E_b = 2,5 * 10^4 * \left(\frac{f_{ck}}{10} \right)^{1/3}$$

Fonte: CEB-FIB Mode Code (1990)

Fórmula 5- Determinação do Módulo de Elasticidade - ACI - Building Code 318

$$E_b = 0,0428 * f_{ck}^{1/2} * w_b^{1.5}$$

Fonte: ACI - Building Code 318 (1999)

Em que:

E_b : Módulo de elasticidade do bloco (MPa);

W_b : massa específica unitária do bloco (kg/m³);

f_{ck} : resistência à compressão característica do concreto (MPa) obtida aos 28 dias.

Para determinação do módulo de elasticidade em alvenarias estruturais compostas por blocos de concreto simples pode-se utilizar o quadro estabelecido pela ABNT NBR 15961-1:2011.

Quadro 3 - Determinação do Módulo de Elasticidade de Alvenarias em Blocos Vazados de Concreto Simples

Propriedade	Valor	Valor máximo
Módulo de deformação longitudinal	$800 f_{pk}$	16 GPa
Coefficiente de Poisson	0,20	–

Fonte: ABNT NBR 15961-1:2011

2.1.2 Argamassas para Assentamento e Revestimento de Paredes

Argamassas podem ser definidas como uma mistura adesiva que, após passarem pelo processo de endurecimento, podem apresentar duas funções ou finalidades principais: a de unir elementos característicos da construção civil (blocos cerâmicos, blocos de concreto, lajotas, pastilhas cerâmicas, azulejos etc.) entre si ou a uma base, como também, revestir paredes internamente ou externamente, pisos ou coberturas. No primeiro caso as argamassas são denominadas de assentamento, e no segundo caso são chamadas de revestimento (CARDOSO, 1980).

Dentre as principais funções das argamassas destinadas ao assentamento estão (IZQUIERDO, 2011 apud MATA, 2006):

- Unir solidariamente as unidades de alvenaria;
- Fazer a distribuição uniforme das cargas atuantes por toda a área resistente dos blocos;
- Resistir a esforços mecânicos;

- Absorver as deformações naturais a que a parede é submetida;
- Promover estanqueidade pela selagem das juntas, contra a penetração de ar e água (umidade).

As suas principais propriedades atreladas a cada importância específica podem ser vistas no quadro que segue (USUDA, 2004).

Quadro 4 - Propriedades e Importâncias das Argamassas de Assentamento

Estado	Propriedade	Importância
Fresco	Fluidez	A argamassa deve deslizar na colher e permitir acertar a posição do bloco na fiada.
	Coesão	A argamassa não deve se desintegrar ao se fazer o "cordão" na colher; ela deve aderir aos blocos; deve suportar os blocos sem se deformar antes da pega.
	Retenção	A argamassa não deve perder fluidez enquanto está sendo trabalhada; não deve perder água por evaporação ou absorção excessiva para não trincar no estado fresco.
Endurecido	Resistência à compressão	A resistência se associa à durabilidade, à impermeabilidade, sendo fácil de medir. Tem influência na resistência mecânica da parede quando muito baixa ou muito alta; relacionando-se também com a deformabilidade, resistência à tração e ao cisalhamento.
	Módulo de deformação	Influi na deformabilidade da parede; influi no aparecimento ou não de trincas quando da acomodação da alvenaria a pequenas movimentações ou variações dimensionais.
	Retração por secagem	Ligada à suscetibilidade de fissuração das juntas de argamassa devida ao próprio fenômeno de retração.

Fonte: Usuda (2004)

Os requisitos para os diferentes tipos de argamassa de assentamento e revestimento existentes são estabelecidos nacionalmente pela (NBR 13281, 2005), esses são obtidos a partir dos ensaios descritos no quadro que segue.

Quadro 5 – Normas para Obtenção dos Requisitos e Classificação das Argamassas

Normas	Descrição
ABNT NBR 13277:2005	Ensaio de retenção de água
ABNT NBR 13278:2005	Ensaio de densidade de massa no estado fresco
ABNT NBR 13279:2005	Ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão
ABNT NBR 13280:2005	Ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido
ABNT NBR 13281:2005	Tabela de classificação das argamassas a partir dos requisitos
ABNT NBR 15258:2005	Ensaio de resistência potencial de aderência à tração
ABNT NBR 15259:2005	Ensaio de coeficiente de capilaridade

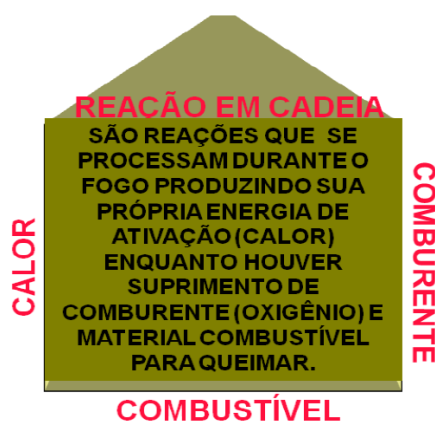
Fonte: O Autor

2.2 CONCEITUAÇÃO DE FOGO E INCÊNDIO

O fogo pode ser considerado como resultado de uma reação química exotérmica, fruto de uma reação química de combustão ou oxidação autossustentável, decorrendo na liberação de luz, calor, fumaça e gases. Já o incêndio pode ser considerado como a propagação de forma rápida e mais “violenta” do fogo, ocasionando em danos materiais e humanos, pois foge ao controle do homem. Nesta fase, para sua extinção, é necessária a utilização de alguns meios específicos de combate (CORRÊA, 2013).

Algumas analogias geométricas são descritas para explicar o processo de manutenção e os principais componentes (calor, combustível e comburente) que mantém a reação em cadeia.

Figura 2- Quadrado do Fogo

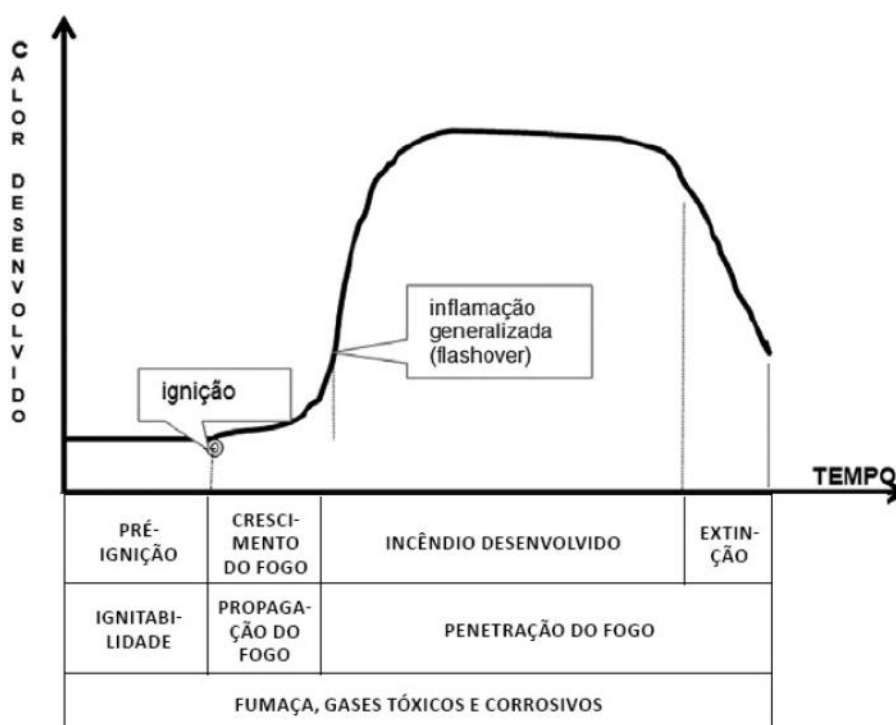


Fonte: Corrêa (2013)

Dentre os componentes o combustível seria toda matéria (sólida, líquida ou gasosa) susceptível à reação de combustão, sendo capaz de “queimar” ao reagir com o oxigênio; o comburente é identificado como o elemento que possibilita a manutenção das chamas e intensifica a combustão (dentre eles o oxigênio é o mais comum); e o calor é a forma de energia que eleva a temperatura, em que para que ocorra a combustão do combustível é necessário que este seja aquecido até sua temperatura de volatilização (CORRÊA, 2013).

Durante a ocorrência de um incêndio cujo material combustível é celulósico (característico de incêndios residenciais) é possível identificar o desenvolvimento de três fases distintas. A primeira fase pode ser classificada como a pré-ignição, que é caracterizada pelo crescimento lento das chamas, em um período compreendido entre cinco a vinte minutos. A segunda fase pode ser observada após a ignição, caracterizada por um aumento abrupto e rápido da temperatura até que ocorra a queima de todo o combustível. Já a última fase é classificada como o período de diminuição das chamas e resfriamento do ambiente devido ao consumo de todo o combustível, acarretando na falta deste para continuidade da reação em cadeia (SEITO *et al.*, 2008). Essas fases podem ser melhor observadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva de Evolução de um Incêndio de Combustível Celulósico



Fonte: Seito *et al.* (2008)

2.2.1 Curvas de Tempo por Temperatura de um Incêndio

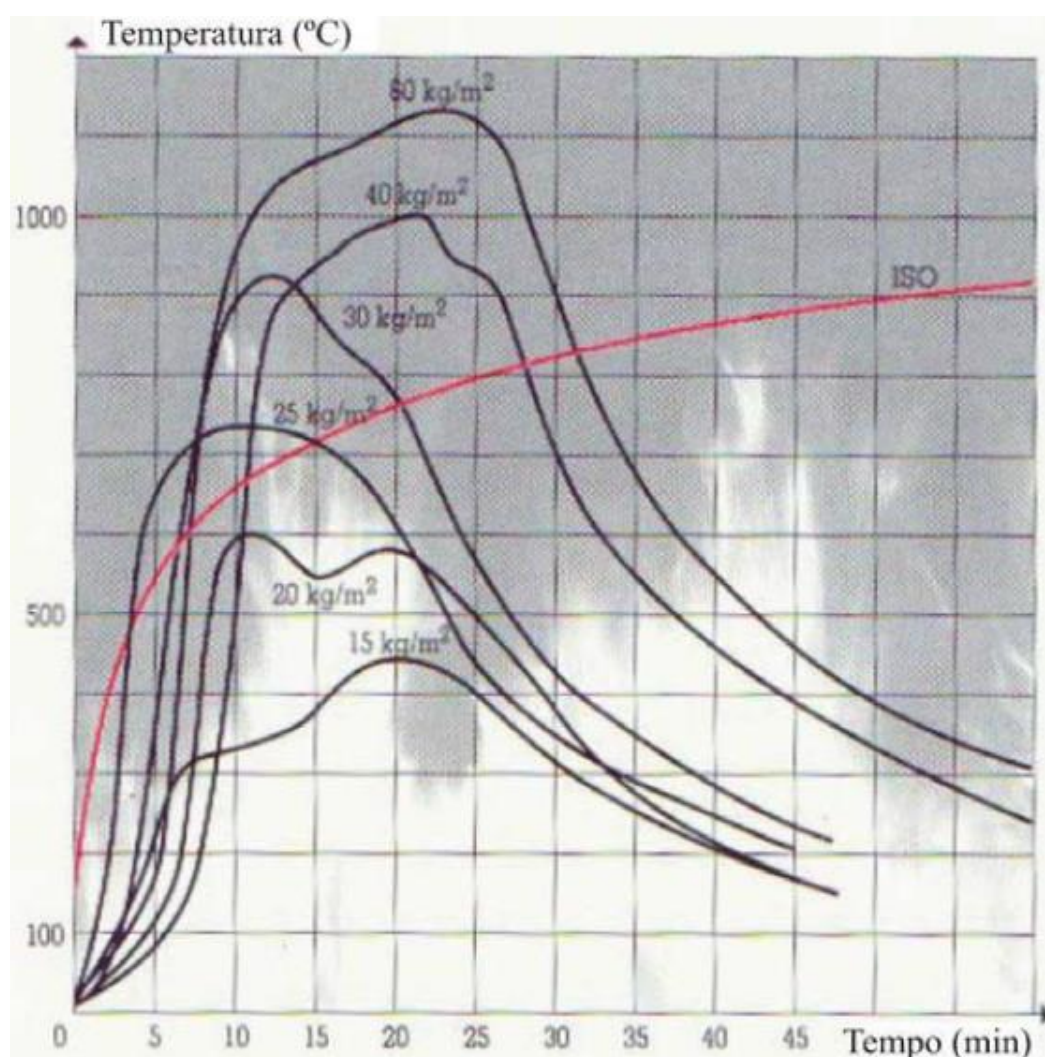
2.2.1.1 Curvas Experimentais

Para um incêndio a curva real de tempo/temperatura pode ser dita como de difícil definição por depender de diversos fatores variáveis como os materiais de vedação que impedem a propagação do incêndio no compartimento, o grau de ventilação do ambiente e a quantidade, natureza e distribuição dos materiais combustíveis, entre outros. Tendo em vista essas variações, curvas reais podem ser substituídas por curvas teóricas que procuram simular de forma aproximada o desenvolvimento da temperatura ao longo do tempo em um incêndio, partindo da fase do “flashover”, característico do ramo ascendente da curva da curva de um incêndio real (ALVA, 2000).

Os Gráfico 2 e Gráfico 3 que seguem mostram respectivamente curvas experimentais que consideram a variação de material combustível (relativos a quantidades equivalentes em quilos de madeira) e outra que mostra a variação da ventilação em uma das paredes do compartimento.

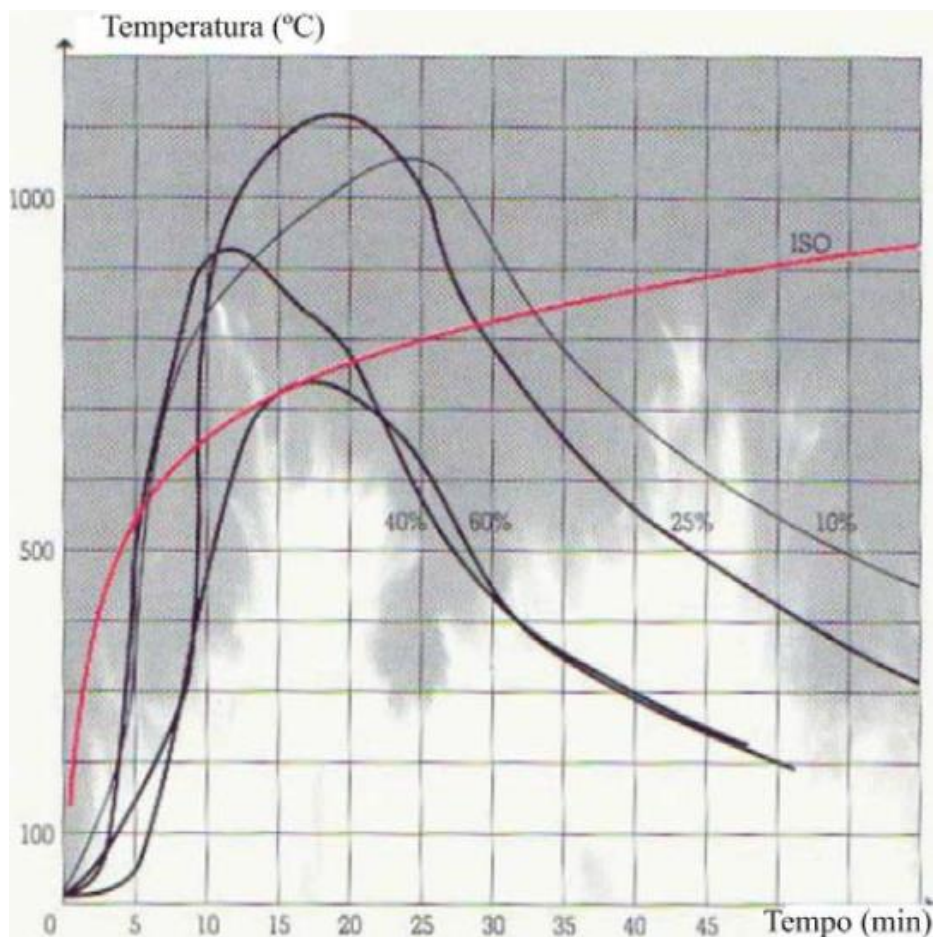
Através destas é possível observar a grande variabilidade entre as curvas de tempo x temperatura que um incêndio real pode ter. De maneira comparativa, a curva teórica de um incêndio padrão de materiais celulósicos, estabelecida pela ISO 834-1, que também é utilizada pela Eurocode 1, ABNT NBR 5628:2001, dentre outras normas nacionalmente adotadas por outros países, foi plotada nos mesmos gráficos (RIGÃO, 2012).

Gráfico 2 - Curva de Temperatura x Tempo dos gases de um Incêndio Experimental para Cargas Combustíveis Diferenciadas



Fonte: Martins (2000) *apud* Rigão (2012)

Gráfico 3 - Curva de Temperatura x Tempo dos Gases de um Incêndio Experimental para Graus de Ventilação Diferenciados



Fonte: Martins (2000) *apud* Rigão (2012)

2.2.1.2 Curvas Teóricas

A curva padrão de tempo-temperatura para um incêndio caracterizado pela formação predominante de materiais celulósicos (a base de madeira) é utilizada por muitas normas internacionais como: Eurocode 1; ISO 834-1; NCh 935/1 (Chile); CAN/ULC S101 (Canadá); além das nacionais como: ABNT NBR 5628:2001; ABNT NBR 6479:1992 e ABNT NBR 10636:1989. A equação que melhor a descreve e mais aceita no meio técnico está expressa na formulação que segue.

Fórmula 6- Tempo / Temperatura para um Incêndio Padrão (Internacional)

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

Fonte: ISO 834-1:1999

Em que:

T é a temperatura (°C);

t é o tempo (min).

Para as normas brasileiras essa equação passa por uma adaptação em função da temperatura inicial do forno e pode ser descrita segundo a formulação que segue.

Fórmula 7- Tempo/Temperatura para um Incêndio Padrão (Nacional)

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

Fonte: ABNT NBR 5628:2001

Em que:

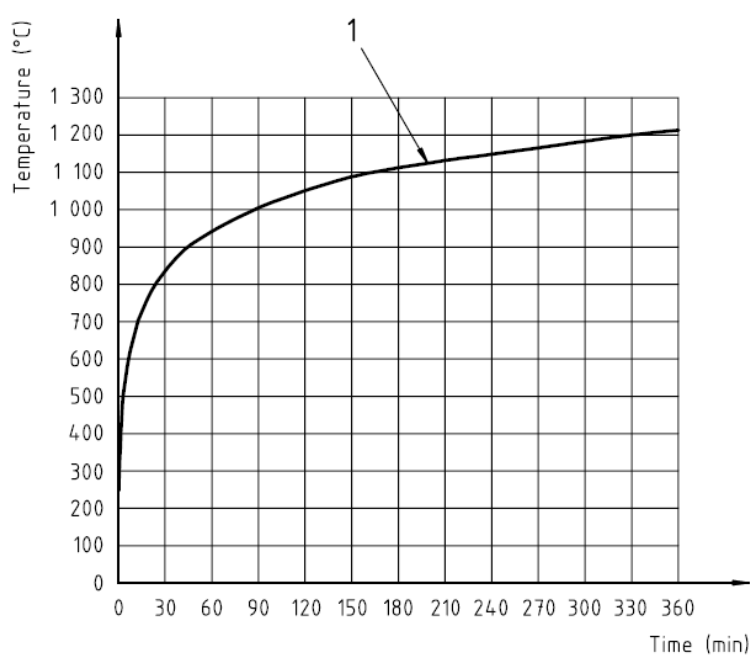
T é a temperatura no instante “t” (°C);

T₀ é a temperatura inicial do forno (10 °C ≤ T₀ ≤ 40°C);

t é o tempo (min).

Essas fórmulas podem ser melhor retratadas no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Curva de Tempo x Temperatura Representativa de um Incêndio Padrão



Fonte: ISO 834-1

2.3 MATERIAIS CIMENTÍCIOS E CONCRETOS SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS

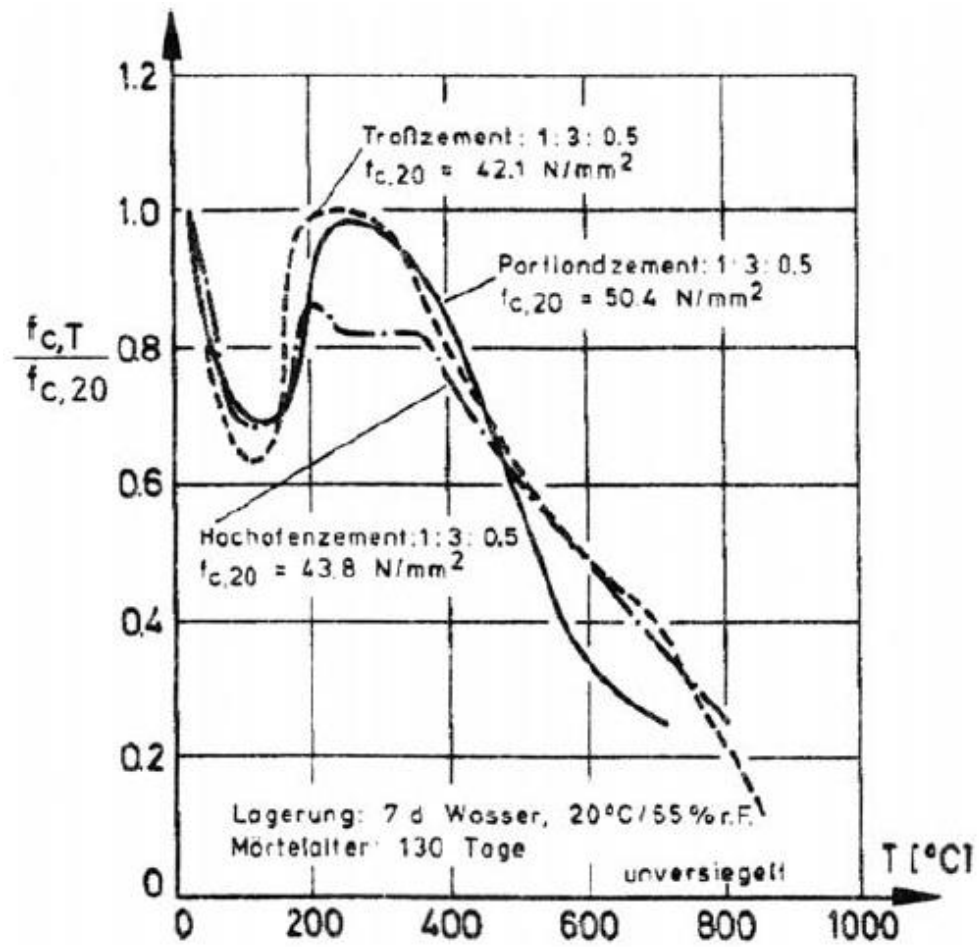
As propriedades térmicas do concreto são mais complexas que para a maioria dos materiais, pois não só o concreto é um material composto, cujos constituintes possuem propriedades diferentes, como suas propriedades também dependem da umidade e porosidade. A exposição do concreto a uma temperatura elevada afeta suas propriedades mecânicas e físicas. Os elementos podem sofrer deformações e deslocamentos e, sob certas condições, as superfícies de concreto podem sofrer “desplacamento” ou “spalling” devido ao acúmulo de pressão do vapor. Devido às mudanças dimensionais induzidas termicamente, a perda de integridade estrutural e a liberação de umidade e gases resultantes da migração de água livre podem afetar negativamente nas propriedades do material e consequentemente da segurança.

Os quatro compostos que compõem mais de 90% da massa seca do cimento Portland são: silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$); silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$); aluminato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$); ferroaluminato tetracálcico ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$). Quando a água é adicionada ao cimento Portland, após a ocorrência de uma reação exotérmica, novos compostos da pasta de cimento hidratada são formados, são estes: o gel de tobermorite ($\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$); hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); aluminato tricálcico hidratado; ferroaluminato tetracálcico hidratado e monossulfoaluminato de cálcio. A pasta de cimento após o período de pega e cura é normalmente composta entre 70% e 80% de gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), e entre 20% e 30% de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e outros compostos químicos. A estrutura do gel de C-S-H é composta por três grupos que contribuem para as ligações químicas: íons de cálcio, siloxanos e moléculas de água. A ligação da água dentro das camadas (água de gel) com outros grupos através de ligações de hidrogênio determina a resistência, a rigidez e as propriedades de deformação e fluência das pastas de cimento. O gel de tobermorite é o principal componente a contribuir para as propriedades estruturais da pasta de cimento. Sob exposição à temperatura elevada, a pasta de cimento Portland passa por mudanças físicas e químicas que contribuem para o desenvolvimento de retrações, deformações transitórias ou fluência e mudanças de resistência. As principais características materiais das pastas de cimento Portland hidratadas que afetam as propriedades do concreto a temperatura elevada são o seu estado de umidade, a estrutura química (que considera a perda de água quimicamente ligada do C-S-H) e a estrutura física (considerando o volume total dos poros incluindo fissuras, tamanho médio dos poros e as estruturas amorfas e/ou cristalinas do sólido). (NAUS, 2005, p. 3).

O concreto é um material multifásico heterogêneo com agregados relativamente inertes que são mantidos unidos pela pasta de cimento Portland hidratada. Quando os concretos são expostos a elevadas temperaturas, ocorrem mudanças nas propriedades mecânicas e durabilidade. As não-linearidades nas propriedades dos materiais, a variação das propriedades mecânicas e físicas com a temperatura, a fissuração por tração e os efeitos de fluência afetam o acúmulo de tensões, na capacidade de carga e na capacidade de deformação e ductilidade da estrutura. As variações de propriedades são em grande parte devido às mudanças na condição de umidade dos constituintes do concreto e à deterioração progressiva da ligação da pasta de cimento com os agregados, que é crítica quando os valores de expansão térmica para a pasta de cimento e os agregados diferem significativamente. A região da ligação é afetada pela rugosidade superficial do agregado e suas interações físico-químicas. A interação química se relaciona com as reações químicas entre o agregado e a pasta de cimento que podem ser benéficas ou prejudiciais. A interação física relaciona-se com a compatibilidade dimensional entre materiais agregados e pasta de cimento. O comportamento do concreto a alta temperatura depende das condições de exposição (isto é, regime de temperatura, umidade e tempo de carga). O processo de cura influencia no grau de hidratação, enquanto a temperatura e o histórico de carregamento antes da exposição a elevadas temperaturas podem ter um efeito significativo no comportamento da pasta de cimento Portland e, portanto, no concreto. O concreto em temperatura elevada é sensível ao nível de temperatura, taxa de aquecimento, ciclo térmico e duração da temperatura (desde que ocorram transformações químicas e físicas). (NAUS, 2005, p. 3).

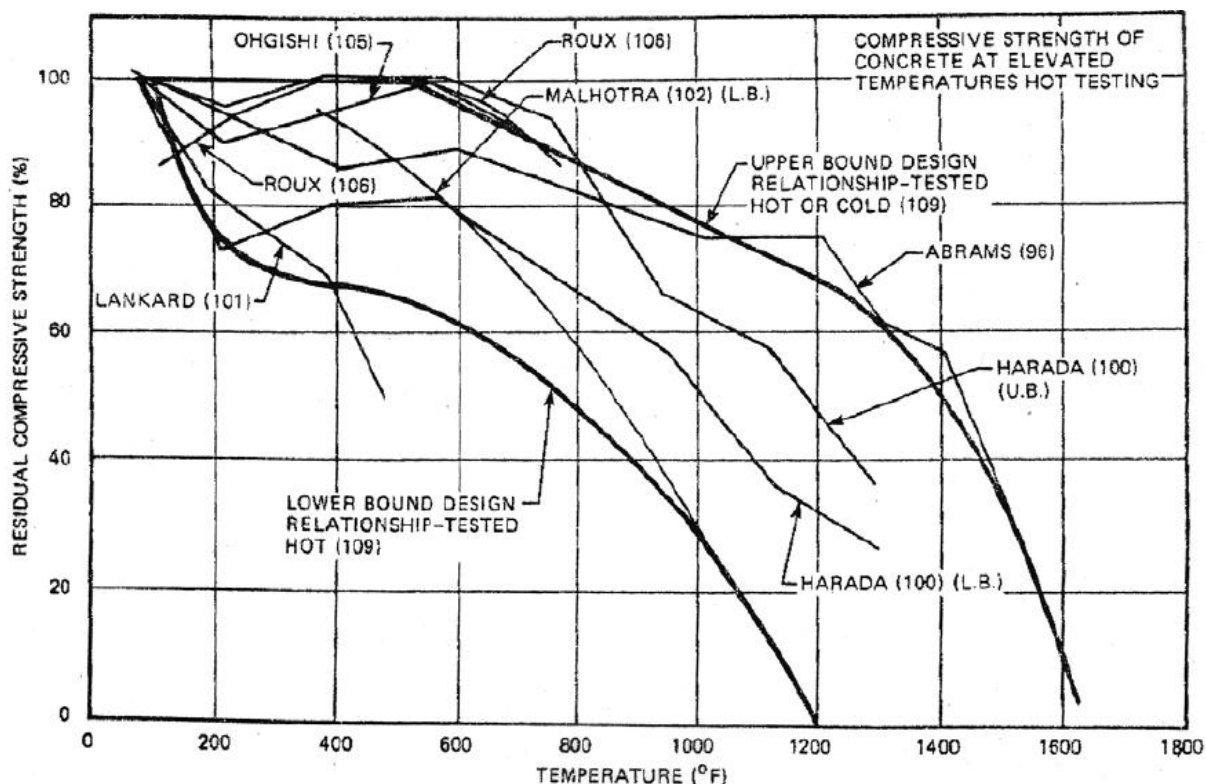
Tendo todas essas variáveis que influenciam nas características do material, é difícil de se fazer a classificação de um concreto para um comportamento específico devido à exposição as elevadas temperaturas, podendo-se realizar uma aproximação de comportamentos a partir dos diversos estudos e análises feitas em diferentes tipologias de concretos submetidos a tais condições. Desta forma alguns destes comportamentos de resistência e módulo de elasticidade para concretos e argamassas em diferentes temperaturas podem ser melhor observados nos Gráfico 5, Gráfico 6 e Gráfico 7.

Gráfico 5 - Resistência à Compressão de Diferentes Argamassas de Cimento Portland Submetidas a Elevadas Temperaturas



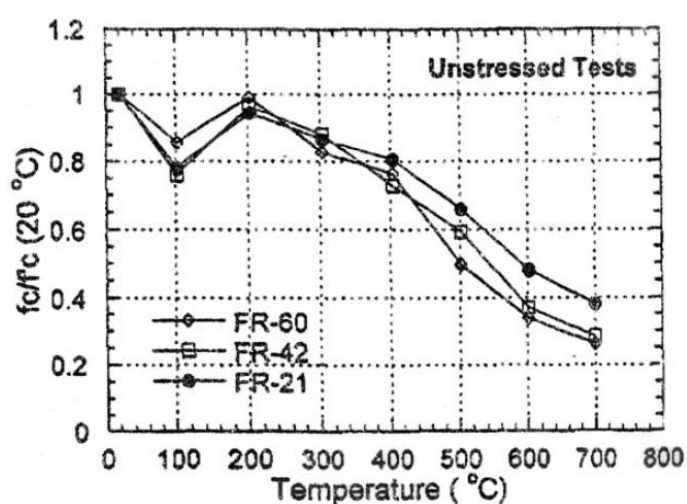
Fonte: U. Schneider (1982) *apud* Naus (2005)

Gráfico 6 - Resistência à Compressão de Diferentes Concretos Pesquisados Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: U. Schneider (1982) *apud* Naus (2005)

Gráfico 7 – Módulo de Elasticidade de Diferentes Concretos Pesquisados Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: T. Furumura, T. Abe e Y. Shinohara (1995) *apud* Naus (2005)

Além das transformações cristalinas que ocorrem principalmente nos materiais agregados durante o aquecimento, ocorrem várias reações de degradação, principalmente na pasta de

cimento, que resultam em uma quebra progressiva na estrutura do concreto. Um aumento de temperatura produz mudanças significativas na composição química e na microestrutura da pasta de cimento Portland endurecida. Em baixas temperaturas, estas reações ocorrem principalmente sob a forma de desidratação e reações de expulsão da água. As mudanças na composição química e na microestrutura da pasta de cimento Portland endurecida ocorrem gradualmente e continuamente em uma faixa de temperatura desde a temperatura ambiente até 1000 °C. À temperatura ambiente, entre 30 e 60% do volume da pasta de cimento saturado e entre 2 e 10% do volume do concreto estrutural saturado são ocupados por água evaporável. À medida que a temperatura à qual a pasta de cimento é submetida aumenta, a água evaporável presente nos poros maiores das regiões superficiais é liberada até uma temperatura de cerca de 105 °C, quando toda a água evaporável será perdida e inicia-se um processo de evaporação mais rápida próximo à superfície com a expulsão da água sob pressão de vapor acima da pressão atmosférica. A temperaturas acima de 120 °C, a água fisicamente ligada nos poros menores e quimicamente combinada (isto é, água de hidratação) também são gradualmente perdidas dos hidratos da pasta de cimento, com a desidratação essencialmente completa a 500 °C. Não ocorre desidratação e decomposição do hidróxido de cálcio (Portlandita) (isto é, $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) até cerca de 400 °C, que só aumenta mais rapidamente em torno de 535 °C, tornando-se completa a cerca de 600 °C. Apenas entre 600 °C e 900 °C, o carbonato de cálcio começa a sofrer a descarbonatação (isto é, $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). A taxa de decomposição e a temperatura a que ocorrem não dependem apenas da temperatura e pressão, mas também do conteúdo de SiO_2 presente no composto de calcário. Acima de 1200 °C e até 1300 °C, alguns componentes do concreto começam a derreter. Acima de 1300 °C a 1400 °C, o concreto existe na forma de uma massa fundida. Aparentemente, a liquefação do concreto começa com o derretimento da pasta de cimento endurecido seguido pela fusão dos agregados. (NAUS, 2005, p. 7).

Culfik (2001), estudou corpos de prova prismáticos (análogos aos que foram utilizados neste trabalho) com e sem adição por 5% de grafite quanto as suas resistências à compressão em diferentes níveis de temperatura (20°C, 300°C, 600°C e 900°C), submetidos a diferentes taxas de aquecimento (2°C/min e 8°C/min) e diferentes processos de resfriamento (brusco em água e lento internamente ao forno). Com os resultados obtidos ele identificou que na temperatura de 900°C os corpos de prova apresentavam uma redução significativa das suas características físicas e mecânicas, apresentando desagregação do material e valores nulos de resistência à

compressão. Outra característica do seu estudo está na inferência de que quanto maiores forem os tempos de exposição e as taxas de aquecimento menores são as resistências à compressão obtidas.

Yuzer (2001), no mesmo ano desenvolveu um trabalho análogo ao desenvolvido por Culfik (2001), porém a adição que ele utilizou foi de sílica. Nos seus experimentos os corpos de prova prismáticos de argamassa foram submetidos a diferentes níveis de temperatura (100°C, 200°C, 300°C, 600°C, 900°C e 1200°C), dois tipos de resfriamento (lento e brusco em água), e taxas de aquecimento que variavam de 6 a 10 °C/min. Através dos resultados ele concluiu que as resistências à compressão só começavam a ser afetadas negativamente após os 300°C, em temperaturas menores que isso elas se mantinham constantes, porém maiores que as observadas em temperatura ambiente (como em concordância ao que será observado nos resultados experimentais do corrente trabalho).

Já em 2012, Rigão (2012) fez o estudo de argamassas industrializadas, semelhantes a utilizada neste trabalho experimental. Os níveis de temperatura analisados foram 400°C (segundo ele, devido ao fato de que as principais pesquisas sobre argamassas para concreto mostrarem que até este patamar de temperatura não é observado a ocorrência de grande degradação e desagregação do material envolvido) e 900°C, e em todos os casos os corpos de prova prismáticos eram mantidos à temperatura de ensaio por um tempo de 30 minutos e resfriados lentamente internamente ao forno.

A metodologia experimental das argamassas do corrente trabalho tomou como base os estudos desenvolvidos por esses três autores, levando em consideração a tipologia do corpo de prova prismático de argamassa; as taxas de aquecimento utilizadas; os processos de resfriamento e os níveis de temperaturas adotados 200°C, 400°C, 600°C e 800°C; podendo-se explicar o 400°C: como o valor em que pretende-se observar o início da influência negativa da temperatura na resistência à compressão; e o 800°C: como sendo um valor inferior ao adotado pelos autores (900°C), visando identificar uma resistência à compressão residual, que não pôde ser observada na temperatura de 900°C.

2.4 ALVENARIAS SUBMETIDAS A ELEVADAS TEMPERATURAS

Em 1962 foi possível observar um dos primeiros registros de ensaios de alvenarias em blocos de concreto simples a elevadas temperaturas, desenvolvido por Malhotra, que ensaiou paredes de alvenarias de blocos de concreto maciços e vazados, com e sem revestimento, submetidas ou não a carregamentos estruturais, quanto a resistência ao fogo. Segundo Malhotra (1962) valores de resistência ao fogo considerados até aquela época não faziam distinção entre paredes carregadas ou não, e assim tendiam a ser conservadores para paredes de menor exigência ou não estruturais. Por isso testes adicionais ainda eram necessários para fornecer informações para diferentes tipos de paredes construídas com esse tipo de bloco.

Já em 1997 Nikolaev fez uma análise numérica em elementos finitos de uma alvenaria composta por três paredes (duas de blocos de concreto, sendo uma carregada e uma de material isolante) visando determinar a resistência ao fogo quanto a transmissão de calor pelos fenômenos térmicos de condução, convecção e radiação, sendo as curvas de gradiente de temperatura obtidas a cada 30 minutos. Para Nikolaev (1997), para os blocos de concreto vazados analisados, após 150 minutos a partir do espalhamento das chamas, a profundidade máxima atingida para a curva gradiente de temperatura equivalente a 500 °C foi aproximadamente de 45% (75 mm a 80 mm) da espessura do bloco nas regiões em que existe a cavidade de ar, e de 32% (55mm a 60 mm) da espessura do bloco nas regiões dos septos transversais do bloco.

Os estudos mais atuais encontrados e desenvolvidos nessa área de pesquisa dizem respeito a alvenarias compostas por blocos cerâmicos, carregadas ou não, submetidas a ensaio térmico. Em 2011 Rosemann desenvolveu ensaios experimentais térmicos em acordo com a NBR 5628/2001, utilizando-se de uma fonte de gás para aquecimento, em paredes constituídas por blocos cerâmicos estruturais com dimensões de largura, altura e comprimento respectivamente 14 cm x 19 cm x 29 cm, sendo estas dispostas em quatro configurações: sem revestimento e sem preenchimento de areia; com revestimento nas faces externa e interna; com enchimento de areia dos vazados dos blocos; e com revestimento e enchimento. Segundo Rosemann (2011), a parede não revestida e sem enchimento apresentou resistência ao fogo de 106 minutos, enquanto que a parede revestida e sem enchimento mostrou-se mais de 80% mais resistente que a primeira, suportando 196 minutos de ensaio até a falha pelo critério de isolamento térmico; já para a parede com enchimento de areia e não revestida foi possível encontrar uma resistência ao fogo de 243 minutos, caracterizando um aumento de ao menos 100%. Para a parede revestida

e com enchimento a resistência ao fogo quanto ao critério de isolamento térmico foi de 405 minutos. Os ensaios térmicos experimentais foram utilizados por Rosemann (2011) de maneira satisfatória, para calibração de um modelo numérico que se utilizou do método de elementos finitos, obtendo-se um erro máximo dos resultados de 6,4% com relação aos resultados experimentais.

Em 2012, ainda na mesma linha de pesquisa, Rigão (2012) desenvolveu ensaios experimentais térmicos através de forno elétrico e com aplicação de carga, em pequenas paredes constituídas por blocos análogos aos utilizados por Rosemann (2011). Apesar da curva de aquecimento no tempo não ter sido satisfatória quando comparada com o que é estabelecido por norma para caracterização das condições de um incêndio padrão em material celulósico, algumas conclusões puderam ser consideradas. Por Rigão (2012), foi possível observar um baixo nível de fissuração, com predominância destas na posição vertical e na face aquecida das paredes; outro fator que pode ser destacado foi que para a mesma profundidade na parede, a argamassa apresentou melhor desempenho térmico que o bloco. Para caracterização dos blocos, prismas e argamassa de assentamento Rigão (2012), analisou as respectivas resistências à compressão e à tração na flexão, sendo possível concluir: a resistência residual da argamassa à 400 °C diminuiu para 56% na compressão e 39% na tração, caindo para 0% (com desagregação e fissuração generalizada) na temperatura de 900°C; os prismas apresentaram uma menor perda percentual de resistência quando comparados com as argamassas, sendo a resistência residual média de 73% a 400 °C e 48,7% a 900°C.

Já em 2013, dando continuidade à linha de pesquisa, Nguyen e Meftah (2013) desenvolveram um modelo numérico calibrado com ensaios experimentais para analisar o comportamento de tais alvenarias em condições de incêndio padronizado. Segundo eles as principais formas de transferência de calor dentro da parede, durante um processo de incêndio, se dão por radiação e por convecção. Pode-se observar também que em alvenarias não carregadas compostas por blocos cerâmicos vazados, quando construídas em espessuras superiores a 12 – 14 cm, podem apresentar o fenômeno de “spalling” com “desplacamento” da face diretamente aquecida, que apesar de não gerar a perda total da estabilidade, gera influências diretas na capacidade isolante da alvenaria. Já em alvenarias carregadas, há ocorrência de “spalling” localizado e que se propagam através da espessura da parede, gerando a perda de estabilidade da alvenaria mais precocemente, antes mesmo da sua falha pelo critério da capacidade de isolamento térmico.

Já em 2014 a Associação Brasileira de Cimento Portland em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul desenvolveu ensaios experimentais em três paredes formadas por blocos de concreto simples (uma não revestida e composta por blocos com dimensões de 190 mm x 190 mm x 390 mm pertencentes à classe C de acordo com a NBR 6136; e outras duas revestidas com 5 mm de gesso e compostas por blocos com dimensões 140 mm x 190 mm x 390 mm pertencentes à classe C e A de acordo com a NBR 6136), todas submetidas a elevadas temperaturas, sendo a pertencente à classe A submetida à um carregamento linear de 15 tf/m. No estudo as paredes obtiveram um bom desempenho quanto à estanqueidade aos gases uma vez que no teste do chumaço de algodão, este não inflamou, as caracterizando como estanque. Para o isolamento térmico, os resultados obtidos também foram satisfatórios uma vez que as paredes apresentaram resistências ao fogo superiores a 240 minutos. Com relação à estabilidade estrutural, as paredes mantiveram-se estáveis, apresentando apenas fissuras superficiais e mudança de coloração na face interna ao forno e não apresentando nenhuma modificação significativa na face externa. Esse pode ser classificado como um dos estudos mais recentes referentes à temática de alvenarias em blocos vazados de concreto simples submetidos a elevadas temperaturas características de um processo de incêndio, fator este que fez com que tal pesquisa servisse como uma base forte para o desenvolvimento do corrente trabalho experimental, mesmo considerando algumas diferenças de procedimentos quanto a espessura dos blocos utilizados (apesar de pertencentes a mesma classe C), tipologia e espessura dos revestimentos utilizados, dimensões dos corpos de prova e a curva empregada nesses experimentos não seguirem o que é indicado para uma curva de aquecimento no tempo normatizada para um incêndio padrão.

Um dos últimos trabalhos pesquisados até então, referentes a alvenarias de vedação em blocos cerâmicos submetidas a elevadas temperaturas características de um processo de incêndio padrão, foi o elaborado por Coelho (2017), que apesar de apresentar algumas divergências no que diz respeito às curvas de aquecimento no tempo referentes à um incêndio padrão normatizado, utilizou-se de materiais e metodologias análogos ao do corrente trabalho. No seu desenvolvimento experimental assim como neste trabalho foram utilizadas paredes de dimensões reduzidas, estudas sem revestimento algum, revestidas por argamassa cimentícia apenas na face exposta ao aquecimento e revestidas em ambas as faces (apesar de espessuras diferentes das utilizadas no corrente trabalho), com uma espessura nominal dos blocos, constituintes da alvenaria de vedação, também de 90 mm. Alguns resultados significativos

puderam ser observados por ele, que o permitiu inferir que a presença de 1 cm de argamassa de revestimento na parede influenciava para este tipo de corpo de prova em aproximadamente 15 minutos no tempo de resistência às elevadas temperaturas. Tais resultados o permitiram construir curvas aproximadas de correlação do tempo de resistência às elevadas temperaturas em função da espessura do revestimento da argamassa cimentícia utilizada nas paredes de vedação construídas em blocos cerâmicos.

Neste mesmo ano Prager (2017) publicou no 4º CILASCI (2017), os resultados obtidos para análise experimental da influência da espessura de alvenarias em blocos cerâmicos na capacidade isolante térmica da alvenaria, quando submetida ao ensaio térmico característico pelo uso da curva de aquecimento de um incêndio padrão. No estudo ele utilizou blocos cerâmicos com espessura de 14 e 19 cm e os comportamentos obtidos para a curva de aquecimento no tempo da face não exposta foram análogos aos que foram observados para a corrente pesquisa experimental em alvenaria de blocos de concreto. Como resultados ele obteve que um aumento de 36% na espessura do bloco acarretou em um acréscimo da capacidade isolante de cerca de 16%, em que para a alvenaria constituída por blocos com uma espessura de 14 cm a média da temperatura externa atingiu os 200 °C após transcorridos 240 minutos de ensaio, enquanto que para uma espessura de 19 cm essa mesma média atingiu os 200°C após transcorridos 290 minutos de ensaio. Com relação a estanqueidade do elemento foi verificado que as paredes ensaiadas, assim como as que foram ensaiadas no corrente estudo, não apresentaram falha quanto a este requisito.

3 MATERIAIS

3.1 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES

Os corpos de prova (blocos, prismas e paredes) utilizados nas análises experimentais eram constituídos por blocos vazados industrializados de concreto simples com dois furos cujas dimensões nominais de altura, comprimento e largura eram respectivamente 190 mm, 390 mm e 90 mm, com uma área bruta da seção transversal de 35100 mm², se enquadrando na classe C dos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6136:2014. Os blocos apresentavam espessura dos septos inferiores e superiores respectivamente 20 mm e 25 mm, o que consiste em uma área líquida aproximada de 21000 mm², correspondente a aproximadamente 40% da área bruta.

3.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Para assentamento e revestimento dos blocos na formação dos prismas e paredes, foi utilizada uma argamassa cimentícia industrializada, com especificações técnicas para assentamento e revestimento de alvenarias, classificada como II – alta – b; segundo a norma ABNT NBR 13281:2001. No assentamento dos blocos para formação das paredes foram utilizadas juntas verticais e horizontais de argamassa com espessura de 1 cm. Para revestimento das paredes que o receberam, foi utilizado uma espessura de 2 cm.

3.3 FORNOS

Nas realizações dos ensaios térmicos para os diferentes corpos de prova (blocos, prismas e paredes) foram utilizados dois tipos de fornos de resistências elétricas: um para os ensaios dos elementos menores (blocos, prismas e argamassa) indicado na Foto 1 cujas dimensões horizontal, vertical e de profundidade eram de respectivamente 61,5 cm, 72,5 cm e 61,0 cm; e outro para os ensaios das paredes de alvenaria cujas dimensões horizontais e verticais eram de 100 cm o que corresponde a uma área com abrangência de aquecimento de 1 m², que pode ser verificado na Foto 2. Ambos os fornos podem ser programados por controlador para diferentes taxas de aquecimento, mas apenas o forno maior possuía potência satisfatória para

acompanhamento da curva de aquecimento no tempo característica de um incêndio padrão estabelecida pela ISO 834-1 e reimplementada pelas ABNT NBR 10636:1989 e ABNT NBR 5628:2001.

Foto 1 – Forno Menor (Utilizado para Blocos e Prismas)



Fonte: O Autor

Foto 2 – Forno Maior (Utilizado para Paredes)



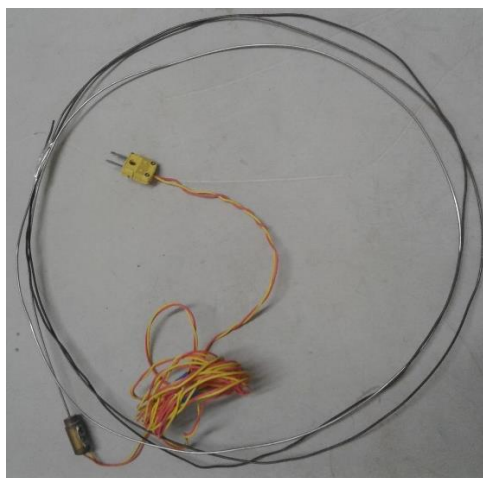
Fonte: O Autor

Para os ensaios térmicos realizados no forno menor, foi possível atingir as temperaturas requeridas com uma taxa de aquecimento máxima de aproximadamente 6 °C / min.

3.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E ENSAIO

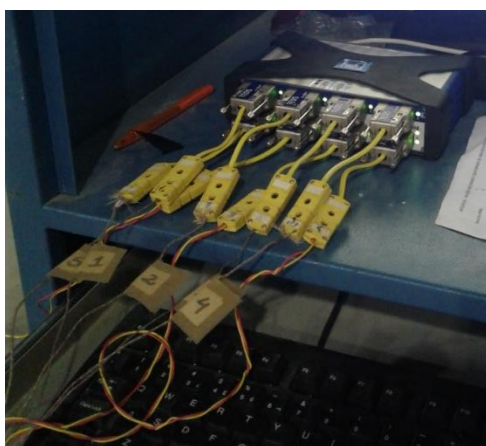
Para obtenção dos dados de medição relativos à temperatura e ao tempo foram utilizados fios termopares do tipo K protegidos e lidos por um data logger do modelo quantum X (HBM), através de um software computacional (Catman), como podem ser observados respectivamente nas Foto 3 e Foto 4.

Foto 3 – Termopares do Tipo K



Fonte: O Autor

Foto 4 – Data Logger Quantum X



Fonte: O Autor

Nas medições das dimensões dos blocos e na abertura de fissuras foi utilizado um paquímetro com resolução mínima de 0,01 mm.

Nos ensaios para obtenção dos módulos de elasticidade longitudinal dos blocos e prismas foi utilizado um transdutor do tipo defletoômetro elétrico indutivo (LVDT) com uma faixa nominal de medição de 2 mm e resolução mínima de 0,000001 mm.

Para aplicação do carregamento e realização dos ensaios de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade longitudinal dos blocos e prismas, foi utilizada uma prensa hidráulica universal com capacidade de carga nominal de 3 MN, controlada computacionalmente por software (PARTNER), no qual foi possível implementar as taxas de carregamento e descarregamento indicadas por norma, para tais ensaios.

Visando uma maior confiabilidade dos resultados através de uma menor dispersão dos dados medidos, tendo em vista que os carregamentos utilizados nos ensaios tiveram um valor máximo aproximado de 150 kN, utilizou-se uma célula de carga com capacidade nominal de 300 kN devidamente calibrada, com o objetivo de construir uma curva de correlação entre os valores medidos pela prensa e os valores aferidos pela célula de carga para diferentes níveis de carregamento. Assim, foi possível criar fórmulas de adequação dos valores aferidos pela prensa para os valores da célula de carga, sendo estes os considerados nos processos de análise do corrente trabalho (valores corrigidos). A célula de carga utilizada em tal correlação pode ser observada na Foto 5.

Foto 5 – Célula de Carga



Fonte: O Autor

4 MÉTODOS

4.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO

Para a realização do ensaio de absorção foram utilizadas as considerações previstas pela ABNT NBR 12118:2013.

Inicialmente a amostragem composta por três blocos foi submetida a um processo de secagem em estufa por período de 24 h a uma temperatura de 110 °C. Esse período foi suficiente para fazer com que o corpo de prova atinge o seu estado “seco”, uma vez que após ser recolocado em estufa por mais 2 h sua massa não obteve variação superior a 0,5 % com relação a medição anterior. Fator este que pode estar atrelado à elevada porosidade do concreto que compõe o bloco. As pesagens foram realizadas com uma balança de capacidade para 140.000 g e uma resolução mínima de 5 g, e tal etapa pode ser identificada pela Foto 6.

Foto 6 – Pesagem dos Blocos



Fonte: O Autor

Em seguida a amostra foi colocada em processo de saturação, sendo submersa em reservatório de água à temperatura ambiente por 24 h, de acordo com a Foto 7. Posteriormente as amostras foram retiradas, e depois da retirada do excesso de água superficial através de pano úmido, por um tempo máximo de 1 minuto, foram novamente pesadas para obtenção do peso de saturação.

Foto 7 – Saturação dos Blocos



Fonte: O Autor

Em concomitante com o ensaio normatizado de absorção, foi realizado um procedimento que visa determinar as absorções parciais dos blocos de concreto simples em diferentes tempos submersos (1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72 e 176 horas), com o objetivo de construir uma curva de absorção no tempo para tais corpos de prova.

4.2 DIMENSIONAL

Para a realização do ensaio dimensional também foram utilizadas as considerações previstas pela ABNT NBR 12118:2013.

Foram utilizados seis blocos para composição da amostragem. Cada bloco foi submetido a três medições, em diferentes regiões, de altura, comprimento e largura através de escala milimetrada, e as respectivas médias foram consideradas. Para a medição das espessuras dos septos transversais e longitudinais dos blocos foi utilizado um paquímetro digital com resolução mínima de 0,01 mm, em que foram realizadas quatro medições para os longitudinais e três para os transversais, sendo suas médias consideradas. Todas essas medições objetivaram determinar se os blocos utilizados estavam em acordo com requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6136:2014 para blocos pertencentes à Classe C.

4.3 ENSAIOS TÉRMICOS

4.3.1 Blocos

O objetivo da realização do ensaio térmico nos blocos e prismas é identificar a influência de diferentes níveis de temperatura nas características mecânicas dos corpos de prova e consequentemente no desempenho da parede de alvenaria.

Antes dos ensaios os blocos foram devidamente identificados e capeados, para regularização das faces horizontais, com argamassa formada por cimento (tipo CP-V) areia e água no traço 1:1,5:0,5 e uma espessura normatizada pela ABNT NBR 12118:2013 aproximada de 3mm. Após o período de cura (7 dias), suas massas foram aferidas antes de cada ensaio.

O ensaio térmico foi realizado no forno de menores dimensões com uma capacidade máxima de seis blocos de concreto simples de 9 x 19 x 39 cm. Assim cada amostragem era composta por seis blocos que representavam um dos níveis de temperatura e um dos modos de ensaio mecânico. Foram analisados ao total quatro níveis de temperatura: 200 °C, 400 °C, 600 °C e 800 °C e para cada nível três modos de ensaio mecânico: a quente, após resfriamento brusco e após resfriamento lento (porém por motivos de segurança, para a temperatura de 800 °C foram realizados apenas para os procedimentos de resfriamento lento e brusco). Deve-se destacar que após o atingimento da temperatura máxima de ensaio, as amostras permaneciam em tal temperatura por mais um período de 1 h visando homogeneizar a temperatura interna dos exemplares, a que se pretendia atingir. Os quantitativos totais de corpos de prova podem ser observados no Quadro 6 que segue.

Quadro 6 - Amostragem de Blocos para Ensaio Térmico

Número de Amostras				
Modo de Ensaio	Temperaturas			
	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C
Quente	6	6	6	-
Resfriamento Brusco	6	6	6	6
Resfriamento Lento	6	6	6	6

Fonte: O Autor

Para a realização do ensaio térmico os blocos, em cada amostragem de seis blocos, eram dispostos três na região inferior do forno, apoiados em blocos cerâmicos visando manter uma distância satisfatória das resistências inferiores do forno, e três na região superior do forno, apoiados nos blocos inferiores. Para monitoramento das temperaturas no tempo foram utilizados seis termopares protegidos do tipo K, dispostos em cada um dos blocos que formavam a amostragem, posicionados nas faces menos expostas de cada um deles. Tal configuração pode ser melhor observada nas Foto 8 e Foto 9.

Foto 8 – Configuração para Ensaio Térmico dos Blocos



Fonte: O Autor

Foto 9 – Configuração dos Blocos com os Termopares



Fonte: O Autor

4.3.2 Prismas

Para a produção dos prismas foram previamente capeados dois blocos e após período de cura (7 dias) estes eram assentados com argamassa cimentícia industrializada utilizando-se o traço recomendado pelo fabricante (3,6 litros de água para cada saco de 20 kg de argamassa anidra), com juntas de assentamento de espessura aproximada de 10 mm, conforme indicado pela ABNT NBR 15961-2:2011. Após assentamento eles passaram por um período de cura em condições ambientes e ao ar por 90 dias, em concordância com as paredes.

Análogo ao ensaio térmico realizado para os blocos, para os prismas de dois blocos também foi utilizado o forno elétrico de menores dimensões com uma capacidade máxima de quatro prismas de concreto. Assim cada amostragem era composta por quatro prismas que representavam um dos níveis de temperatura e um dos modos de ensaio mecânico. Foram analisados ao total três níveis de temperatura: 200 °C, 400 °C e 600 °C e para cada nível três modos de ensaio mecânico: a quente, após resfriamento brusco e após resfriamento lento. Deve-se destacar que após o atingimento da temperatura máxima de ensaio, as amostras permaneciam em tal temperatura por mais um período de 1 h visando homogeneizar a temperatura interna dos exemplares, a que se pretendia atingir. Os quantitativos totais de corpos de prova podem ser observados no Quadro 7 que segue.

Quadro 7 - Amostragem de Prismas para Ensaio Térmico

Número de Amostras			
Modo de Ensaio	Temperaturas		
	200 °C	400 °C	600 °C
Quente	4	4	4
Resfriamento Brusco	4	4	4
Resfriamento Lento	4	4	4

Fonte: O Autor

Para a realização do ensaio térmico os prismas, em cada amostragem de quatro prismas, eram dispostos lado a lado apoiados em blocos cerâmicos visando manter uma distância satisfatória das resistências inferiores do forno. Para monitoramento das temperaturas no tempo foram utilizados quatro termopares protegidos do tipo K, dispostos em cada um dos blocos que

formavam a amostragem, posicionados nas faces menos expostas de cada um deles. Tal configuração pode ser melhor observada na Foto 10.

Foto 10 – Configuração para Ensaio Térmico dos Prismas



Fonte: O Autor

4.3.3 Argamassas

Além dos blocos utilizados, a argamassa industrializada, utilizada no assentamento e revestimento das paredes de alvenaria e dos prismas de dois blocos, também foi ensaiada termicamente antes de serem submetidas aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão. Para dosagem da argamassa cimentícia industrializada utilizou-se o traço recomendado pelo fabricante (3,6 litros de água para cada saco de 20 kg de argamassa anidra), e esta foi mantida em cura em condições ambientes e ao ar por 90 dias.

Para o ensaio térmico cada corpo de prova de argamassa produzido possuía dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, sendo produzida uma amostragem de três corpos de prova para cada nível de temperatura e modo de ensaio mecânico, representando assim um mesmo lote. Foram analisados quatro níveis de temperatura 200°C, 400°C, 600°C e 800°C e para cada nível, três modos de ensaio mecânico: a quente, submetidos a resfriamento brusco ou submetidos a resfriamento lento. Deve-se destacar que após o atingimento da temperatura máxima de ensaio, as amostras permaneciam em tal temperatura por mais um período de 1 h visando homogeneizar

a temperatura interna dos exemplares, a que se pretendia atingir. Os quantitativos totais de corpos de prova podem ser observados no Quadro 8 que segue.

Quadro 8 - Amostragem de Argamassas para Ensaio Térmico

Número de Amostras				
Modo de Ensaio	Temperaturas			
	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C
Quente	3	3	3	3
Resfriamento Brusco	3	3	3	3
Resfriamento Lento	3	3	3	3

Fonte: O Autor

Para cada ensaio térmico eram colocados no forno nove corpos de prova de argamassa, sendo todos referentes a mesma temperatura, porém três deles foram submetidos a resfriamento lento, três a resfriamento brusco e três fizeram o ensaio mecânico ainda no estado quente. Eles foram dispostos sobrepostos de forma alternada, com três exemplares em cada camada, estando em uma distância segura das resistências elétricas inferiores por estarem apoiados nos prismas também ensaiados termicamente. Com o objetivo de fazer o monitoramento das respectivas temperaturas no tempo foram utilizados três termopares protegidos do tipo K, aferindo as temperaturas superficiais das amostras nas camadas inferior intermediária e superior, posicionados nas faces menos expostas ao calor. Tal configuração pode ser melhor observada na Foto 11.

Foto 11 – Configuração para Ensaio Térmico das Argamassas



Fonte: O Autor

4.3.4 Alvenarias

O trabalho experimental de ensaio térmico consistiu na produção de cinco corpos de prova (paredes) com dimensões de 1,50 m de altura; 1,50 m de largura e 0,09 m de espessura, ensaiados termicamente. É importante destacar que tais corpos de prova não se encontravam com suas dimensões de largura e altura em conformidade com o estabelecido pela ABNT NBR 10636:1989, de modo que os resultados obtidos nos ensaios são considerados como indicativos de comportamento, não podendo ser utilizados para classificação real das paredes de acordo com esta norma. Para auxiliar no levantamento e transporte das paredes até o local de ensaio foram utilizados perfis metálicos articulados formando um pórtico de sustentação, amarração e apoio.

Com o objetivo de manter uma determinada confiabilidade nos resultados e para investigar os diferentes comportamentos e desempenhos das alvenarias e do revestimento em argamassa cimentícia, das cinco paredes produzidas, duas não possuíam revestimento algum, duas possuíam revestimento de 2 cm apenas na face exposta ao aquecimento e uma possuía revestimento de 2 cm em cada face da alvenaria. Em todos os casos, os revestimentos de argamassa cimentícia foram aplicados diretamente na superfície rugosa dos blocos (substrato),

não sendo necessária a aplicação da camada de chapisco. Tais características podem ser observadas na Foto 12.

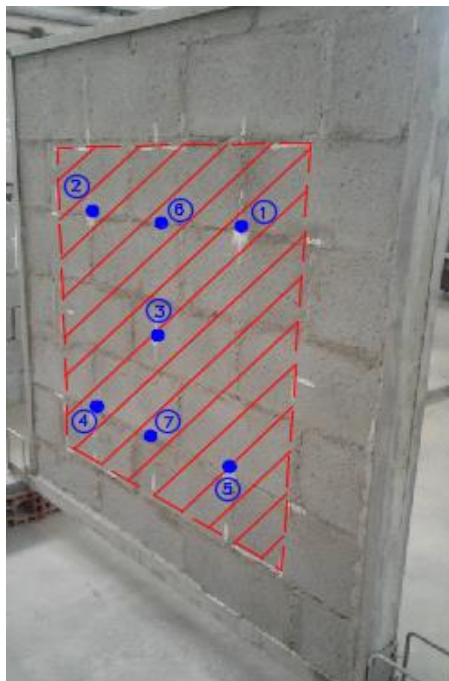
Foto 12 – Corpos de Prova de Alvenaria



Fonte: O Autor

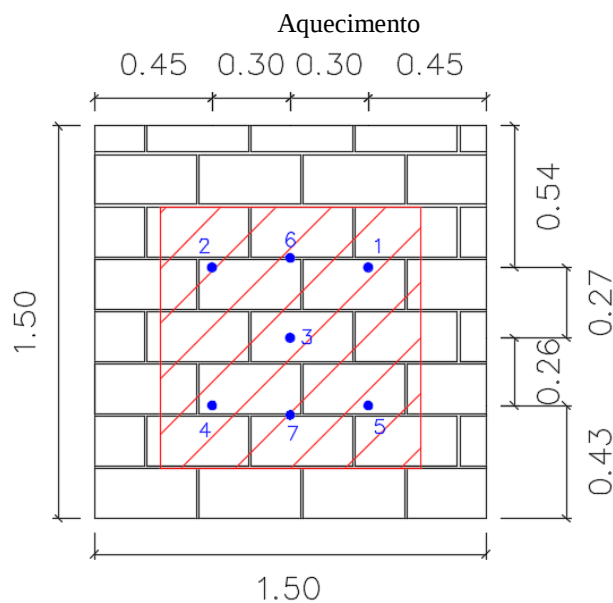
Antes da realização dos ensaios térmicos os corpos de prova passaram por um período de cura ao ar de 90 dias em laboratório e no dia do ensaio esses foram devidamente aparelhados com os instrumentos de medição. Para tanto, foram utilizados oito termopares: um no interior do forno próximo a face interna da parede a ser ensaiada, a 66 cm de altura do limite inferior de aquecimento do forno (termopar tipo K número 8 – com a funcionalidade de acompanhar a curva de aquecimento no tempo do forno); cinco termopares foram distribuídos uniformemente na face externa, em contato direto com a face dos blocos ou da argamassa de revestimento (termopar do tipo K números 1, 2, 3, 4, 5 – visando monitorar a temperatura na face externa dos blocos ou revestida); e dois posicionados em contato direto com as argamassas de assentamento (termopar do tipo k números 6 e 7 – visando monitorar as temperaturas na face externa da argamassa de assentamento, para os casos sem revestimento nesta face). A região hachurada delimitada nas Foto 13 e Figura 3 compreende a zona de influência do forno na face não exposta ao aquecimento.

Foto 13 – Posicionamento dos Termopares na Zona de Influência do Forno na Face Não Exposta ao Aquecimento



Fonte: O Autor

Figura 3 - Posicionamento dos Termopares na Zona de Influência do Forno na Face Não Exposta ao Aquecimento



Fonte: O Autor

Durante o experimento térmico os dados referentes à temperatura foram medidos pelos termopares e devidamente arquivados pelo software. Também foram verificados os limites estabelecidos pela normatização nacional para enquadramento dos corpos de prova nas classificações de isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade estrutural.

Para permitir o isolamento térmico, evitar o fluxo de gases e fumaça e para manutenção da pressão interna, o forno foi mantido em contato direto com a parede através de uma manta de fibra cerâmica, por uma pequena pressão, apenas de vedação, durante a realização do experimento como pode ser observado na Foto 14.

Foto 14 – Contato do Forno com a Parede Durante Ensaio Térmico



Fonte: O Autor

Antes do início do ensaio térmico, o forno elétrico utilizado foi programado para acompanhar a curva de tempo x temperatura estabelecida pela ISO 834-1, fazendo-se o uso de sete pontos (capacidade máxima do programador) pertencentes a esta curva.

4.3.4.1 Verificação do Isolamento Térmico

Para aferição da capacidade de isolamento térmico das paredes foram observadas as temperaturas internas e externas desenvolvidas durante o ensaio, em que esse requisito era obedecido enquanto nenhuma das temperaturas na face externa atingisse um aumento superior a 180°C ou a temperatura média aferida na face externa não atingisse um aumento superior a 140°C, devendo ser devidamente anotado o instante dessas ocorrências durante o ensaio, de acordo com a ABNT NBR 10636:1989.

4.3.4.2 Verificação da Estanqueidade

A capacidade de estanqueidade do corpo de prova foi verificada através da aplicação de um chumaço de algodão com dimensões de 100 mm x 100 mm de área superficial e 20 mm de espessura. Este era colocado de 20 mm a 30 mm de distância de regiões de trincas ou outras aberturas que permitissem a saída de gases, através de um bastidor metálico e por intervalos de tempo entre 10 s e 20 s. A estanqueidade não era mais verificada no caso da ocorrência da inflamação do chumaço, devendo ser observado e registrado o instante e a posição da primeira inflamação, como indicado pela ABNT NBR 10636:1989.

4.3.4.3 Verificação da Estabilidade

Para análise de estabilidade das paredes foram devidamente observadas e registradas eventuais deformações, colapso ou sinais de instabilidade. A estabilidade também pode ser verificada através da aplicação do teste de choque mecânico 3 minutos antes do término do ensaio térmico, em que uma esfera de aço com massa entre 15 kg e 25 kg em movimento pendular se choca com a face não exposta do corpo de prova em 3 pontos distintos de uma mesma horizontal, correspondendo a uma energia de 20 J por impacto, de acordo com a ABNT NBR 10636:1989. Porém em laboratório, visando uma maior segurança das pessoas e dos equipamentos, o teste de choque mecânico foi adaptado, sendo realizado após a finalização do ensaio térmico e a retirada dos instrumentos de medição (termopares). O material da esfera utilizada também foi substituído pelo concreto maciço, possuindo uma massa de 17,340 kg, sendo erguida e solta de uma altura de 90 cm, desenvolvendo um movimento pendular até se chocar com a parede a uma altura de 75 cm, transferindo para esta uma energia aproximada de 20 J. É importante destacar que durante o ensaio de choque mecânico para verificação da estabilidade, as paredes não apresentavam qualquer tipo de travamento lateral externo, estando estas apenas apoiadas e travadas no pórtico metálico de suporte. A partir desta condição considerada é possível inferir que se os corpos de prova estivessem travados em todas as suas faces, acarretaria em uma menor dissipação energética e os danos causados pelo ensaio poderiam ter sido ainda maiores que os obtidos. A configuração do ensaio pode ser melhor observada na Foto 15.

Foto 15 – Verificação da Estabilidade das Paredes Após Ensaio Térmico



Fonte: O Autor

4.4 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

4.4.1 Blocos

Para a realização do ensaio mecânico de resistência à compressão axial dos blocos foram utilizados uma amostragem de 10 corpos de prova em condições ambiente de temperatura e umidade e 6 corpos de prova em temperatura ambiente e saturados (visando a caracterização do material), além de todos os 66 corpos de prova que passaram pelos ensaios térmicos. Para a realização deste ensaio de resistência à compressão axial os corpos de prova foram posicionados com os séptos menos espessos (20mm) virados para baixo e os mais espessos (25mm) virados para cima, como indicado pela ABNT NBR 12118:2013. Antes da aplicação do carregamento foram colocadas “chapas” prismáticas de aço maciço nas faces horizontais superior e inferior do corpo de prova com o objetivo de melhor distribuir homogeneamente o carregamento pela superfície do exemplar. Com o corpo corretamente posicionado, a prensa hidráulica era programada e acionada para aplicação de carga com uma taxa de 0,05 MPa/s, que para a classe do bloco corresponde a 1,755 kN/s. Tais características do ensaio podem ser observadas na Foto 16 que segue.

Foto 16 – Preparação do Bloco para Ensaio de Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Após cada ensaio mecânico os dados de carregamento e tempo eram salvos em uma planilha eletrônica para posterior análise.

Para os exemplares ensaiados em condição de saturação e temperatura ambiente, estes foram colocados submersos em tanques por 24 horas antes de cada ensaio.

Para os corpos de prova que passavam pelo ensaio térmico, a depender da sua metodologia de análise (a quente, resfriado lentamente ou resfriado bruscamente), foi feito um procedimento diferente. Considerando os ensaiados a quente, com auxílio de equipamentos de proteção eles eram retirados dos fornos logo após os ensaios térmicos, suas massas eram aferidas e eles seguiam para o ensaio de resistência à compressão axial. Tais processos podem ser observados nas Foto 17 e Foto 18.

Foto 17 – Metodologia de Ensaio a Quente Blocos



Fonte: O Autor

Foto 18 – Metodologia de Ensaio a Quente Blocos



Fonte: O Autor

Os ensaiados após um resfriamento lento, após ensaio térmico eram deixados no interior do forno por um período de 24 horas para resfriarem lentamente e só assim suas massas eram aferidas e eles seguiam para o ensaio mecânico. Para os exemplares submetidos à resfriamento brusco, logo após o ensaio térmico estes eram resfriados por jato de água até atingirem a temperatura ambiente, conforme Foto 19, e após 24 horas do resfriamento suas massas eram aferidas e seguiam para o ensaio mecânico de resistência à compressão axial.

Foto 19 – Resfriamento Brusco dos Blocos por Jato de Água



Fonte: O Autor

4.4.2 Prismas

Para a realização do ensaio mecânico de resistência à compressão axial dos prismas de dois blocos foram utilizados uma amostragem de 6 corpos de prova em condições ambiente de temperatura e umidade e 6 corpos de prova em temperatura ambiente e saturados (visando a caracterização do material), além de todos os 36 corpos de prova que passaram pelos ensaios térmicos. Para a realização deste ensaio de resistência à compressão axial os corpos de prova foram posicionados com os séptos menos espessos (20mm) virados para baixo e os mais espessos (25mm) virados para cima, como indicado pela ABNT NBR 15961:2011 e ABNT NBR 12118:2013. Antes da aplicação do carregamento foram colocadas “chapas” prismáticas de aço maciço nas faces horizontais superior e inferior do corpo de prova com o objetivo de melhor distribuir homogeneamente o carregamento pela superfície do exemplar. Com o corpo corretamente posicionado, a prensa hidráulica era programada e acionada para aplicação de carga com uma taxa de 0,05 MPa/s, que para a classe dos blocos que compõe o prisma corresponde a 1,755 kN/s. Tais características do ensaio podem ser observadas na Foto 20 que segue.

Foto 20 - Preparação do Prisma para Ensaio de Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Após cada ensaio mecânico os dados de carregamento e tempo eram salvos em uma planilha eletrônica para posterior análise.

Para os exemplares ensaiados em condição de saturação e temperatura ambiente, estes foram colocados submersos em tanques por 24 horas antes de cada ensaio.

Para os corpos de prova que passavam pelo ensaio térmico, a depender da sua metodologia de análise (a quente, resfriado lentamente ou resfriado bruscamente), foi feito um procedimento diferente. Considerando os ensaiados a quente, com auxílio de equipamentos de proteção eles eram retirados dos fornos logo após os ensaios térmicos, suas massas eram aferidas e eles seguiam para o ensaio de resistência à compressão axial, como indicado na Foto 21.

Foto 21 - Metodologia de Ensaio a Quente Prismas



Fonte: O Autor

Os ensaiados após um resfriamento lento, após ensaio térmico eram deixados no interior do forno por um período de 24 horas para resfriarem lentamente e só assim suas massas eram aferidas e eles seguiam para o ensaio mecânico. Para os exemplares submetidos à resfriamento brusco, logo após o ensaio térmico estes eram resfriados por jato de água até atingirem a temperatura ambiente, e após 24 horas do resfriamento suas massas eram aferidas e seguiam para o ensaio mecânico de resistência à compressão axial.

4.4.3 Argamassa

Para a realização do ensaio mecânico de resistência à tração na flexão e à compressão axial da argamassa foi utilizada uma amostragem de 3 corpos de prova em condições ambiente de temperatura e umidade e 3 corpos de prova em temperatura ambiente e saturados (visando a caracterização do material), além de todos os 36 corpos de prova que passaram pelos ensaios térmicos. Para a realização destes ensaios de resistência, para cada amostragem todos os ensaios de tração na flexão eram realizados primeiro e posteriormente com as metades restantes (o dobro do número de corpos de prova) eram feitos os ensaios de compressão, como indicado pela ABNT NBR 13279:2005. Para o ensaio de tração utilizou-se um aparelho com 2 apoios fixos distando 100 mm, nos quais o corpo de prova era centrado horizontalmente, e um apoio

móvel centrado responsável pela aplicação da carga pontual, como pode ser observado na Foto 22. Para o ensaio de compressão foram utilizadas duas “chapas” metálicas maciças de 4 x 4 cm, posicionadas de forma que a área de aplicação do carregamento fosse 16 cm², como destacado na Foto 23. Com o corpo corretamente posicionado, a prensa hidráulica era programada e acionada para aplicação de carga com uma taxa de 50 N/s para o ensaio de resistência à tração na flexão e 500 N/s para o ensaio de resistência à compressão de acordo com o descrito pela ABNT NBR 13279:2005.

Foto 22 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão das Argamassas



Fonte: O Autor

Foto 23 - Ensaio de Resistência à Compressão das Argamassas



Fonte: O Autor

Após cada ensaio mecânico os dados de carregamento e tempo eram salvos em uma planilha eletrônica (Excel) para posterior análise.

Para os exemplares ensaiados em condição de saturação e temperatura ambiente, estes foram colocados submersos em tanques por 24 horas antes de cada ensaio.

Para os corpos de prova que passavam pelo ensaio térmico, a depender da sua metodologia de análise (a quente, resfriado lentamente ou resfriado bruscamente), foi feito um procedimento diferente. Considerando os ensaiados a quente, com auxílio de equipamentos de proteção eles eram retirados dos fornos logo após os ensaios térmicos, suas massas eram aferidas e eles seguiam para o ensaio de resistência à compressão axial, como indicado na Foto 24.

Foto 24 - Metodologia de Ensaio a Quente Argamassas



Fonte: O Autor

Os ensaiados após um resfriamento lento, após ensaio térmico eram deixados no interior do forno por um período de 24 horas para resfriarem lentamente e só assim suas massas eram aferidas e eles seguiam para os ensaios mecânicos. Para os exemplares submetidos à resfriamento brusco, logo após o ensaio térmico estes eram resfriados por submersão em recipiente com água até atingirem a temperatura ambiente, e após 24 horas do resfriamento suas massas eram aferidas e seguiam para o ensaio mecânico de resistência à compressão axial.

4.5 ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

4.5.1 Blocos

Objetivando melhor caracterizar os materiais utilizados nos corpos de prova de blocos, prismas e paredes, foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade adaptado para os blocos e os prismas. Tendo em vista a não existência de normatização nacional e a falta de disponibilização de normatização internacional que regulamentem os procedimentos de realização de tal tipo de ensaio nesses materiais e para esses tipos de corpos de prova, foi utilizada como embasamento a norma para determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto ABNT NBR 8522:2008, fazendo-se algumas adaptações.

Para montagem do ensaio foram utilizadas duas cantoneiras fixas de alumínio coladas centradas nas faces laterais, na direção axial à aplicação do carregamento. Estas possuíam espessuras de 1 cm e a distância aproximada entre a superior (no ponto de fixação do parafuso) até a inferior (na face de medição) era de 10 cm (distância fixa de medição, que dividirá a variação observada no ensaio para obtenção da deformação específica). Foi construída também uma outra cantoneira de maior comprimento, que era móvel, com o objetivo fixação e regulagem do equipamento de medição (LVDT). Tais configurações podem ser melhor observadas nas Foto 25 e Foto 26.

Foto 25 – Montagem para Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade Longitudinal dos Blocos



Fonte: O Autor

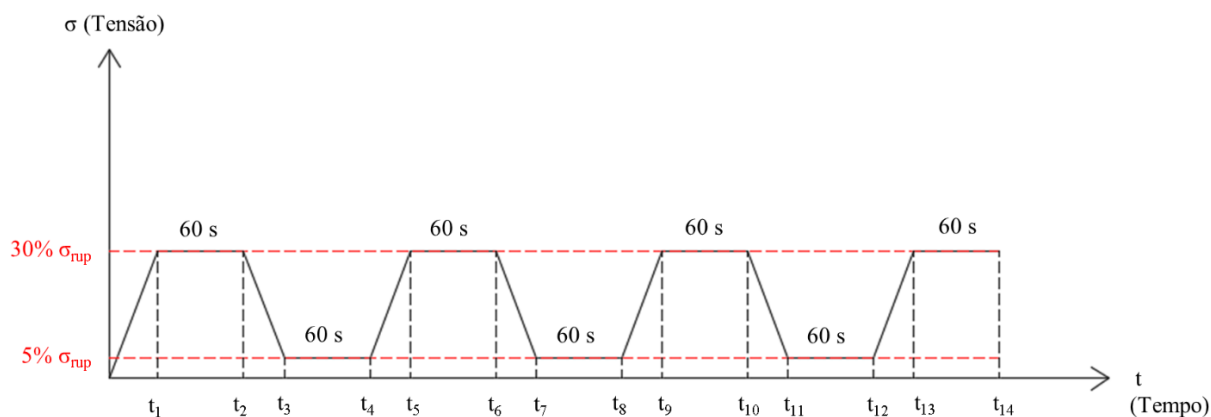
Foto 26 – Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade dos Blocos



Fonte: O Autor

Para a realização das medições foi utilizado um defletoômetro elétrico indutivo (LVDT) que fazia as leituras das variações de deformação real durante todo o processo de ciclos de carregamento característicos do ensaio. Os dados eram aferidos por um data logger com uma frequência de 2 Hz e armazenados por um software. De forma independente, a prensa responsável pelos ciclos de carregamento foi programada para aplicação de quatro ciclos de carregamento nos quais a velocidade de carregamento e descarregamento era em valor absoluto de 0,05 MPa/s ou 1,755 kN/s (para o bloco estudado). Em cada ciclo o carregamento passava por dois patamares nos quais seus valores eram constante por 60 s, sendo estes um inferior (com carga equivalente a 5% da tensão de ruptura) e um superior (com carga equivalente a 30% da tensão de ruptura). Tais configurações podem ser melhor observadas no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Ciclo de Carregamentos para Ensaio de Módulo de Elasticidade Longitudinal



Fonte: O Autor

Na determinação do módulo de elasticidade eram considerados a média das medições dos 30 s intermediários do último patamar inferior e do último patamar superior, nos quais era possível aferir a deformação real em cada um juntamente com as respectivas tensões aplicadas, sendo assim possível a determinação das deformações específicas, e através da divisão da diferença dos valores de tensão pela diferença dos valores de deformação específica, a determinação do módulo de elasticidade longitudinal do bloco.

4.5.2 Prismas

Nos prismas de dois blocos, de forma análoga ao que foi feito para os blocos, devido a não existência de normatização nacional e a falta de disponibilização de normatização internacional que regulamentem os procedimentos de realização de tal tipo de ensaio nesses materiais e para esses tipos de corpos de prova, foi utilizada como embasamento a norma para determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto ABNT NBR 8522:2008, fazendo-se algumas adaptações.

Para montagem do ensaio foram utilizadas duas cantoneiras fixas de alumínio coladas centradas nas faces laterais, na direção axial à aplicação do carregamento. Estas possuíam espessuras de 1 cm e a distância aproximada entre a superior (no ponto de fixação do parafuso – bloco superior) até a inferior (na face de medição – bloco inferior) era de 20 cm (distância fixa de

medição passando pela junta de assentamento, que dividirá a variação observada no ensaio para obtenção da deformação específica). Foi construída também uma outra cantoneira de maior comprimento que era móvel, objetivando a fixação e regulagem do equipamento de medição (LVDT). Tais configurações podem ser melhor observadas na Foto 27.

Foto 27 – Realização do Ensaio de Módulo de Elasticidade dos Prismas



Fonte: O Autor

Na realização das medições, aplicação dos ciclos de carregamento do ensaio e cálculo do módulo de elasticidade à compressão do prisma, os procedimentos adotados foram todos análogos aos adotados para o ensaio dos blocos e portanto nesta análise também pode ser considerada o Gráfico 8 como referência.

A diferenciação esperada nos resultados dos prismas com relação aos blocos está associada ao fato de que as deformações medidas durante o ensaio estão associadas a dois tipos de materiais componentes do corpo de prova: o concreto simples que compõe o bloco e a argamassa industrializada de assentamento que liga os dois blocos por uma junta de 1 cm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO

Para os ensaios de absorção dos blocos de concreto simples realizados de acordo com a ABNT NBR 12118:2013, os resultados obtidos para tal material e tal classificação de blocos foram analisados de acordo com a ABNT NBR 6136:2014 e apesar da elevada porosidade apresentada pelo material, para as três amostras analisadas, tanto para os valores individuais (que devem ser $\leq 12\%$) como para o valor médio (que deve ser $\leq 10\%$) os resultados foram satisfatórios, podendo estes serem observados no Quadro 9.

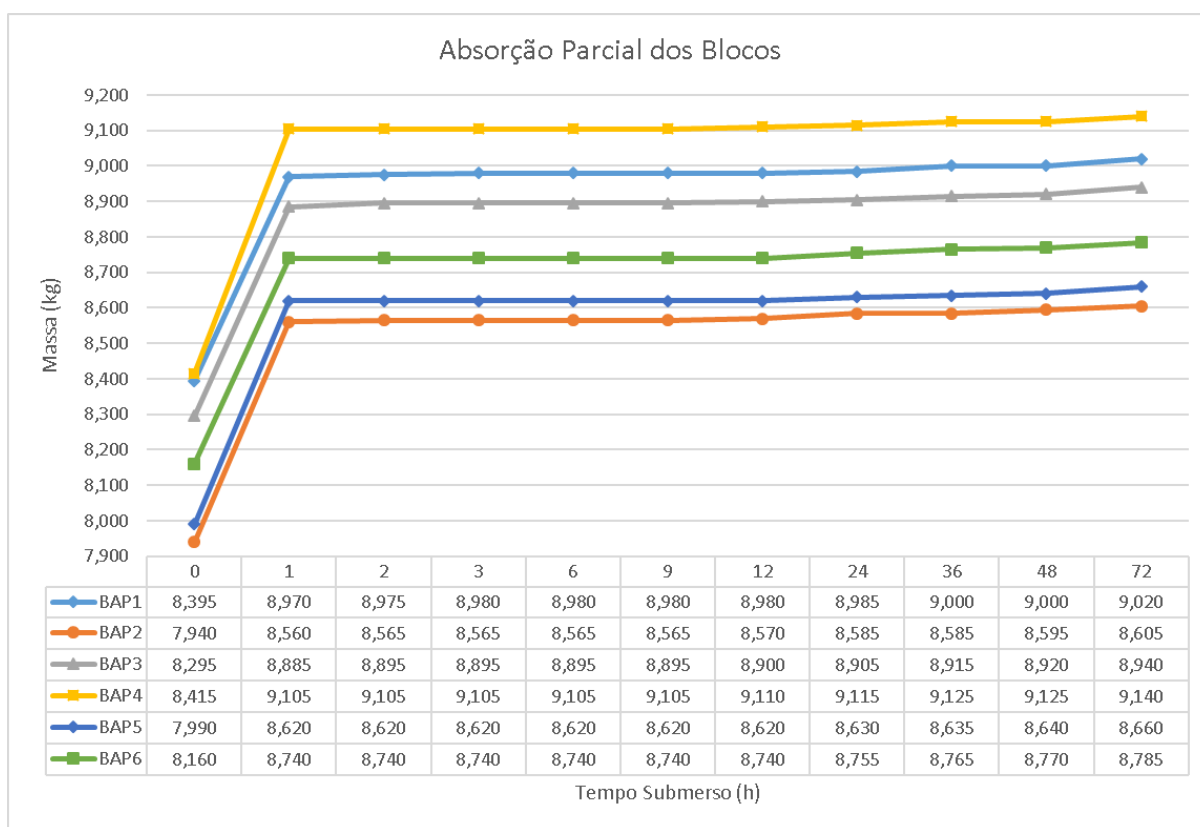
Quadro 9 – Resultados do Ensaio de Absorção

Amostras	m1 (g)	m2 (g)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
1	8090	8615	6,49	6,63
2	8025	8600	7,17	
3	8330	8850	6,24	

Fonte: O Autor

Na tabela os valores de m1 e m2 correspondem respectivamente a massa em (g) da amostra (bloco) seco em estufa à 110°C por 24 h e a massa em (g) da amostra (bloco) saturado, após 24 h submerso em água. Para a determinação das absorções parciais, que foram concomitantemente realizadas com o ensaio de absorção, foi possível a construção do Gráfico 9 que representa a absorção de cada amostra para cada tempo analisado.

Gráfico 9 – Resultado da Determinação das Absorções Parciais



Fonte: O Autor

Na tabela acompanhada do gráfico, para cada amostra analisada se têm as suas respectivas massas em cada tempo submerso em água, no qual o tempo 0 h representa a massa da amostra (bloco) após secagem em estufa à 110°C por 24 h. Com os resultados obtidos é possível inferir que devido ao alto grau de porosidade apresentado pelo concreto componente do bloco, já na primeira hora submersa a amostra absorve quase na totalidade a água característica para saturação do bloco, obtendo ganhos percentuais insignificantes, em relação a massa total da amostra, nas horas seguintes de submersão.

5.2 ENSAIOS TÉRMICOS E MECÂNICOS

5.2.1 Blocos

5.2.1.1 Blocos em Condições Ambiente

Considerando os blocos ensaiados em condições ambientes normais de temperatura e umidade, tendo em vista as baixas resistências esperadas para essa classe de blocos e as características do material constituinte, foi possível identificar a ocorrência de deformações consideráveis antes da ocorrência de ruptura, que por sua vez não eram frágeis. Exemplos destas podem ser observados nas Foto 28 e

Foto 29.

Foto 28 – Bloco Ensaiado à Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Foto 29 – Bloco Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Após o ensaio de 10 corpos de prova em tais condições, foi possível determinar a resistência média, o desvio padrão e a resistência característica estimada para tal amostragem. Apesar do valor médio obtido ter sido superior a 3 MPa, a resistência característica estimada apresentou-se abaixo dos 3 MPa que são indicados por norma para esses blocos classificados como pertencentes à classe C. Os resultados podem ser melhor observados no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados de Resistência à Compressão dos Blocos em Condições Ambiente e Não Saturados

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS								
BAN (CP's)	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	F (célula carga) (N)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	390,67	90,33	35290,22	119829	3,40	2,46	2,28	2,46
2	390,67	90,00	35160,00	154599	4,40			
3	391,67	90,00	35250,00	102375	2,90			
4	392,00	90,33	35410,67	90716	2,56			
5	391,33	91,33	35741,78	170462	4,77			
6	393,67	90,33	35561,22	130609	3,67			
7	390,00	90,00	35100,00	108647	3,10			
8	390,00	90,00	35100,00	176164	5,02			
9	390,00	90,00	35100,00	149626	4,26			
10	390,00	90,00	35100,00	97697	2,78			
				Média (MPa)	3,69			
				Desvio Padrão da Amostra (MPa)	0,88			

Fonte: O Autor

Na tabela os valores de C, L e A representam respectivamente o comprimento, a largura e a área bruta dos blocos ensaiados. O valor de F e σ são respectivamente os valores já corrigidos pela célula de carga da força e da tensão de ruptura. Já os valores de fbk est 1 e fbk est 2 são os estimadores utilizados de acordo com a ABNT NBR 6136:2014, em que o maior valor dentre eles corresponde à resistência característica estimada para o lote.

Para a amostragem ensaiada em condições de saturação, após as 24 h de submersão os 6 blocos foram retirados e tiveram suas superfícies secas com um pano úmido e encaminhados para o ensaio mecânico. Com os resultados obtidos foi possível identificar que a água e o grau de saturação a que o bloco foi exposto teve uma grande influência na resistência à compressão das

amostras, diminuindo-as significativamente e fazendo com que o modo de ruptura fosse ainda menos frágil. Nas Foto 30 e Foto 31 é possível observar uma exemplificação.

Foto 30 – Bloco Saturado Ensaiado à Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Foto 31 – Bloco Saturado Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Pela análise dos resultados obtidos é possível identificar que a resistência média encontrava-se abaixo de 3 MPa e apesar da menor variabilidade dos resultados (confirmada pelo menor desvio

padrão), a resistência característica estimada foi bastante inferior aos 3 MPa. Os resultados podem ser melhor observados no Quadro 11.

Quadro 11 – Resultados de Resistência à Compressão dos Blocos em Condições Ambiente e Saturados

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS								
BAS (CP's)	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm²)	F (célula carga) (N)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,67	90,00	35340,03	85273	2,41	1,87	1,80	1,87
2	391,67	91,00	35641,70	88480	2,48			
3	390,67	90,00	35160,03	74436	2,12			
4	392,00	90,00	35280,00	74096	2,10			
5	391,33	90,33	35350,31	100488	2,84			
6	393,00	90,67	35632,13	103115	2,89			
				Média (MPa)	2,47			
				Desvio Padrão da Amostra (MPa)	0,34			

Fonte: O Autor

5.2.1.2 Blocos Após Ensaio Térmico

Para os blocos submetidos ao ensaio térmico a taxa máxima de aquecimento que se conseguiu atingir teve total influência dos seus posicionamentos dentro do forno e da temperatura máxima que se pretendeu atingir em cada ensaio, em que quanto menores as temperaturas a serem atingidas e quanto mais superiores estavam os exemplares no forno, maiores eram as taxas de aquecimento que se conseguia atingir. Deve-se destacar que as taxas de aquecimento aferidas para o ar internamente ao forno eram sempre superiores às taxas medidas nas faces dos blocos, e essas se aproximavam à medida que a temperatura máxima atingida aumentava. Tais resultados assim como a exemplificação das curvas de aquecimento no tempo podem ser melhor observados e descritos nos Quadro 12, Quadro 13 e Gráfico 10.

Quadro 12 – Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Blocos por Temperatura de Ensaio

Taxa Média de Aquecimento dos Blocos para Cada Temperatura	
Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
200	4,1
400	3,7
600	3,6
800	3,3

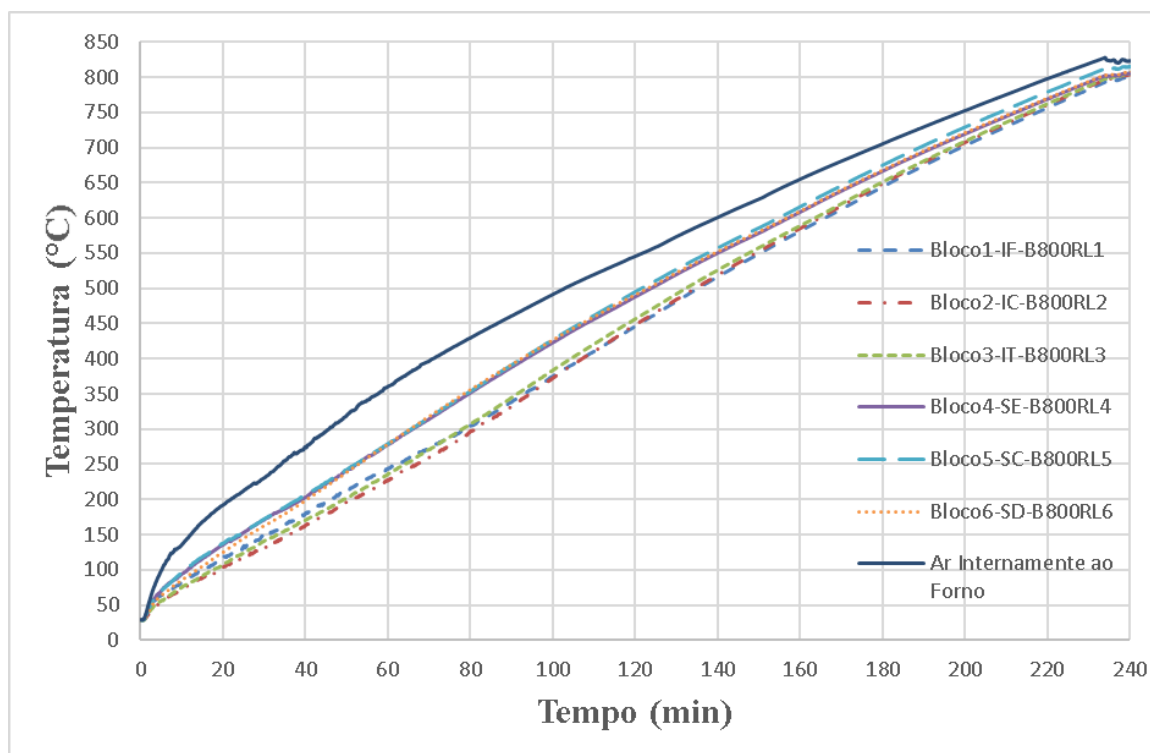
Fonte: O Autor

Quadro 13 – Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno

Taxa Média de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno	
Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
200	7,9
400	5,0
600	4,0
800	3,4

Fonte: O Autor

Gráfico 10 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para os Blocos



Fonte: O Autor

Como foi indicado, os resultados observados nas tabelas são taxas lineares médias aproximadas a partir das curvas reais de aquecimento para cada ensaio térmico. Após passarem pelo ensaio térmico foi possível identificar que para diferentes temperaturas máximas de ensaio atingidas os exemplares sofriam determinada intensidade de mudança de coloração (tonalidades alaranjadas) e se tornavam cada vez mais “quebradiços” e frágeis, tendo em vista principalmente o processo de desidratação dos silicatos de cálcio hidratados e hidróxidos de cálcio. Tais modificações podem ser melhor observadas a partir dos ensaios realizados a 400 °C, como indicado nas Foto 32, Foto 33 e Foto 34..

Foto 32 – Blocos Após Ensaio Térmico a 400 °C



Fonte: O Autor

Foto 33 - Blocos Após Ensaio Térmico a 600 °C



Fonte: O Autor

Foto 34 - Blocos Após Ensaio Térmico a 800 °C



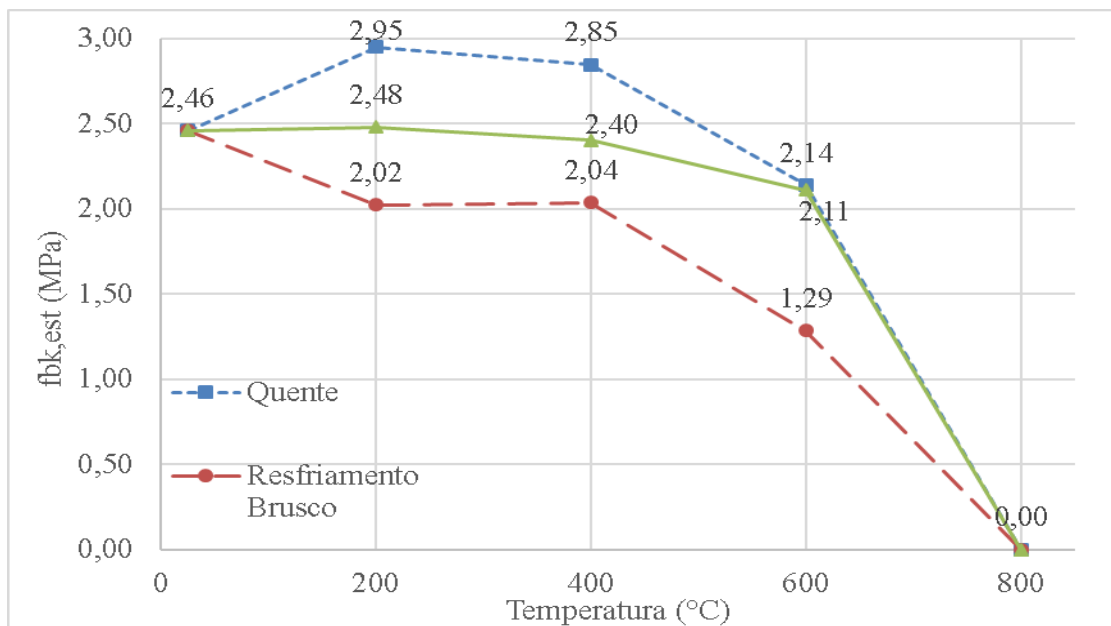
Fonte: O Autor

Com a realização dos ensaios mecânicos foi possível constatar que em concordância com o que foi apresentado por alguns trabalhos já realizados referentes a concretos submetidos a elevadas temperaturas, a resistência do concreto e consequente do bloco começa a ser mais significativamente afetada após os 400 °C, apresentando quedas percentuais elevadas para as temperaturas de 600 e 800 °C. Apesar de terem sido utilizadas as máximas taxas de aquecimento suportadas pelo forno, em nenhum dos ensaios térmicos foi possível indentificar a ocorrência de “spalling”, mesmo as taxas estando acima do que normalmente é indicado pela literatura para ocorrência de tal fenômeno. Isso pode ser explicado devido ao alto grau de porosidade que o material constituinte do bloco possuía, o que permitiu facilmente o permeamento da água de desidratação sem a ocorrência de acréscimos significativos de pressão interna que pudesse acarretar tal fenômeno, comum em concretos de baixo grau de permeabilidade e porosidade submetidos a tais condições.

Para melhor entendimento do comportamento, foram elaborados gráficos a partir das resistências médias e das resistências características estimadas calculadas para cada amostragem ensaiada termicamente em uma determinada temperatura e condição de ensaio. Os Gráfico 11 e Gráfico 12 representam as resistências características estimadas obtidas pelos estimadores indicados na ABNT NBR 6136:2014, assim como seus respectivos valores percentuais tomando como referência os resultados encontrados para a amostragem em condições ambiente e não saturada. Os Gráfico 13 e Gráfico 14 representam as resistências

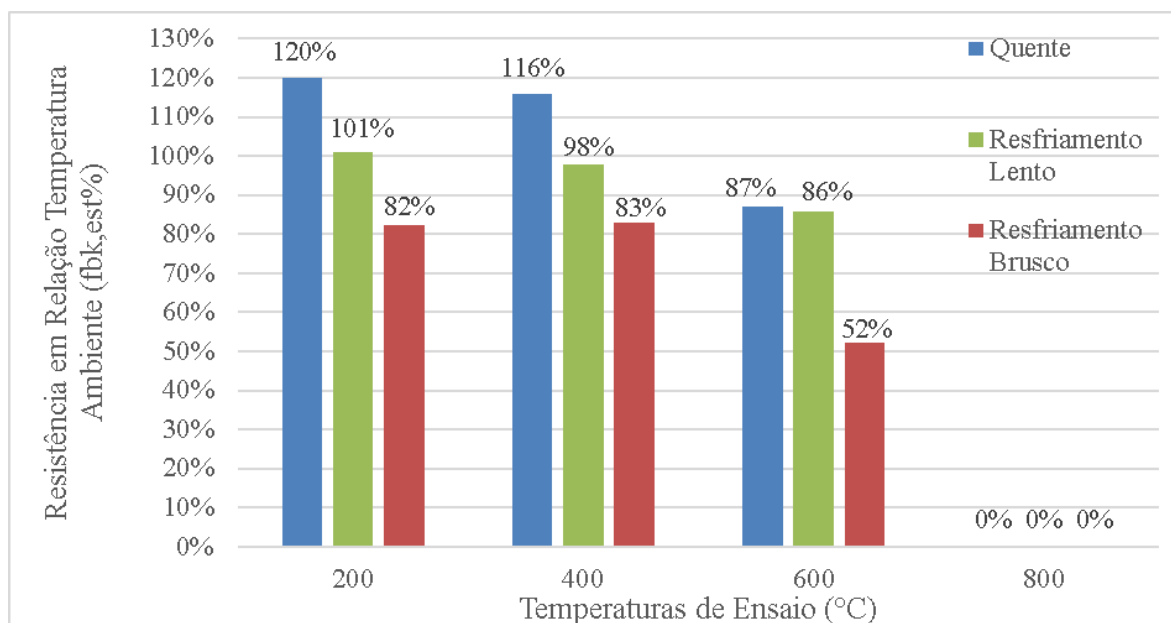
médias calculadas, assim como seus respectivos valores percentuais tomando como referência os resultados encontrados para amostragem em condições ambiente e não saturada.

Gráfico 11 – Resistência Característica Estimada à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas



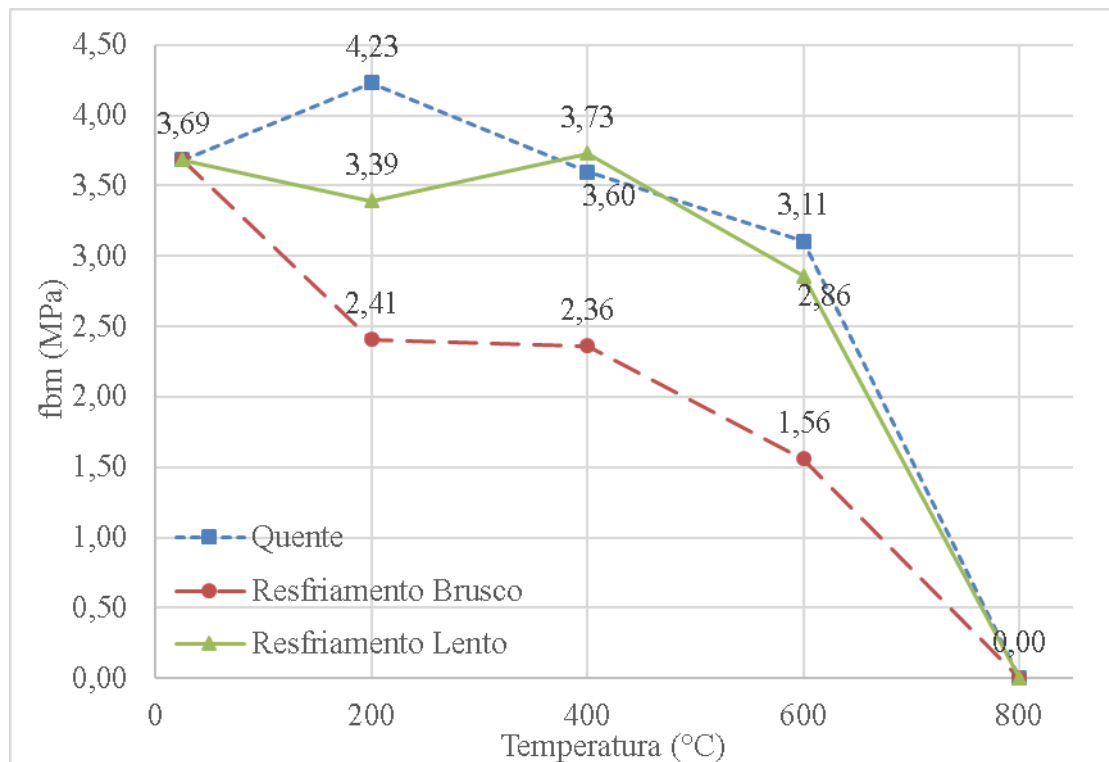
Fonte: Desenvolvimento Experimental do Autor

Gráfico 12 – Percentuais da Resistência Característica Estimada à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas



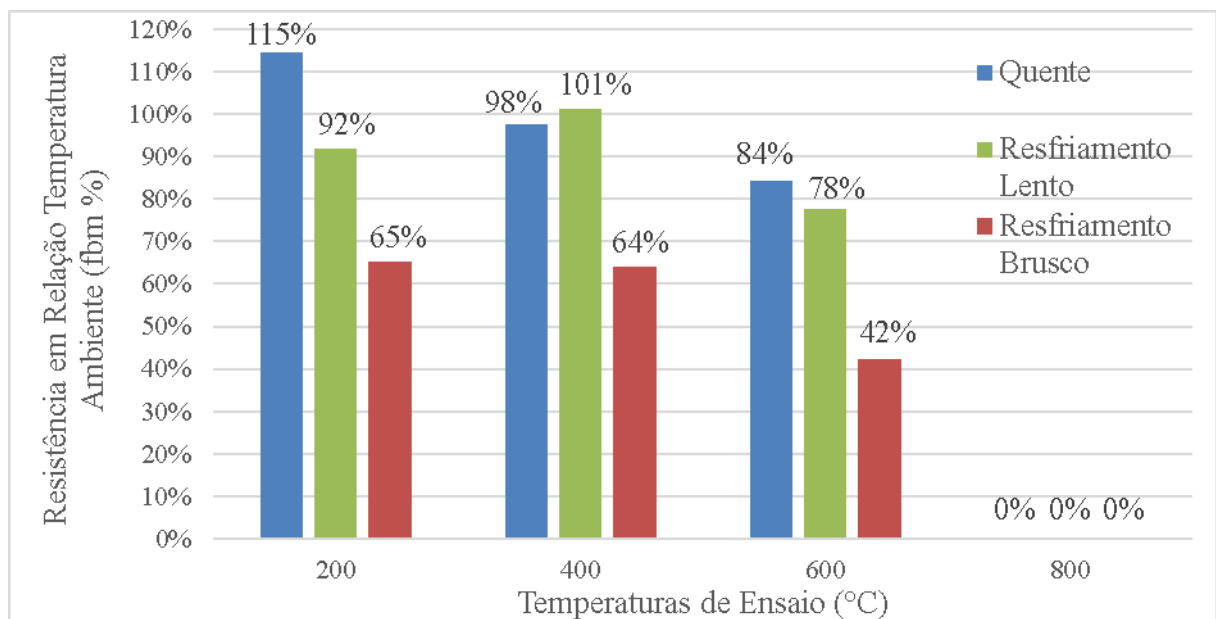
Fonte: O Autor

Gráfico 13 - Resistência Média à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Gráfico 14 - Percentuais da Resistência Média à Compressão dos Blocos Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Através dos resultados, da análise gráfica e por observações dos ensaios mecânico dos exemplares saturados, foi possível inferir que o teor de umidade e a saturação do bloco tem grande influência na diminuição substancial da resistência à compressão, sendo possível destacar que além das perdas de resistências proveniente do aquecimento, as amostragens ensaiadas após resfriamento brusco por água, ainda possuíam uma perda de resistência associada ao alto teor de umidade que os exemplares apresentavam.

Para as amostras submetidas a temperatura de ensaio de 800 °C, após os ensaios térmicos foi considerado que estas apresentavam uma resistência nula, uma vez que por estarem bastante fissuradas e quebradiças, se desagregavam ainda no transporte e não suportavam nem mesmo a chapa de aço responsável pela distribuição do carregamento. As submetidas a essa temperatura e que passavam pelo resfriamento brusco por jato d'água, se desagregavam e fissuravam de forma a se romper antes mesmo de serem encaminhados ao ensaio de resistência à compressão. Essas ocorrências podem ser observadas nas Foto 35 e Foto 36.

Foto 35 – Desagregação dos Blocos Após Ensaio Térmico 800 °C - 1



Fonte: O Autor

Foto 36 - Desagregação dos Blocos Após Ensaio Térmico 800 °C – 2



Fonte: O Autor

5.2.2 Prismas

5.2.2.1 Prismas em Condição Ambiente

Assim como nos exemplares formados pelos blocos, considerando os prismas ensaiados em condições ambientes normais de temperatura e umidade, tendo em vista as baixas resistências esperadas para essa classe de blocos, as características do material constituinte e a presença da junta de argamassa cimentícia, novamente foi possível identificar a ocorrência de deformações consideráveis antes da ocorrência de ruptura, que por sua vez também não eram frágeis. Exemplos destas podem ser observados nas Foto 37 e Foto 38.

Foto 37 - Prisma Ensaiado à Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Foto 38 - Prisma Após Ensaio de Resistência à Compressão Axial



Fonte: O Autor

Após o ensaio de 6 corpos de prova em tais condições, foi possível determinar a resistência média, o desvio padrão e a resistência característica estimada para tal amostragem segundo o

indicado pela ABNT NBR 6136:2014. Os resultados podem ser melhor observados no Quadro 14.

Quadro 14 - Resultados de Resistência à Compressão dos Prismas em Condições Ambiente e Não Saturados

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS								
PAN (CP's)	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm²)	F(célula carga)(N)	σ(célula carga) (MPa)	f _{pk} 1 (MPa)	f _{pk} 2 (MPa)	f _{pk} , est. (MPa)
1	390,67	90,33	35290,22	109067	3,09	2,06	2,18	2,18
2	390,67	90,00	35160,00	104507	2,97			
3	391,67	90,00	35250,00	101052	2,87			
4	392,00	90,33	35410,67	81989	2,32			
5	390,00	90,00	35100,00	88390	2,52			
6	390,00	90,00	35100,00	92999	2,65			
Média (MPa)					2,74			
Desvio Padrão da Amostra					0,29			

Fonte: O Autor

Para a amostragem ensaiada em condições de saturação, após as 24 h de submersão os 6 prismas foram retirados e tiveram suas superfícies secas com um pano úmido e encaminhados para o ensaio mecânico. Com os resultados obtidos foi possível identificar que, assim como nos blocos, a água e o grau de saturação a que o prisma foi exposto teve uma grande influência na resistência à compressão das amostras, diminuindo-as significativamente e fazendo com que o modo de ruptura fosse ainda menos frágil. Os resultados podem ser observados no Quadro 15.

Quadro 15 - Resultados de Resistência à Compressão dos Prismas em Condições Ambiente e Saturados

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS								
PAS (CP's)	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	F(célula carga)(N)	σ(célula carga) (MPa)	f _{pk} 1 (MPa)	f _{pk} 2 (MPa)	f _{pk} , est. (MPa)
1	392,67	90,00	35340,03	74992	2,12	1,77	1,98	1,98
2	391,67	91,00	35641,70	78575	2,20			
3	390,67	90,00	35160,03	82407	2,34			
4	392,00	90,00	35280,00	75788	2,15			
5	390,00	90,00	35100,00	69827	1,99			
6	390,00	90,00	35100,00	73996	2,11			
				Média (MPa)	2,15			
				Desvio Padrão da Amostra	0,12			

Fonte: O Autor

5.2.2.2 Prismas Após Ensaios Térmicos

Para os Prismas submetidos ao ensaio térmico a taxa máxima de aquecimento que se conseguiu atingir teve total influência dos seus posicionamentos dentro do forno e da temperatura máxima que se pretendeu atingir em cada ensaio, em que quanto menores as temperaturas a serem atingidas e quanto internos estavam os exemplares no forno, maiores eram as taxas de aquecimento que se conseguia atingir. Deve-se destacar que as taxas de aquecimento aferidas para o ar internamente ao forno eram sempre superiores às taxas medidas nas faces dos blocos que formavam os prismas, e essas se aproximavam à medida que a temperatura máxima atingida aumentava. Tais resultados assim como a exemplificação das curvas de aquecimento no tempo podem ser melhor observados e descritos nos Quadro 16, Quadro 17 e Gráfico 15.

Quadro 16 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Prismas por Temperatura de Ensaio

Taxa Média de Aquecimento dos Prismas para Cada Temperatura	
Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
200	3,8
400	3,4
600	2,9

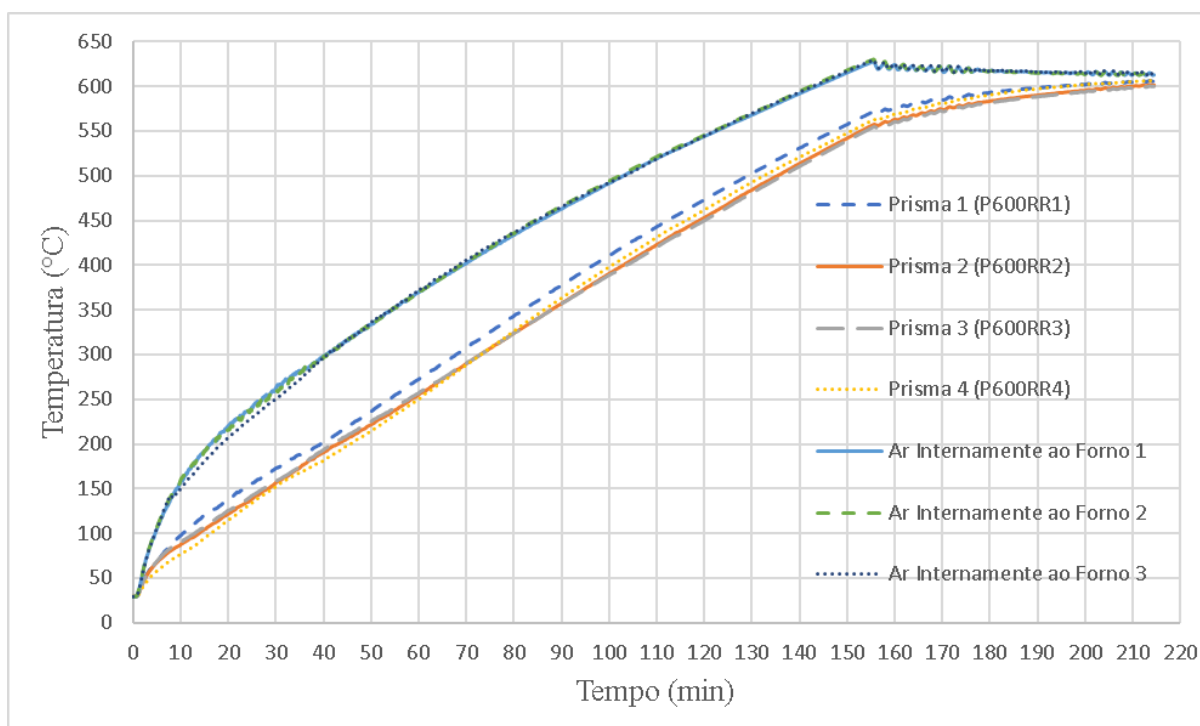
Fonte: O Autor

Quadro 17 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno

Taxa Média de Aquecimento do Ar Internamente ao Forno	
Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
200	6,8
400	4,4
600	3,3

Fonte: O Autor

Gráfico 15 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para os Prismas



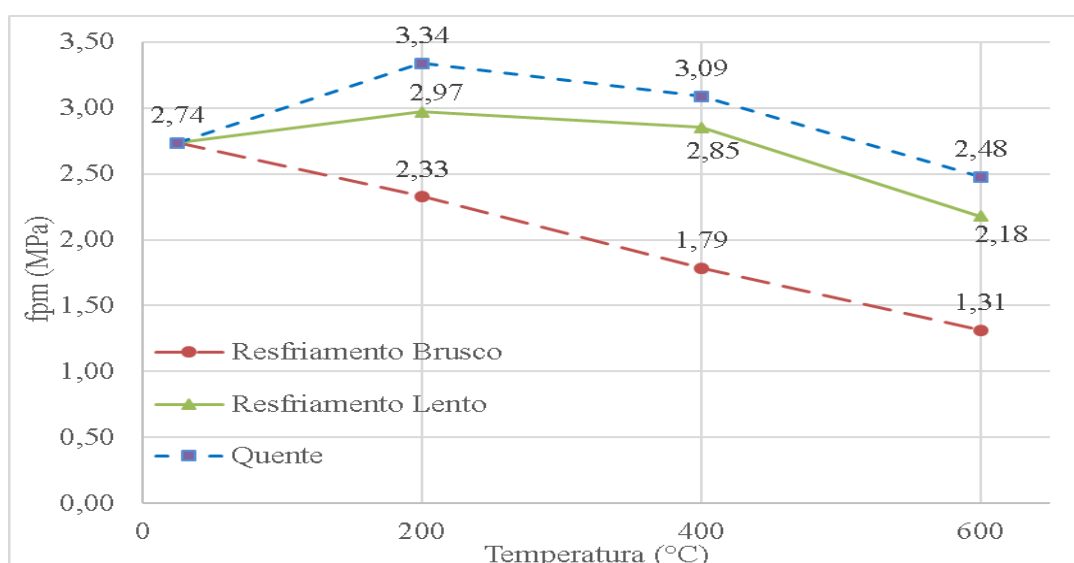
Fonte: O Autor

Como foi indicado, os resultados observados nas tabelas são taxas lineares médias aproximadas a partir das curvas reais de aquecimento para cada ensaio térmico. Assim como ocorrido para os blocos, tendo em vista a predominância dos materiais cimentícios utilizados tanto na composição dos blocos como das argamassas, deve-se destacar que após os prismas passarem pelo ensaio térmico foi possível identificar que para diferentes temperaturas máximas de ensaio atingidas os exemplares sofriam determinada intensidade de mudança de coloração (tonalidades alaranjadas) e se tornavam cada vez mais “quebradiços” e frágeis, devido principalmente ao processo de desidratação dos silicatos de cálcio hidratados e hidróxidos de cálcio.

Com a realização dos ensaios mecânicos, foi possível constatar que em concordância com o que foi apresentado por alguns trabalhos já realizados referentes a concretos submetidos a elevadas temperaturas, a resistência do concreto e consequente do prisma começa a ser mais significativamente afetada após os 400 °C, apresentando quedas percentuais elevadas para as temperaturas de 600 °C. Acompanhando o comportamento do ensaio de blocos, apesar de terem sido utilizadas as máximas taxas de aquecimento suportadas pelo forno, em nenhum dos ensaios térmicos foi possível indentificar a ocorrência de “spalling”, mesmo as taxas estando acima do que normalmente é indicado pela literatura para ocorrência de tal fenômeno. Como já indicado anteriormente, isso pode ser explicado devido ao alto grau de porosidade que o material constituinte do bloco que compõe o prisma possuía, o que permitiu facilmente o permeamento da água de desidratação sem a ocorrência de acréscimos significativos de pressão interna que pudesse acarretar tal fenômeno, comum em concretos de baixo grau de permeabilidade e porosidade submetidos a tais condições.

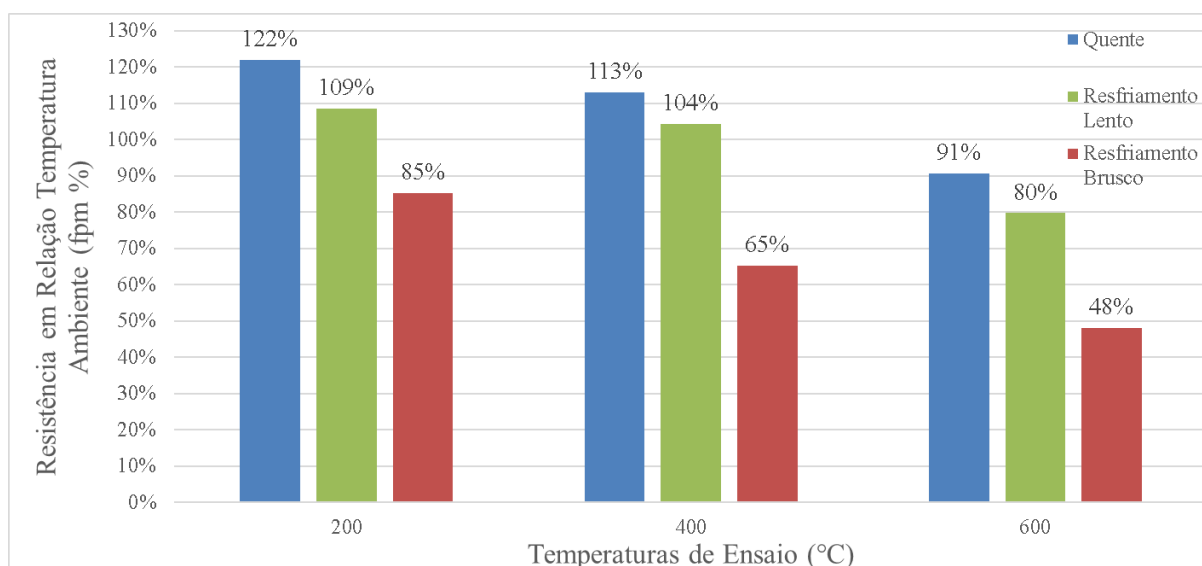
Para melhor entendimento do comportamento, foram elaborados gráficos a partir das resistências médias e das resistências características estimadas calculadas para cada amostragem ensaiada termicamente em uma determinada temperatura e condição de ensaio. Os resultados estão destacados nos Gráfico 16 e Gráfico 17 e representam as resistências médias calculadas, assim como seus respectivos valores percentuais tomando como referência os resultados encontrados para amostragem em condições ambiente e não saturada.

Gráfico 16 - Resistência Média à Compressão dos Prismas Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Gráfico 17 - Percentuais da Resistência Média à Compressão dos Prismas Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Através dos resultados, da análise gráfica e por observações dos ensaios mecânico dos exemplares saturados, foi possível inferir que o teor de umidade e a saturação do prisma tem grande influência na diminuição substancial da resistência à compressão, sendo possível destacar que além das perdas de resistências proveniente do aquecimento, as amostragens ensaiadas após resfriamento brusco por água, ainda possuíam uma perda de resistência associada ao alto teor de umidade que os exemplares apresentavam. Ainda é possível identificar que aos 600 °C as quedas de resistência percentuais para os valores médios foram menores que os apresentados para o ensaio dos blocos, sendo possível associar tal comportamento ao fato de que a argamassa cimentícia de composição da junta “sofreu” menor influência desta temperatura que os blocos que constituíam o prisma.

5.2.3 Argamassas

5.2.3.1 Argamassa em Condição Ambiente

Considerando os exemplares de argamassa ensaiados em condições ambientes normais de temperatura e umidade. As resistências esperadas para essa classe de argamassa, foi possível identificar a ocorrência de deformações consideráveis antes da ocorrência de ruptura, que por

sua vez, eram mais frágeis que as ocorridas nos blocos. Exemplos destas podem ser observados nas Foto 39, Foto 40 e Foto 41.

Foto 39 – Argamassa Ensaaiada à Tração na Flexão



Fonte: O Autor

Foto 40 - Argamassa Ensaaiada à Compressão



Fonte: O Autor

Foto 41 - Argamassa Após Ensaio de Resistência à Compressão



Fonte: O Autor

Após o ensaio de 3 exemplares à resistência à tração na flexão e os 6 exemplares resultantes à resistência à compressão nas condições ambiente de temperatura e pressão, foi possível determinar a resistência média e o desvio absoluto máximo (diferença entre o valor da resistência média e a resistência individual que mais se afaste dessa média), para tal amostragem. A análise estatística dos resultados dos exemplares da amostragem foi feita de acordo com a ABNT NBR 13279:2005 em que o desvio absoluto máximo admitido para cada amostragem era de $\pm 0,3$ MPa na resistência à tração e de $\pm 0,5$ MPa na resistência à compressão. Caso durante a análise fosse obtido valores superiores, o exemplar relativo ao desvio absoluto máximo era descartado e novos cálculos eram obtidos com relação aos exemplares restantes. Para o ensaio de resistência à tração era admitido o descarte de apenas um exemplar (restando dois exemplares para análise), já para o de resistência à compressão era admitido o descarte de dois corpos de prova (restando quatro exemplares para análise). Os resultados nas condições ambiente podem ser melhor observados no Quadro 18.

Quadro 18 - Resultados de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão da Argamassa em Condições Ambiente e Não Saturadas

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARGAN)					
CPt	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
	Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	460	0,11	1.1	10120	6,33
			1.2	9060	5,66
2	410	0,10	2.1	8840	5,53
			2.2	9850	6,16
3	330	0,08	3.1	18680	11,68
			3.2	16900	10,56
	Média (MPa)	0,09			5,92
	Desv. Abs. Máx. (MPa)	0,02			0,41

Fonte: O Autor

Como indicado na tabela os dois últimos valores de resistência à compressão escritos em tonalidade clara foram descartados uma vez que quando foram considerados no cálculo do desvio padrão absoluto o valor superava os $\pm 0,5$ MPa indicado por norma. Assim o valor que aparece referente à resistência média à compressão, assim como o de desvio absoluto máximo englobam apenas os quatro resultados iniciais.

Para a amostragem ensaiada em condições de saturação, após as 24 h de submersão os 3 exemplares foram retirados e tiveram suas superfícies secas com um pano úmido e encaminhados para o ensaio mecânico de resistência à tração na flexão e posteriormente de resistência à compressão. Com os resultados obtidos foi possível identificar que a água e o grau de saturação a que a argamassa foi exposta, proporcionou uma pequena influência na resistência à tração na flexão e uma influência mais significativa na resistência à compressão das amostras, fazendo com que o modo de ruptura fosse ainda menos frágil. Os resultados em tais condições de saturação podem ser melhor observados no Quadro 19.

Quadro 19 - Resultados de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão da Argamassa em Condições Ambiente e Saturadas

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARGAS)					
CPt	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
	Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	300	0,07	1.1	11500	7,19
			1.2	10750	6,72
2	430	0,10	2.1	6730	4,21
			2.2	6590	4,12
3	350	0,08	3.1	7300	4,56
			3.2	7840	4,90
	Média (MPa)	0,08			4,45
	Desv. Abs. Máx. (MPa)	0,02			0,45

Fonte: O Autor

5.2.3.2 Argamassa Após Ensaio Térmico

Para os exemplares de argamassa submetidos ao ensaio térmico a taxa máxima de aquecimento que se conseguiu atingir teve total influência dos seus posicionamentos dentro do forno e da temperatura máxima que se pretendeu atingir em cada ensaio, em que quanto menores as temperaturas a serem atingidas e quanto mais internos ao forno estavam, maiores eram as taxas de aquecimento que se conseguia atingir. Assim foi possível observar que por estarem na região superior do forno, e devido ao efeito de convecção interna do forno (em que o ar quente tende a subir e deixar essa região com temperaturas mais elevadas), os exemplares de argamassa conseguiram atingir taxas de aquecimento superiores aos blocos e prismas ensaiados anteriormente. Deve-se destacar que as taxas de aquecimento aferidas para o ar internamente ao forno, devido a esse posicionamento dos exemplares numa região superior do forno, eram bastante compatíveis às taxas medidas nas faces superiores dos corpos de prova de argamassa, e essas se aproximavam ainda mais à medida que a temperatura máxima atingida aumentava.

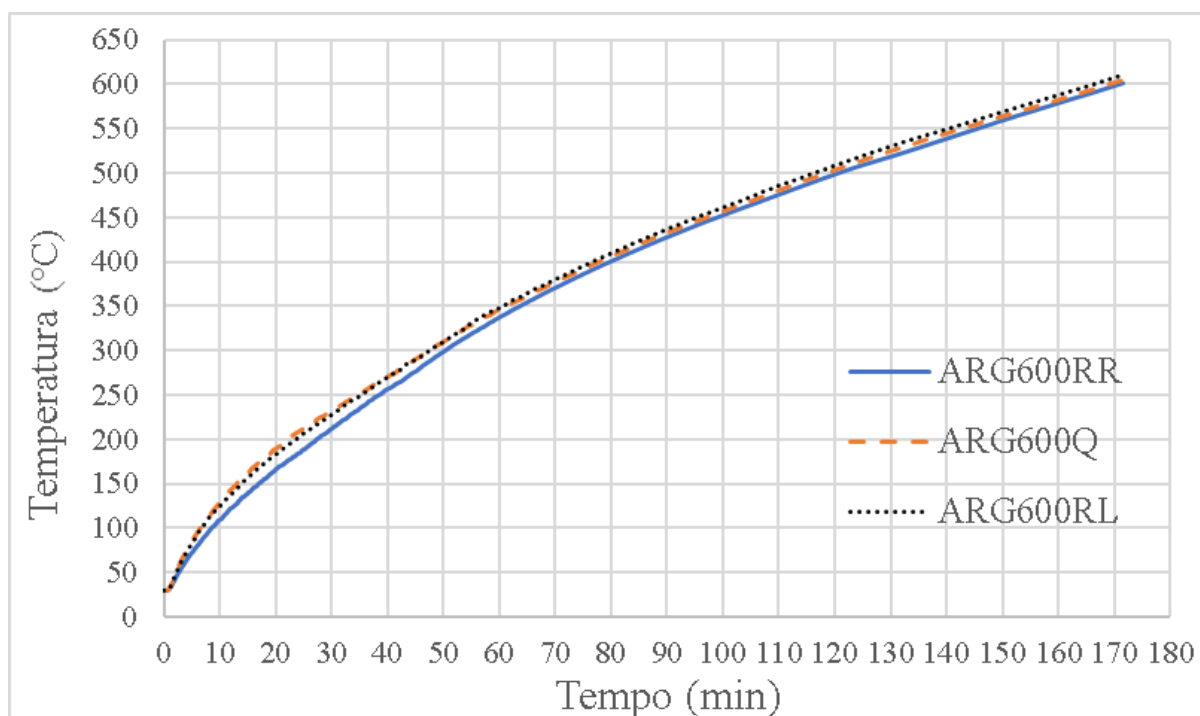
Tais resultados assim como a exemplificação das curvas de aquecimento no tempo podem ser melhor observados e descritos nos Quadro 20 e Gráfico 18.

Quadro 20 - Resultados das Taxas Lineares Aproximadas Médias de Aquecimento dos Exemplares de Argamassa por Temperatura de Ensaio

Taxa Média de Aquecimento dos Corpos de Prova de Argamassa para Cada Temperatura	
Temperatura (°C)	Taxa de Aquecimento (°C/min)
200	7,8
400	4,9
600	3,1
800	2,9

Fonte: O Autor

Gráfico 18 – Curvas de Aquecimento de Temperatura no Tempo para as Argamassas



Fonte: O Autor

Como foi indicado, os resultados observados nas tabelas são taxas lineares médias aproximadas a partir das curvas reais de aquecimento para cada ensaio térmico. Após passarem pelo ensaio térmico, diferente do que foi observado para os blocos e prismas, os exemplares de argamassa não sofreram mudança de coloração significativa, apenas apresentando-se mais claros um

pouco devido a perda d'água. Porém também foi possível identificar que eles se tornavam cada vez mais “quebradiços” e frágeis, tendo em vista principalmente o processo de desidratação dos silicatos de cálcio hidratados e hidróxidos de cálcio. Na Foto 42 é possível observar exemplares após o ensaio térmico até 600 °C que foram resfriados bruscamente (posicionados na coluna esquerda) e que foram resfriados lentamente (posicionados na coluna direita).

Foto 42 – Exemplares de Argamassa Ensaiaados Termicamente até 600 °C, Resfriados Bruscamente e Resfriados Lentamente

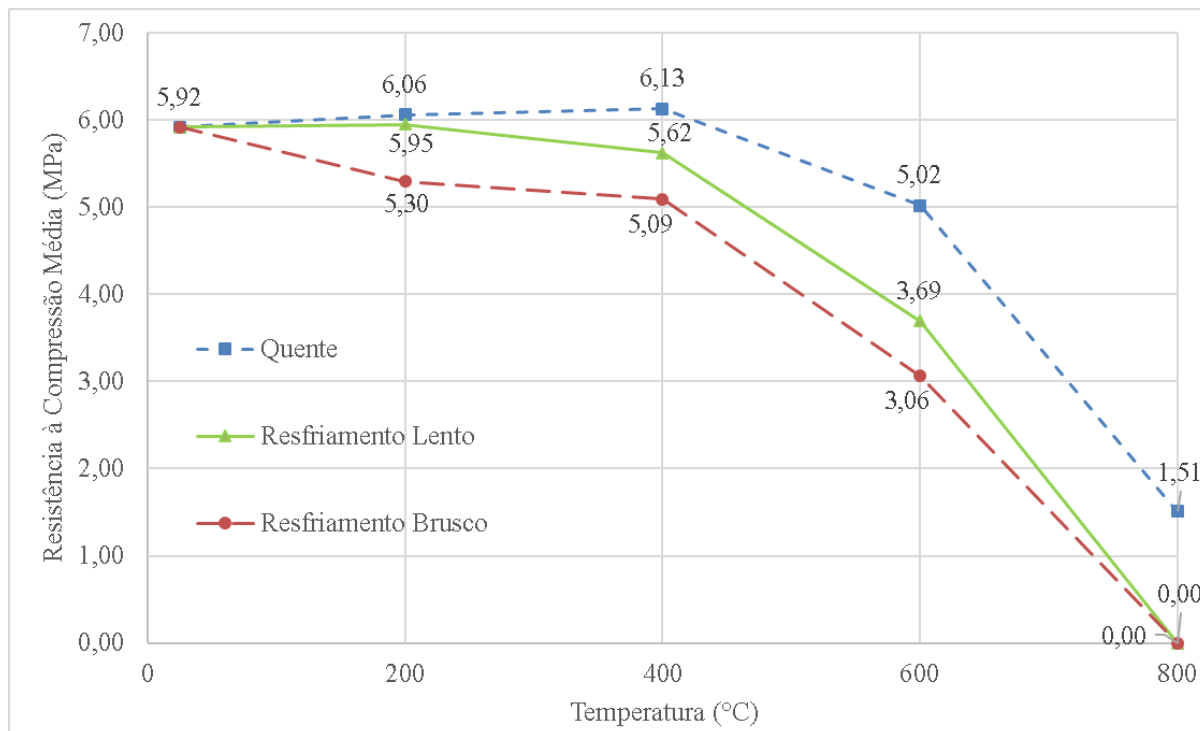


Fonte: O Autor

Com a realização dos ensaios mecânicos, foi possível constatar que a resistência da argamassa começa a ser mais significativamente afetada também após os 400 °C, apresentando quedas percentuais elevadas para as temperaturas de 600 e 800 °C. Apesar de terem sido utilizadas as máximas taxas de aquecimento suportadas pelo forno, em nenhum dos ensaios térmicos foi possível indentificar a ocorrência de “spalling” dos corpos de prova. Isso pode ser explicado devido ao alto grau de porosidade que a argamassa possuía, o que permitiu facilmente o permeamento da água de desidratação sem a ocorrência de acréscimos significativos de pressão interna que pudesse acarretar tal fenômeno.

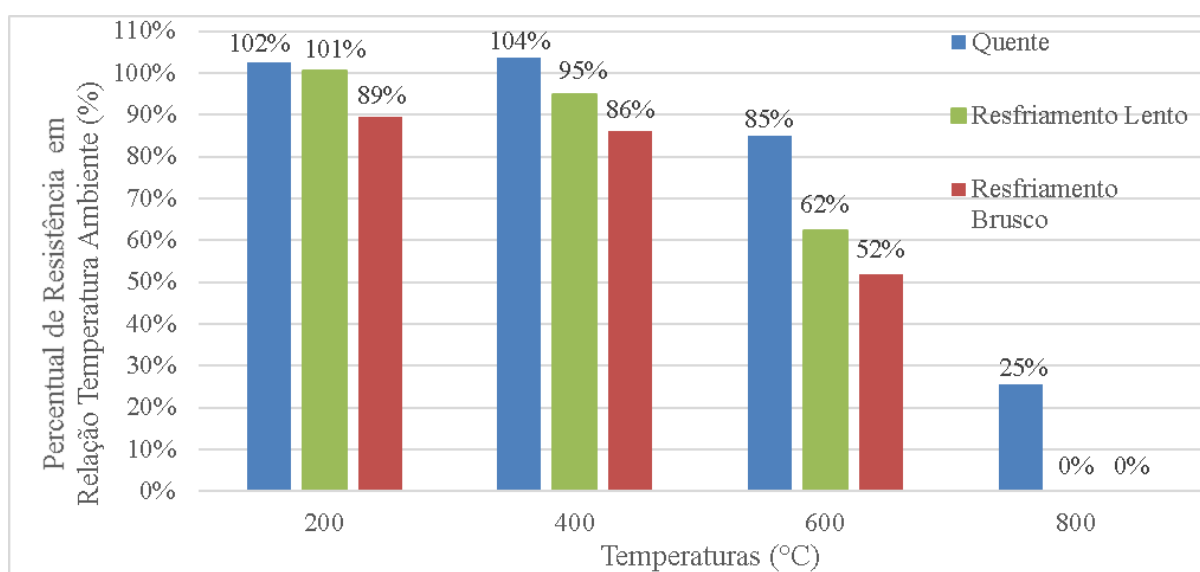
Para melhor entendimento do comportamento, foram elaborados gráficos a partir das resistências médias à compressão calculadas para cada amostragem ensaiada termicamente em uma determinada temperatura e condição de ensaio. Os Gráfico 19 e Gráfico 20 representam as resistências à compressão médias calculadas, assim como seus respectivos valores percentuais tomando como referência os resultados encontrados para amostragem em condições ambiente e não saturada.

Gráfico 19 - Resistência Média à Compressão dos Exemplos de Argamassa Submetidos a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Gráfico 20 - Percentuais da Resistência Média à Compressão das Argamassas Submetidas a Elevadas Temperaturas



Fonte: O Autor

Através dos resultados, da análise gráfica e por observações dos ensaios mecânico dos exemplares saturados, foi possível inferir que o teor de umidade e a saturação da argamassa tem grande influência na diminuição substancial da resistência à compressão, sendo possível destacar que além das perdas de resistências proveniente do aquecimento, as amostragens ensaiadas após resfriamento brusco por submersão em água, ainda possuíam uma perda de resistência associada ao alto teor de umidade que os exemplares apresentavam.

Para as amostragens submetidas a temperatura de ensaio de 800 °C e ensaiadas mecanicamente ainda em estado quente, foi possível identificar que estes ainda apresentavam uma resistência residual quando comparadas àquelas que foram resfriadas lentamente ou bruscamente, que apresentarem resistência nula. Os exemplares ensaiados a esta temperatura, após passarem por um resfriamento lento apresentaram-se bastante fissurados e quebradiços, se desagregavam ainda no transporte e não suportavam nem mesmo a chapa de aço responsável pela distribuição do carregamento, tais características podem ser melhor observadas na Foto 43. Aos exemplares submetidos a essa temperatura e que passaram pelo resfriamento brusco, assim que eles eram colocados submersos em recipiente com água, ocorria um processo de intensa calefação, que os fazia desagregarem e desintegrarem instantaneamente, antes mesmo de serem encaminhados ao ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão. Essas ocorrências podem ser observadas na Foto 44.

Foto 43 – Exemplar de Argamassa Desagregado Após Ensaio Térmico à 800 °C e Resfriamento Lento



Fonte: O Autor

Foto 44 - Exemplar de Argamassa Desagregado Após Ensaio Térmico à 800 °C e Resfriamento Brusco por Submersão em Água



Fonte: O Autor

5.2.4 Alvenarias

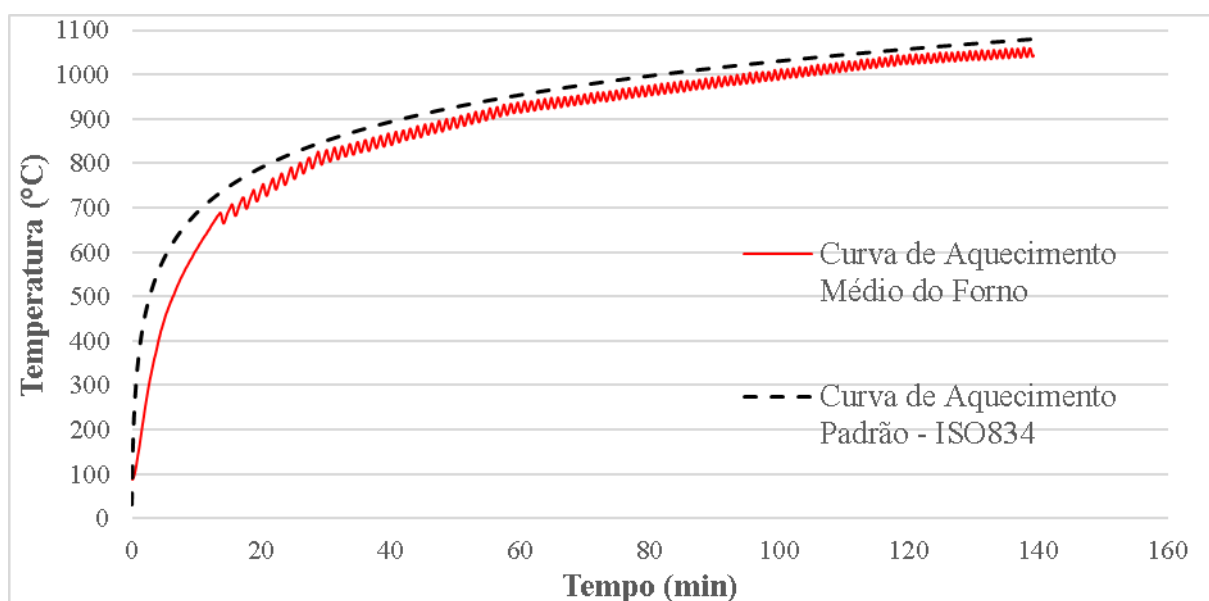
5.2.4.1 Parede de Alvenaria 1 – Não Revestida

Para a realização do ensaio térmico das paredes de alvenaria compostas pelos blocos de concreto simples e assentadas pela argamassa cimentícia industrializada, o primeiro ensaio teve como objetivo principal a adequação da curva de aquecimento no tempo do forno de acordo com a curva de um incêndio padrão de aquecimento no tempo para materiais celulósicos proposta pelas ISO 834-1 e ABNT NBR 10636:1989, visando a máxima aproximação entre estas e a diminuição do erro para dentro da faixa admissível por tais normas.

No ensaio da parede 1 (não revestida em nenhuma das faces) a curva de aquecimento real do forno obteve um maior erro, apresentando-se abaixo da curva de um incêndio padrão para materiais celulósicos proposta pelas normas. Como consequência, esse maior erro, fez com que a parede resistisse por um maior tempo sem falhar pelo critério de isolamento térmico, falhando

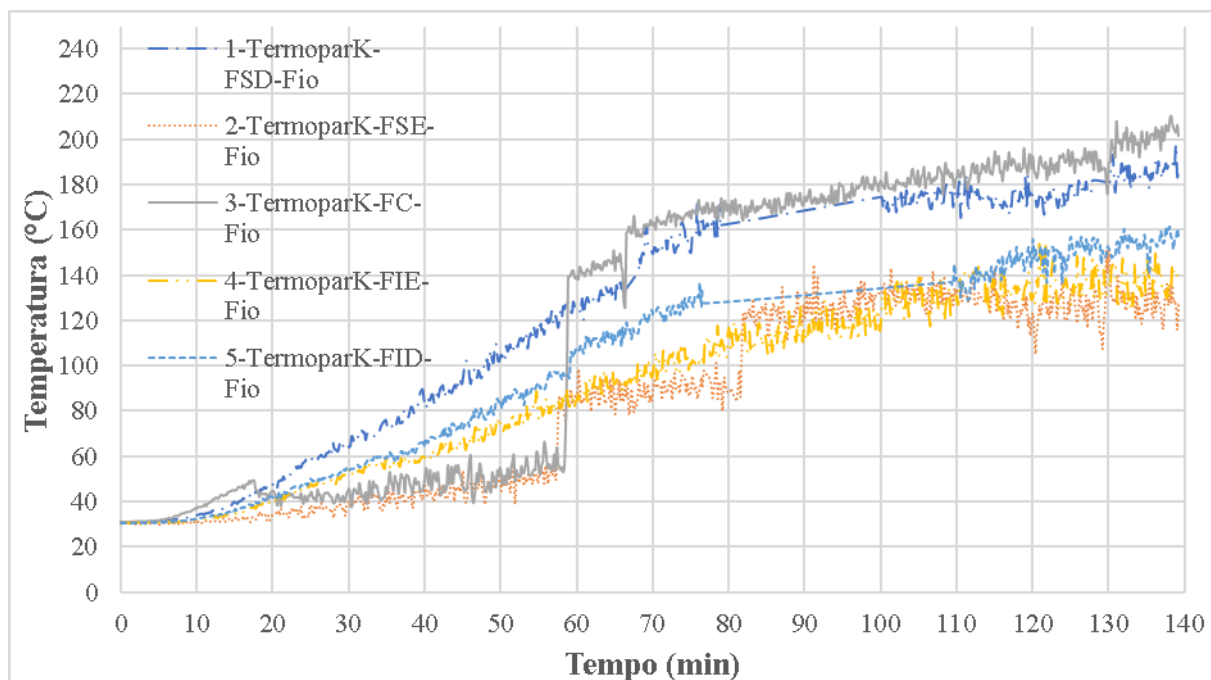
apenas 130 minutos após o início do ensaio devido ao aumento da temperatura no termopar central em 180 °C (de 28 °C para 208 °C). Apesar do aparecimento de fissuras mais concentradas nas bordas restringidas da face aquecida (com dimensões que chegaram a 4,15 mm), da ocorrência de fissuras mais generalizadas, porém que se iniciavam nos bordos restringidos da face não aquecida (com dimensões que chegaram a 2,35 mm), e do tempo de ensaio transcorrido, esse corpo de prova não apresentou falha por estanqueidade. Com relação ao ensaio de choque mecânico, a parede apresentou falha na estabilidade estrutural, uma vez que após os 3 choques de corpo maciço realizados na mesma horizontal (75 cm de altura) na região de influência do aquecimento da face não exposta, ocorreu a ruptura da face exposta ao aquecimento com abertura de uma cratera com dimensões aproximadas de 21 x 28 cm. Esses resultados podem ser melhor observados Gráfico 21, Gráfico 22 e Foto 45.

Gráfico 21 – Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 1



Fonte: O Autor

Gráfico 22 – Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 1



Fonte: O Autor

Foto 45 – Face Exposta ao Aquecimento da Parede 1 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



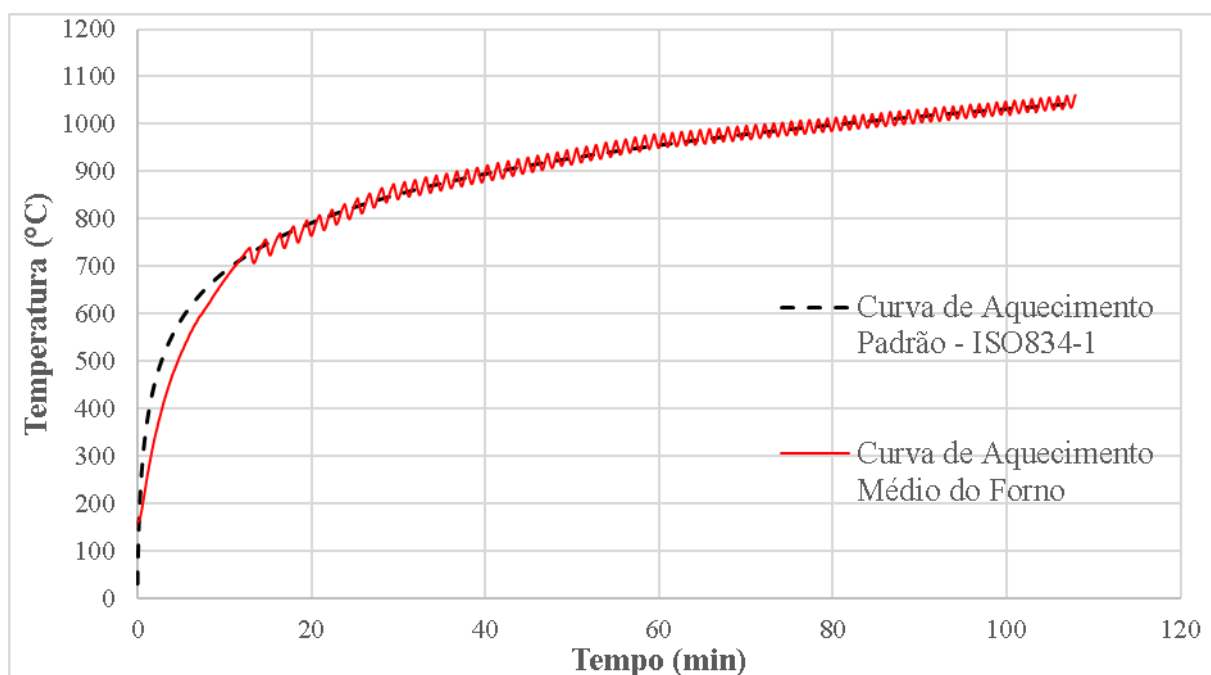
Fonte: O Autor

Durante o ensaio térmico desta parede foi possível observar também a ocorrência de um desaprumo pelo aparecimento de uma concavidade (flecha) na região aquecida, com abertura para a face externa não exposta, chegando a medir 1,7 cm no centro aquecido do vão. Além da modificação na coloração do bloco e da argamassa de assentamento, que pode ser atribuída aos processos de desidratação para as diferentes formas de água constituinte, característica dos materiais cimentícios. Também foi identificado a ocorrência de grande quantidade de vapor d'água sendo liberada pela região superior da parede após os primeiros 21 minutos de ensaio térmico.

5.2.4.2 Parede de Alvenaria 2 – Não Revestida

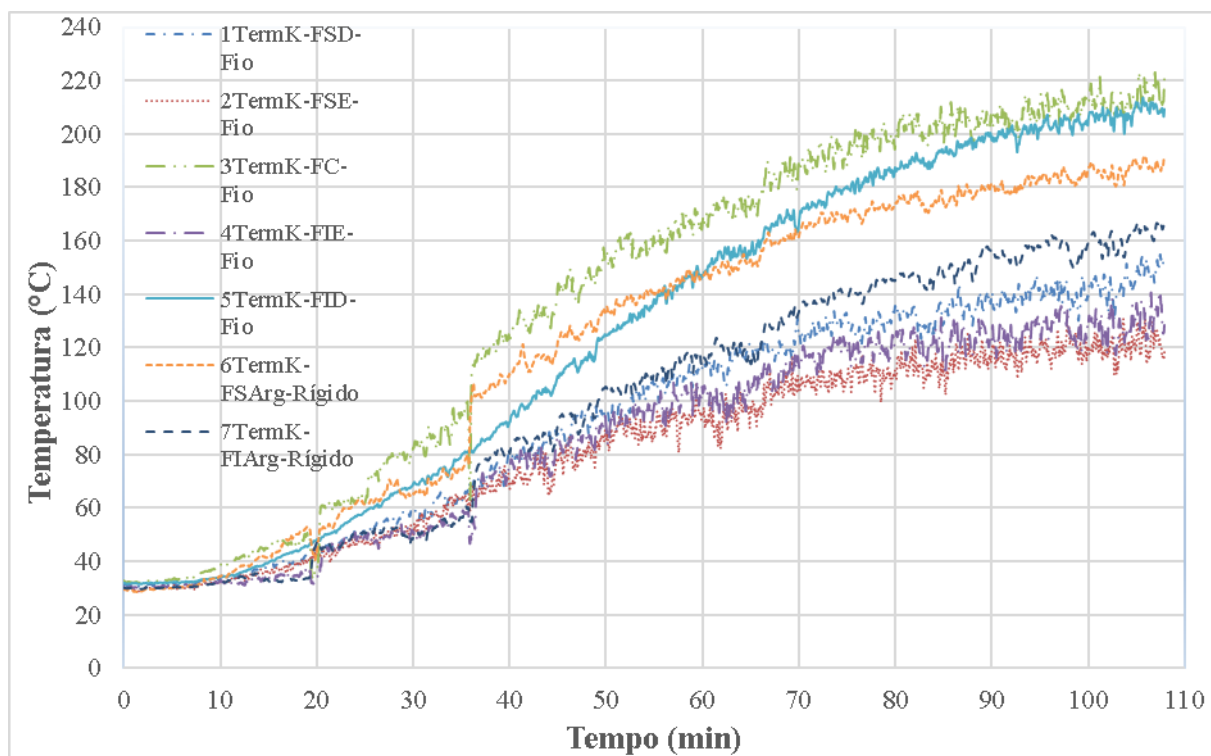
No ensaio da parede 2 (não revestida em nenhuma das faces) a curva de aquecimento real do forno obteve uma maior aproximação da curva normatizada para um incêndio padrão para materiais celulósicos, apresentando erros mais baixos e dentro das faixas admissíveis propostas pelas normas. Como consequência, a partir do ensaio da parede 2, obtiveram-se ensaios mais condizentes com as condições de norma e consequentemente resultados de maior confiabilidade. Nessas condições a parede 2, também sem revestimento em nenhuma das faces, apresentou falha 80 minutos após o início do ensaio devido ao aumento na média da temperatura dos termopares, posicionados na região aquecida da face não exposta, em 140 °C (de uma média de 30 °C para uma média de 170 °C). Apesar do aparecimento de fissuras mais concentradas nas bordas restringidas da face aquecida (com dimensões que chegaram a 1,42 mm), da ocorrência de fissuras mais generalizadas, porém que se iniciavam nos bordos restringidos da face não aquecida (com dimensões que chegaram a 1,65 mm), e do tempo de ensaio transcorrido, esse corpo de prova não apresentou falha por estanqueidade. Com relação ao ensaio de choque mecânico, a parede também apresentou falha na estabilidade estrutural, uma vez que após os 3 choques de corpo maciço realizados na mesma horizontal (75 cm de altura) na região de influência do aquecimento da face não exposta, ocorreu a ruptura da face exposta ao aquecimento com abertura de uma cratera com dimensões aproximadas de 36 x 34 cm. Esses resultados podem ser melhor observados nos Gráfico 23, Gráfico 24, Foto 46 e Foto 47.

Gráfico 23 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 2



Fonte: O Autor

Gráfico 24 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 2



Fonte: O Autor

Foto 46 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 2 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Foto 47 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 2 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico

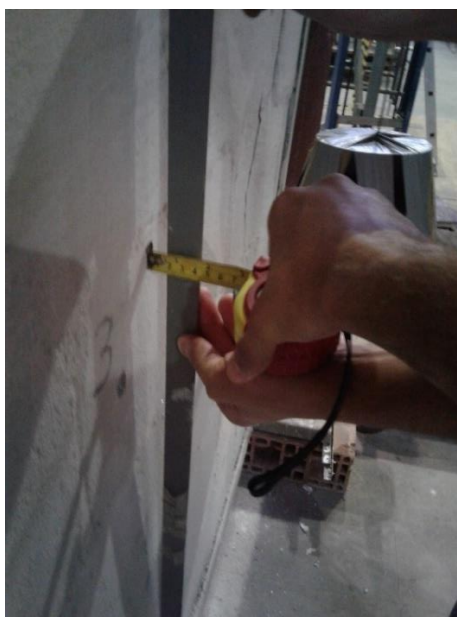


Fonte: O Autor

Com os ajustes feitos na programação do forno após o ensaio da parede 1, considerando os novos resultados obtidos para as temperaturas médias desenvolvidas internamente ao forno, foi possível constatar que para os primeiros 10 minutos de ensaio as diferenças entre as áreas da curva de aquecimento padrão e da curva de aquecimento real do forno foi de -18,1%, superior aos $\pm 15\%$ indicado pela ABNT NBR 10636:1989; já para os primeiros 30 minutos de ensaio esta diferença caiu para -8,4%, inferior aos $\pm 10\%$ constantes em tal norma. Após os 30 minutos iniciais de ensaio esta diferença cai ainda mais para 0,5 %, muito inferior aos $\pm 5\%$ estabelecidos por norma. Com essas observações foi possível concluir que a curva de temperatura no tempo desenvolvida pelo forno apresentou-se satisfatória com o que é estabelecido pelas normatizações após os primeiros 10 minutos de ensaio.

Durante o ensaio térmico desta parede foi possível observar também a ocorrência de um desaprumo pelo aparecimento de uma concavidade (flecha) na região aquecida, com abertura para a face externa não exposta, chegando a medir 2,2 cm no centro aquecido do vão, ilustrado na Foto 48. Além da modificação na coloração do bloco e da argamassa de assentamento, que pode ser atribuída aos processos de desidratação para as diferentes formas de água constituinte, característica dos materiais cimentícios. Também foi identificado a ocorrência de grande quantidade de vapor d'água sendo liberada pela região superior da parede após os primeiros 19 minutos de ensaio térmico.

Foto 48 – Flecha na Região de Influência do Aquecimento da Face Não Exposta da Parede 2



Fonte: O Autor

5.2.4.3 Parede de Alvenaria 3 – Revestida na Face Exposta ao Aquecimento

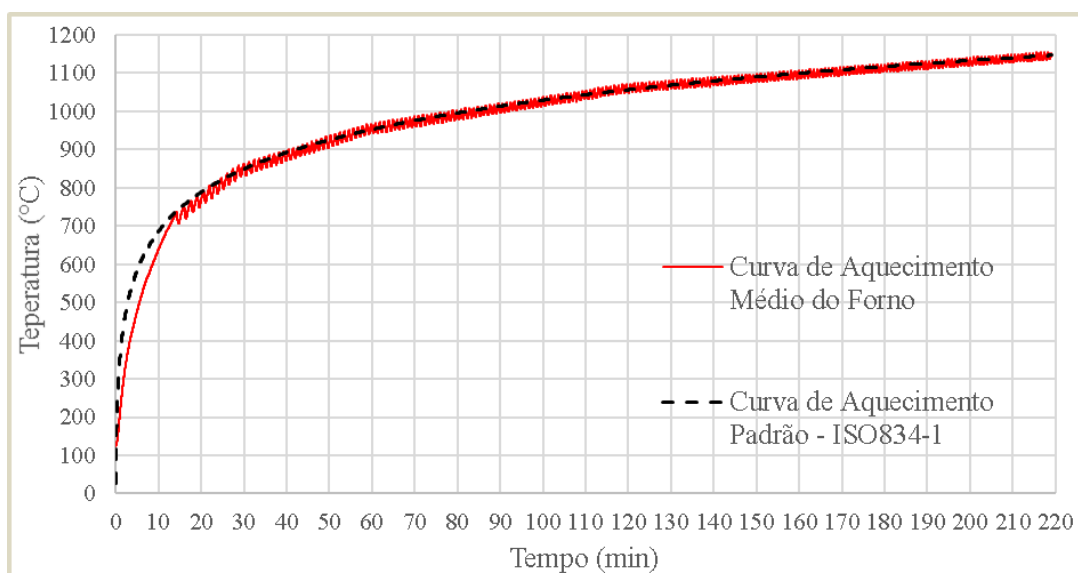
No ensaio da parede 3 (revestida apenas na face exposta ao aquecimento por 2 cm de argamassa cimentícia) a curva de aquecimento real do forno também obteve uma maior aproximação da curva normatizada para um incêndio padrão para materiais celulósicos, apresentando erros mais baixos e dentro das faixas admissíveis propostas pelas normas, permitindo maior confiabilidade dos resultados. É importante destacar que considerando a disposição dos blocos constituintes da parede, cinco dos termopares posicionados na face externa coincidiram com as faces dos blocos cuja região transversal era composta pelo septo do bloco, não possuindo vazios. Apesar da forma equivalente com que as paredes 3 e 4 foram construídas, foi possível verificar que a diferença de posicionamento dos termopares na região dos blocos, geraram uma diferenciação de resultados.

Em concordância, também foi observado para o trabalho de Nikolaev (1997), que para a mesma curva gradiente de temperatura se tinha profundidades diferentes para as regiões vazadas e preenchidas (septos) dos blocos, sendo estas menos profundas que as primeiras, e assim com maior capacidade isolante. Isso pode estar diretamente associado à ocorrência das fissuras generalizadas da face aquecida, que permitem que os gases quentes permeiem através destas e aumentem as temperaturas no interior vazado dos blocos, gerando uma maior taxa de aquecimento através destas regiões. Tal fator pode ser utilizado como acréscimo ao que se conclui nas classificações das normas, uma vez que não é previsto por estas.

Nessas condições a parede 3, apresentou falha 207 minutos após o início do ensaio devido ao aumento na média da temperatura dos termopares, posicionados na região aquecida da face não exposta, em 140 °C (de uma média de 25 °C para uma média de 165 °C). Apesar do aparecimento de fissuras mais generalizadas nas bordas restringidas da face aquecida (com dimensões que chegaram a 2,60 mm); da ocorrência de fissuras mais concentradas, porém que se iniciavam nos bordos restringidos da face não aquecida (com dimensões que chegaram a 6,05 mm), e do tempo de ensaio transcorrido, esse corpo de prova não apresentou falha por estanqueidade. Com relação ao ensaio de choque mecânico, a parede também apresentou falha na estabilidade estrutural, porém desta vez após os 3 choques de corpo maciço realizados na mesma horizontal (75 cm de altura) na região de influência do aquecimento da face não exposta, ocorreu a ruptura da face não exposta com abertura de uma cratera na região de influência do

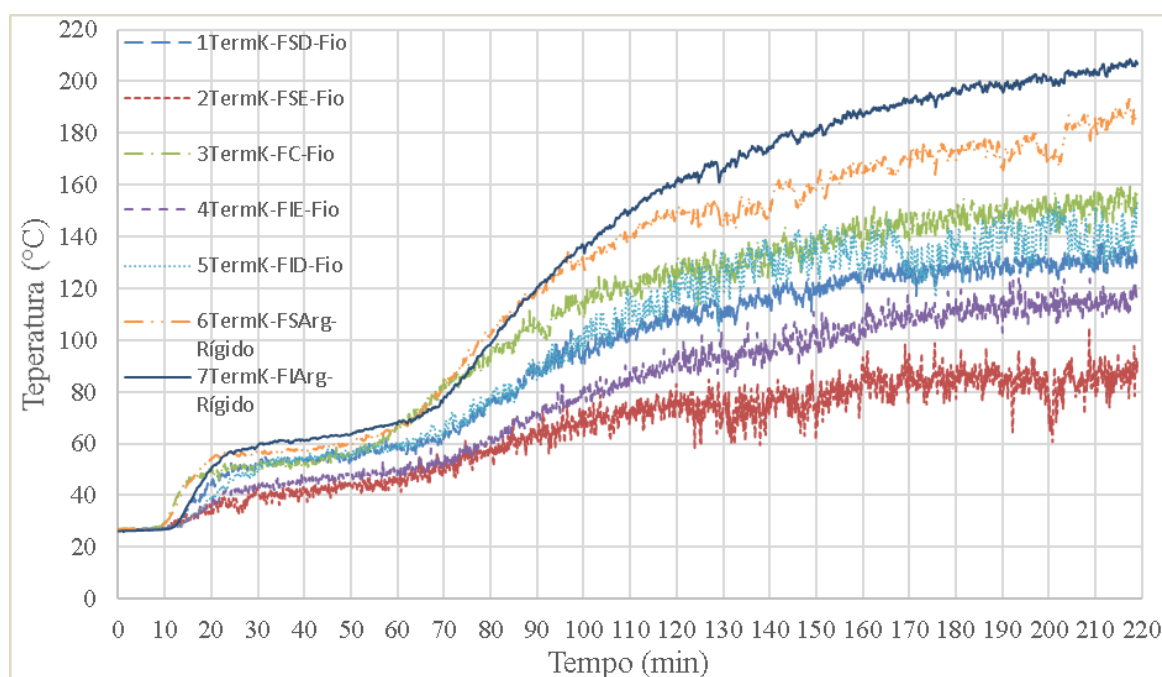
aquecimento com dimensões aproximadas de 4 x 4 cm. Esses resultados podem ser melhor observados nos Gráfico 25, Gráfico 26, Foto 49 e Foto 50.

Gráfico 25 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 3



Fonte: O Autor

Gráfico 26 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 3



Fonte: O Autor

Foto 49 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 3 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Foto 50 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 3 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Diferentemente do ocorrido com as paredes 1 e 2 (não revestidas), durante o ensaio térmico desta parede não foi possível observar a ocorrência de um desaprumo pelo aparecimento de uma concavidade (flecha) na região aquecida, porém ainda durante o ensaio térmico foi constatado a queda total dos 2 cm de revestimento de argamassa cimentícia da região aquecida na face exposta, deixando os blocos totalmente aparentes. Além da modificação na coloração do bloco e da argamassa de assentamento, que pode ser atribuída aos processos de desidratação para as diferentes formas de água constituinte, característica dos materiais cimentícios. Também foi identificado a ocorrência de grande quantidade de vapor d'água sendo liberada sob pressão pela região superior da parede, maior inclusive que as ocorridas nas paredes 1 e 2, após os primeiros 12 minutos de ensaio térmico.

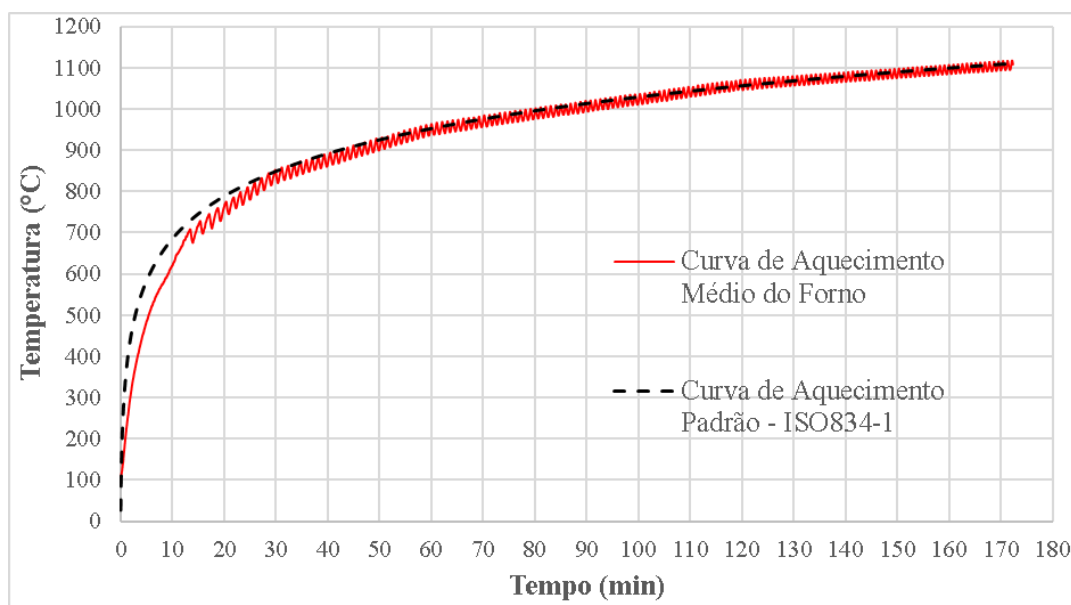
5.2.4.4 Parede de Alvenaria 4 – Revestida na Face Exposta ao Aquecimento

No ensaio da parede 4 (revestida apenas na face exposta ao aquecimento por 2 cm de argamassa cimentícia) a curva de aquecimento real do forno também obteve uma maior aproximação da curva normatizada para um incêndio padrão para materiais celulósicos, apresentando erros mais baixos e dentro das faixas admissíveis propostas pelas normas, permitindo maior confiabilidade dos resultados. Como citado anteriormente, é importante destacar que considerando a disposição dos blocos constituintes da parede, cinco dos termopares posicionados na face externa coincidiram com as faces dos blocos cuja região transversal era composta pela região vazada do bloco.

Nessas condições a parede 4, apresentou falha 149 minutos após o início do ensaio devido ao aumento na média da temperatura dos termopares, posicionados na região aquecida da face não exposta, em 140 °C (de uma média de 27 °C para uma média de 167 °C). Apesar do aparecimento de fissuras mais generalizadas nas bordas restringidas da face aquecida (com dimensões que chegaram a 2,30 mm); da ocorrência de fissuras mais concentradas, porém que se iniciavam nos bordos restringidos da face não aquecida (com dimensões que chegaram a 4,61 mm), e do tempo de ensaio transcorrido, esse corpo de prova não apresentou falha por estanqueidade. Com relação ao ensaio de choque mecânico, a parede também apresentou falha na estabilidade estrutural, porém desta vez após os 3 choques de corpo maciço realizados na mesma horizontal (75 cm de altura) na região de influência do aquecimento da face não exposta, também ocorreu a ruptura da face não exposta com abertura de uma cratera na região de

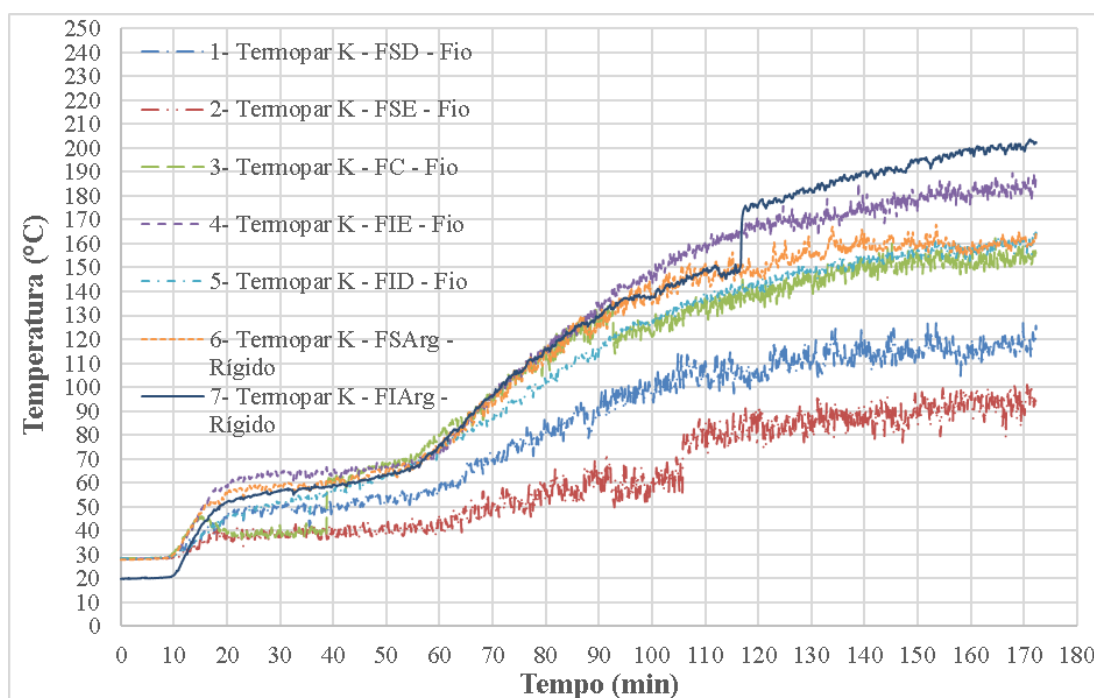
influência do aquecimento com dimensões aproximadas de 10 x 10 cm. Esses resultados podem ser melhor observados nos Gráfico 27, Gráfico 28, Foto 51 e Foto 52.

Gráfico 27 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 4



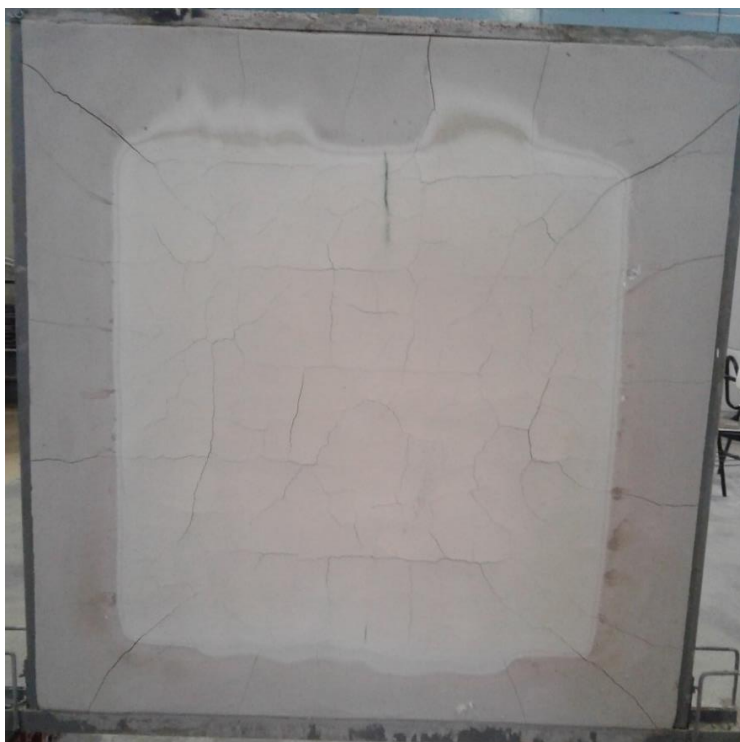
Fonte: O Autor

Gráfico 28 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 4



Fonte: O Autor

Foto 51 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 4 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Foto 52 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 4 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Durante o ensaio térmico desta parede também não foi possível observar a ocorrência de um desaprumo pelo aparecimento de uma concavidade (flecha) na região aquecida. Diferentemente do ocorrido com a parede 3, não foi constatado a queda total dos 2 cm de revestimento de argamassa cimentícia, nem durante o ensaio térmico, nem após o ensaio de choque mecânico, porém a argamassa exposta apresentava fissuras generalizadas em forma de gretamento. Além da modificação na coloração argamassa de revestimento exposta, que pode ser atribuída aos processos de desidratação para as diferentes formas de água constituinte, característica dos materiais cimentícios. Novamente foi identificado a ocorrência de grande quantidade de vapor d'água sendo liberada sob pressão pela região superior da parede, maior inclusive que as ocorridas nas paredes 1 e 2, após os primeiros 10 minutos de ensaio térmico, como indicado na Foto 53.

Foto 53 – Liberação de Vapor D'água Sob Pressão da Região Superior da Parede 4



Fonte: O Autor

5.2.4.5 Parede de Alvenaria 5 – Revestida nas Duas Faces

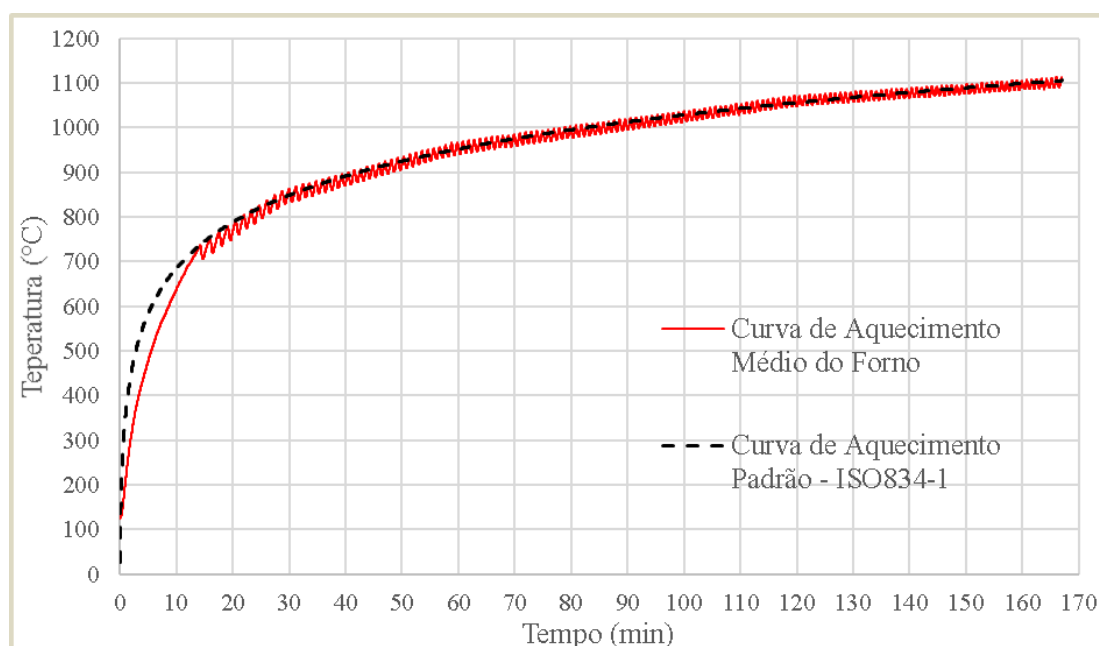
No ensaio da parede 5 (revestida em ambas as faces por 2 cm de argamassa cimentícia) a curva de aquecimento real do forno também obteve uma maior aproximação da curva normatizada para um incêndio padrão para materiais celulósicos, apresentando erros mais baixos e dentro das faixas admissíveis propostas pelas normas, permitindo maior confiabilidade dos resultados. É importante destacar que os sete termopares posicionados na face externa se mantiveram

posicionados nas mesmas localidades que as outras paredes ensaiadas anteriormente, porém agora todos em contato com a argamassa de revestimento desta face.

Nessas condições a parede 5, devido a uma espessura total da parede de 13 cm (2 cm de argamassa de revestimento em cada face e mais 9 cm da largura do bloco), foi possível identificar que ela se portou de maneira superior às paredes anteriores apresentando a mais baixa dentre as taxas de aquecimento da face não exposta, não chegando a falhar por isolamento térmico durante o período do ensaio. Tal comportamento pode ser ratificado quando se compara as temperaturas médias da face não exposta no momento em que a parede 2 falha por isolamento térmico (após os 80 minutos de ensaio térmico), em que enquanto as paredes 2, 3 e 4 apresentavam nesse tempo respectivamente as temperaturas 170 °C, 92 °C e 111 °C, a parede 5 apresentava apenas 63 °C, mostrando-se assim com uma maior capacidade de isolamento térmico. Deve-se destacar que devido a problemas técnicos, o período de ensaio térmico foi limitado a um tempo de 166 minutos, tempo em que o forno elétrico conseguiu desenvolver uma curva de aquecimento compatível com o que é estabelecido pelas normatizações.

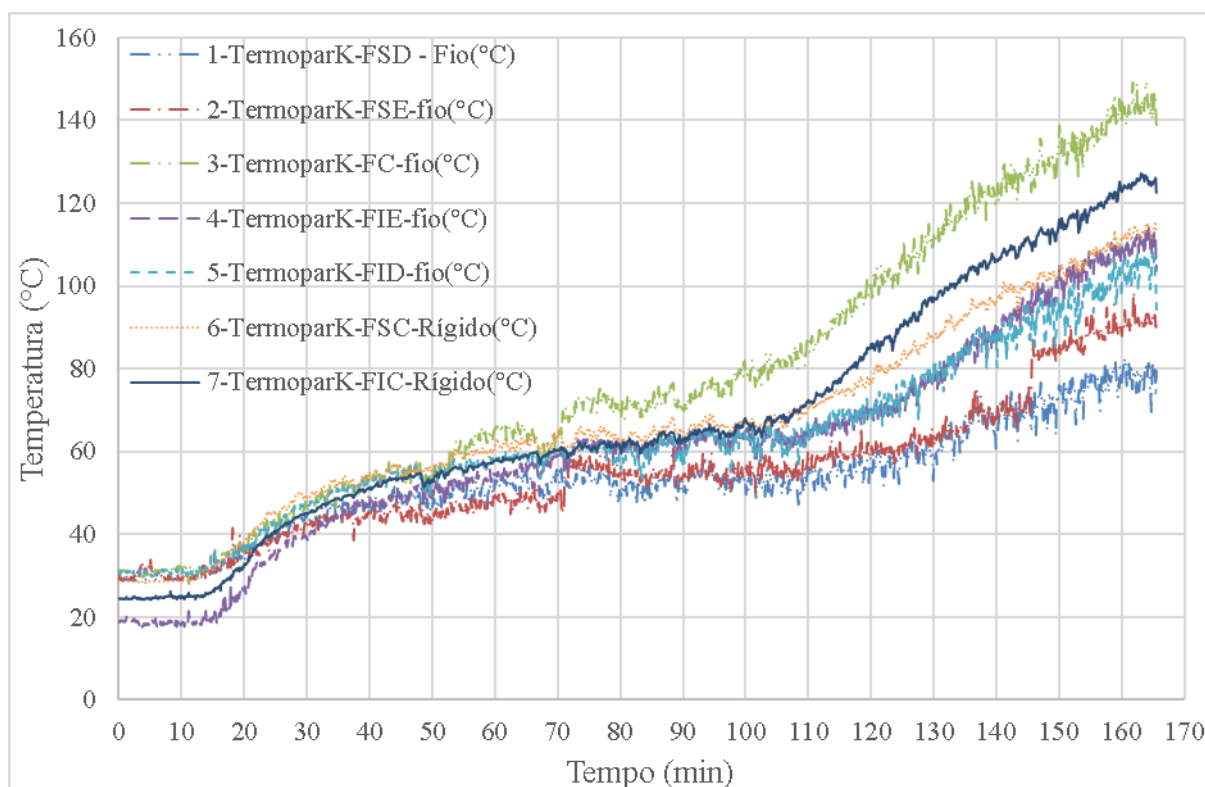
Apesar do aparecimento de fissuras mais generalizadas nas bordas restringidas e na região aquecida da face exposta (com dimensões que chegaram a 2,90 mm); da ocorrência de fissuras mais concentradas, porém que se iniciavam nos bordos restringidos da face não exposta (com dimensões que chegaram a 2,19 mm), e do tempo de ensaio transcorrido, esse corpo de prova não apresentou falha por estanqueidade. Com relação ao ensaio de choque mecânico, a parede também se portou de maneira superior, por não apresentar falha na estabilidade estrutural após os 3 choques de corpo maciço realizados na mesma horizontal (75 cm de altura) na região de influência do aquecimento da face não exposta. Esses resultados podem ser melhor observados nos Gráfico 29, Gráfico 30, Foto 54 e Foto 55.

Gráfico 29 - Resultado da Curva Média de Aquecimento do Forno para a Parede 5



Fonte: O Autor

Gráfico 30 - Resultado das Curvas de Aquecimento dos Termopares Dispostos na Face Não Exposta ao Aquecimento para a Parede 5



Fonte: O Autor

Foto 54 - Face Exposta ao Aquecimento da Parede 5 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



Fonte: O Autor

Foto 55 - Face Não Exposta ao Aquecimento da Parede 5 Após Ensaio Térmico e de Choque Mecânico



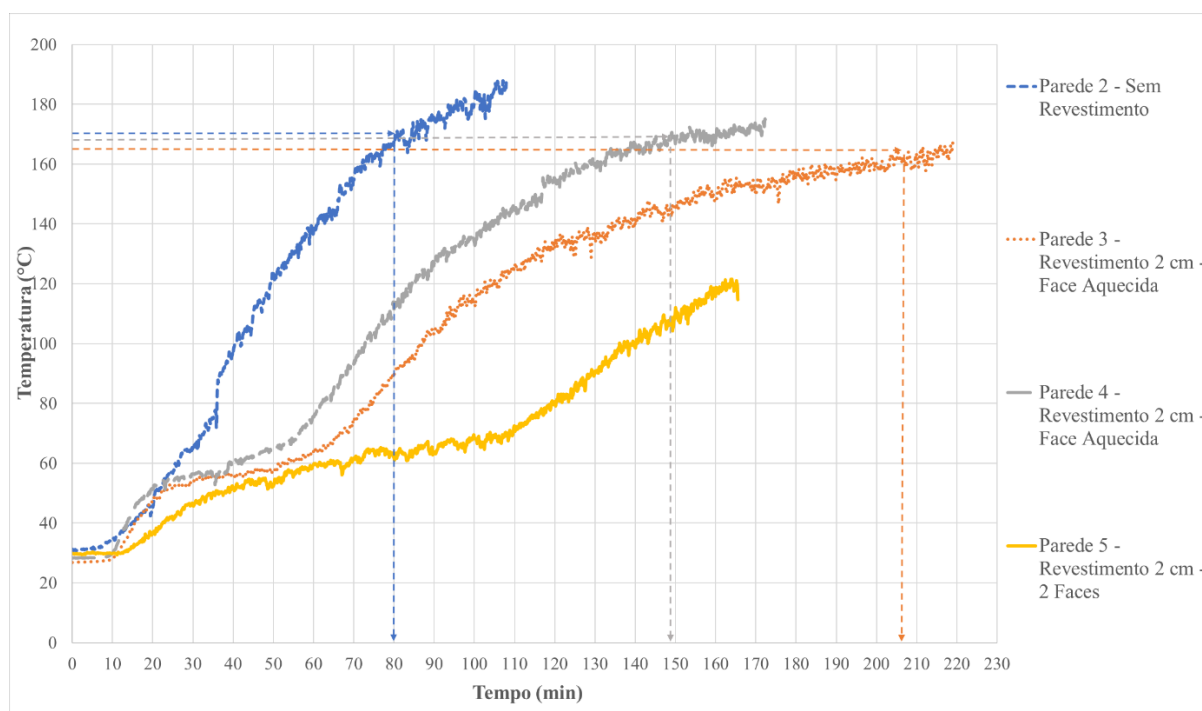
Fonte: O Autor

Durante o ensaio térmico desta parede também não foi possível observar a ocorrência de um desaprumo pelo aparecimento de uma concavidade (flecha) na região aquecida. Como o ocorrido para a parede 4, não foi constatado a queda total dos 2 cm de revestimento de argamassa cimentícia, nem durante o ensaio térmico, nem após o ensaio de choque mecânico, porém a argamassa exposta apresentava fissuras generalizadas em forma de “gretamento”. Além da modificação na coloração argamassa de revestimento exposta, que pode ser atribuída aos processos de desidratação para as diferentes formas de água constituinte, característica dos materiais cimentícios. Novamente foi identificado a ocorrência de grande quantidade de vapor d’água sendo liberada sob pressão pela região superior da parede, maior e mais duradoura que as ocorridas nas paredes anteriores, iniciando-se após os primeiros 10 minutos de ensaio térmico e só cessando após uma hora e quatro minutos.

5.2.4.6 Comparação dos Resultados

Com o objetivo de melhor demonstrar o comparativo entre os resultados o Gráfico 31 traz as curvas de temperaturas médias dos termopares distribuídos nas faces não expostas e as respectivas temperaturas e tempos em que ocorreu falha no isolamento térmico durante o ensaio térmico, para as paredes 2, 3, 4 e 5 (que passaram por um processo de aquecimento mais compatível com o que é estabelecido pelas ABNT NBR 10636:1989 e ISO 834-1).

Gráfico 31 – Curvas de Aquecimento Médio para os Termopares das Faces Não Expostas das Paredes



Fonte: O Autor

Tais resultados também foram dispostos no Quadro 21.

Quadro 21 – Resultados de Isolamento Térmico, Estanqueidade e Estabilidade Estrutural das Paredes

Resultados dos Ensaio	Alvenarias Blocos Concreto Simples (390 x 190 x 90 mm)			
	Sem Revestimento	Revestida Argamassa Cimentícia 2 cm na Face Aquecida		Revestida Argamassa Cimentícia 2 cm nas Duas Faces
	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5
Estanqueidade	Estanque	Estanque	Estanque	Estanque
Isolamento Térmico	Falha após 80 minutos - aumento médio da temperatura na face externa em 140°C	Falha após 207 minutos - aumento médio da temperatura na face externa em 140°C	Falha após 149 minutos - aumento médio da temperatura na face externa em 140°C	Não se observou falha durante os 166 minutos de ensaio
Estabilidade	Não Estável	Não Estável	Não Estável	Estável

Fonte: O Autor

Em termos percentuais foi possível inferir através dos resultados para capacidade de isolamento térmico após 80 minutos de ensaio (tempo em que ocorre a falha da parede 2), que o acréscimo de 2 cm de argamassa cimentícia de revestimento, de uma alvenaria não revestida para uma alvenaria revestida apenas na face exposta, acarretou em um aumento da capacidade isolante de cerca de 34 % (em 80 min de ensaio, enquanto a parede 2 apresentava temperatura média na face não exposta de 170°C, a parede 4 apresentava temperatura média de cerca de 111°C); já quando se compara a alvenaria não revestida com a alvenaria revestida em ambas as faces por 2 cm de argamassa, esse aumento na capacidade isolante passa a ser de 63 % (em 80 min de ensaio, enquanto a parede 2 apresentava temperatura média na face não exposta de 170°C, a parede 5 apresentava temperatura média de cerca de 63°C). Através desses resultados é possível destacar que esse aumento na capacidade isolante térmica se procede de maneira próxima à linearidade com um aumento médio na capacidade isolante de cerca de 31 % a cada 2 cm de argamassa de revestimento que são colocados na alvenaria, sempre com relação aos resultados obtidos para a alvenaria não revestida.

Comparando as curvas de aquecimento das faces não expostas das paredes não revestidas, com a das paredes com apenas a face exposta revestida, e por sua vez com a da parede revestida em ambas as faces, é possível concluir que as paredes não revestidas apresentaram curvas mais contínuas e próximas de uma linearidade. Já as curvas associadas as paredes revestidas eram descontínuas e mais facilmente divisíveis em: dois patamares (em que as temperaturas apresentavam pouca variação crescente) sendo um na fase inicial e outro na fase intermediária; e duas fases ascendentes (com maior variação crescente de temperatura) que se posicionavam uma entre os patamares e outra na fase final do ensaio. Comportamento esse que também foi observado nos ensaios experimentais realizados por Prager (2017) e publicados no 4º CILASCI (2017), em que foram analisadas alvenarias em blocos cerâmicos com espessura de 14 e 19 cm o que permitiu inferir que tais fases crescentes e de “patamar” têm forte dependência da capacidade isolante térmica das alvenarias.

Para as paredes revestidas apenas na face exposta, o primeiro patamar ocorreu em média do início do ensaio até os 10 minutos e o segundo aconteceu em média dos 22 até os 55 minutos, enquanto que as fases de variação ascendente de temperatura ocorreram respectivamente em média entre os 10 e 22 minutos de ensaio e dos 55 minutos em diante. Já para a parede revestida em ambas as faces, o primeiro patamar aconteceu em média do início do ensaio até os 15 minutos e o segundo ocorreu em média dos 40 minutos até os 100 minutos, enquanto que as

fases de variação ascendente de temperatura aconteceram respectivamente em média entre os 15 e 40 minutos de ensaio e dos 100 minutos em diante. Esses comportamentos podem estar diretamente associados a quantidade de material cimentício (entre blocos e argamassas) componente da seção transversal do corpo de prova, em que o primeiro patamar pode ser associado à inércia térmica, à quantidade de calor e condutividade térmica necessária para o desenvolvimento ascendente das temperaturas na face externa, enquanto que o segundo patamar pode ser caracterizado pelo processo mais acelerado e generalizado de vaporização e “permeamento” da água componente de tais materiais cimentícios, confirmado pela intensa liberação de vapor d’água pela região superior das paredes que pôde ser observada durante este período do ensaio térmico, e que acarretou com a estabilização e a manutenção da temperatura durante este processo.

Durante os ensaios térmicos poderam ser observadas algumas variabilidades instantâneas de temperatura (diminuição ou aumento bruscos) aferidas nos termopares posicionados nas faces não expostas, gerando a quebra da continuidade de algumas curvas de aquecimento. O fenômeno do aumento brusco da temperatura em uma curva de aquecimento se devia principalmente à abertura de fissuras nas proximidades do ponto de aferição dos termopares na parede. Já o fenômeno da diminuição brusca da temperatura em uma curva de aquecimento poderia estar associada ao desprendimento dos termopares das faces, gerado por deformações das paredes e aparecimento de flecha na região de influência do aquecimento (no caso das paredes não revestidas).

Com os resultados obtidos, e com base na classificação proposta na ABNT NBR 10636:1989, mesmo que as dimensões das paredes ensaiadas difiram daquelas propostas nesta norma, é possível estimar a resistência às altas temperaturas das alvenarias em concreto simples, sem função estrutural, através de uma análise comparativa com o estabelecido pela ABNT NBR 10636:1989, podendo-se realizar correlações a partir das categorias e graus de resistência ao fogo, assim como fazer algumas inferências com base nos resultados dos ensaios: 1) A parede 2 pelo fato de ter se mantido estanque, por atendido o critério de isolamento térmico por 80 minutos e pela perda da sua estabilidade ao término do ensaio, pode ser comparada com uma alvenaria de classificação PC 60 (Para-chamas por 60 minutos); 2) A parede 3 pelo fato de ter se mantido estanque, por atender o critério de isolamento térmico por 207 minutos e pela perda da sua estabilidade ao término do ensaio, pode ser comparada com uma alvenaria de classificação PC 180 (Para-chamas por 180 minutos); 3) A parede 4 pelo fato de ter se mantido

estanque, por atender o critério de isolamento térmico por 149 minutos e pela perda da sua estabilidade ao término do ensaio, pode ser comparada com uma alvenaria de classificação PC 120 (Para-chamas por 120 minutos); 4) A parede 5 pelo fato de ter se mantido estanque, por atender o critério de isolamento térmico por ao menos 166 minutos (tempo que foi possível transcorrer com o ensaio) e pela manutenção da sua estabilidade ao término do ensaio, pode ser comparada com uma alvenaria de classificação CF 120 (Corta-fogo por 120 minutos). Essas classificações comparativas estão melhores dispostas no Quadro 22.

Quadro 22 – Classificação Comparativa dos Resultados das Paredes com o Estabelecido Pela ABNT NBR 10636:1989

Corpo de Prova	Estanqueidade	Isolamento Térmico	Estabilidade	Classificação Comparativa com ABNT NBR 10636
Parede 2	Estanque	80 minutos	Não Estável	PC 60
Parede 3 e 4	Estanque	207 minutos	Não Estável	PC 120
Parede 5	Estanque	-	Estável	Ao menos CF 120

Fonte: O Autor

Identificou-se que para paredes não revestidas, após ensaio térmico, a região que sofria ruptura após ensaio de choque mecânico era a da face exposta ao aquecimento (mais fragilizada). Já para paredes revestidas apenas na face exposta ao aquecimento, a região que sofria ruptura após o ensaio de choque mecânico era a face não exposta ao aquecimento.

Verificou-se que para paredes não revestidas, após ensaio térmico, as fissuras eram mais generalizadas e de menores dimensões de abertura, já para as paredes revestidas apenas na face exposta ao aquecimento, as fissuras eram mais concentradas, em menor quantidade, porém com maiores dimensões de abertura.

Para as alvenarias sem revestimento ensaiadas termicamente foi possível observar que nestas ocorre o surgimento de uma concavidade na região de influência do forno, com abertura para face não exposta ao aquecimento direto, que acarretava em um desaprumo acentuado da parede após o término deste ensaio (chegando a 2,2 cm no centro aquecido do vão para a parede 2).

5.3 ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

5.3.1 Blocos

Para os blocos o ensaio de módulo de elasticidade em condições ambiente de umidade e temperatura foi realizado após os ensaios de resistência à compressão visando a determinação do carregamento médio de ruptura para esse tipo de amostra. Como foi registrado, para os dez blocos ensaiados à compressão a média correspondente de carregamento para ruptura foi considerada 3,60 MPa. Assim para programação na prensa hidráulica dos ciclos de carregamento utilizou-se para os quatro patamares superiores uma tensão de 30% desta média de ruptura (o que correspondeu a um carregamento de 1,08 MPa ou 37,91 kN considerando a área do bloco – 0,09 x 0,39 m); e para os três patamares inferiores uma tensão de 5% desta média de ruptura (o que correspondeu a um carregamento de 0,18 MPa ou 6,318 kN considerando a área do bloco – 0,09 x 0,39 m). Nessas condições foram ensaiados dois blocos e após correções e análises dos dados, os resultados obtidos estão dispostos no Quadro 23.

Quadro 23 – Resultados dos Ensaio de Módulo de Elasticidade para Blocos

CP	L0 (mm)	σ corrigida 5% (MPa)	ΔL 5% (mm)	ε 5%	σ corrigida 30% (MPa)	ΔL 30% (mm)	ε 30%	E (GPa)	E Médio (GPa)
BANME1	100	0,17	0,048838	0,000488	1,07	0,104410	0,001044	1,62	1,57
BANME2	101	0,17	0,0564131	0,000560	1,07	0,116287	0,001154	1,52	

Fonte: O Autor

5.3.2 Prismas

Para os prismas de dois blocos o ensaio de módulo de elasticidade em condições ambiente de umidade e temperatura também foi realizado após os ensaios de resistência à compressão visando a determinação do carregamento médio de ruptura para esse tipo de amostra. Como foi registrado, para os seis prismas ensaiados à compressão a média correspondente de carregamento para ruptura foi 2,74 MPa, porém para uma segurança dos equipamentos considerou-se uma resistência média à compressão de 2,5 MPa. Assim para programação na

prensa hidráulica dos ciclos de carregamento utilizou-se para os quatro patamares superiores uma tensão de 30% desta média de ruptura (o que correspondeu a um carregamento de 0,75 MPa ou 26,32 kN considerando a área do prisma – 0,09 x 0,39 m); e para os três patamares inferiores uma tensão de 5% desta média de ruptura (o que correspondeu a um carregamento de 0,12 MPa ou 4,39 kN considerando a área do prisma – 0,09 x 0,39 m). Nessas condições foram ensaiados dois prismas e após correções e análises dos dados, os resultados obtidos estão dispostos no Quadro 24.

Quadro 24 – Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade para Prismas

CP	L0 (mm)	σ corrigida 5% (MPa)	ΔL 5% (mm)	ε 5%	σ corrigida 30% (MPa)	ΔL 30% (mm)	ε 30%	E (GPa)	E Médio (GPa)
PANME1	210	0,119874	0,013030	0,000063	0,823415	0,054530	0,000262	3,56	3,97
PANME2	190	0,154436	0,007485	0,000039	0,771325	0,034281	0,000180	4,37	

Fonte: O Autor

Fazendo uma análise comparativa dos resultados dos prismas com relação aos resultados obtidos para os blocos é possível inferir que os valores maiores obtidos para os prismas se devem ao fato da presença da junta de argamassa cimentícia que além de diminuir a região vazada do bloco, possui uma resistência que em temperatura ambiente chega a ser aproximadamente o dobro da do bloco de concreto simples. Isso gera a diminuição das deformações nessas regiões e o consequente aumento do módulo de elasticidade, quando comparado com o do material do bloco, considerando as suas regiões vazadas.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Com relação aos ensaios de resistência para caracterização dos blocos, prismas e argamassas constituídos por concretos e pasta de cimento Portland, é possível destacar que a condição de umidade e saturação afeta significativamente na resistência à compressão destes, apresentando por exemplo para os blocos, uma queda de resistência de 33% quando se compara as médias calculadas e de 24% quando se compara os valores característicos estimados estatisticamente, entre os exemplares ensaiados em condições ambiente e aqueles ensaiados em condições de saturação. Para os exemplares de argamassa após o tratamento estatístico, essa queda corresponde a 25% para o valor médio.

Quando consideramos o ensaio térmico a elevadas temperaturas características de um processo de incêndio, para blocos, prismas e argamassas, em concordância com o que é estabelecido nas literaturas pesquisadas, foi possível identificar que a influência de uma hora de permanência em determinada temperatura, para a resistência à compressão, só começa a afetar significativamente de forma negativa após os 400 °C, com uma queda considerável aos 600 °C e ainda mais acentuada aos 800 °C (quando ensaiado), chegando até mesmo a valores nulos nestas condições.

Durante os ensaios térmicos dos blocos, prismas e argamassas, tendo em vista os requisitos de resistência e porosidade característico desses materiais que compõe elementos de vedação, devido a elevada porosidade, apesar do desenvolvimento das mais altas taxas de aquecimento que se conseguiu atingir com o forno, em nenhum dos casos foi possível identificar a ocorrência de “spalling”, uma vez que o vapor d’água permeava mais facilmente e não gerava pressões de vapor suficientes para a ocorrência de tal fenômeno.

Quanto às metodologias de ensaio (a quente, após resfriamento lento ou após resfriamento brusco) através dos resultados e gráficos construídos foi possível inferir que em termos de resistência à compressão, os corpos de prova (sejam eles blocos, prismas ou de argamassa) ensaiados ainda quentes apresentaram resistência superiores aos ensaiados após um resfriamento lento, que por sua vez foram superiores aos ensaiados após resfriamento brusco. Tal fator pode ser associado diretamente ao teor de umidade que o corpo de prova de material

cimentício apresentava no momento do ensaio mecânico. Com essas observações é possível concluir que em uma condição de incêndio cuja estrutura é composta por blocos de concreto e argamassa cimentícia, a resistência crítica desta não estará no momento em que esta ainda estiver sob uma elevada temperatura, mas sim quando essa estrutura for se resfriando lentamente e ganhando umidade ou quando em momento mais crítico, for resfriada bruscamente por jateamento de água, como em um exemplo de combate a incêndio.

Considerando os corpos de prova de blocos e argamassas ensaiados termicamente, apenas na temperatura de 800 °C foi observado além da mudança intensificada na coloração alaranjada e no aumento da fragilidade, a ocorrência de desagregação e grande fissuração generalizada após os processos de resfriamento, o que acarretou na resistência nula de tais materiais expostos nessas condições de temperatura e arrefecimento.

Considerando os ensaios térmicos dos blocos, prismas e argamassas, deve-se destacar que para a metodologia de ensaio após o resfriamento brusco e acima dos 400 °C, as quedas de resistência percentuais observadas estão associadas diretamente a dois fatores: um ao alto teor de umidade em que os exemplares possuíam; e outro devido à permanência e à temperatura (600 °C ou 800 °C) atingida por estes.

Tomando como referência os resultados obtidos para os ensaios de módulo de elasticidade em blocos e em prismas, foi possível constatar que os valores mais elevados obtidos para os prismas se devem ao fato da presença da junta de argamassa cimentícia que além de diminuir a região vazada do bloco, possui uma resistência que em temperatura ambiente chega a ser aproximadamente o dobro da do bloco de concreto simples. Isso gera a diminuição das deformações nessas regiões e o consequente aumento do módulo de elasticidade, quando comparado com o do material do bloco, considerando as suas regiões vazadas.

Com relação as paredes de alvenaria em blocos de concreto simples, foi possível constatar que quando não existe revestimento algum, durante o ensaio térmico há a ocorrência de um desaprumo com formação de uma concavidade (flecha) de abertura para a face não exposta na região de influência do aquecimento. Tal fenômeno pode estar associado ao processo de permeação da água e dos vapores de água, assim como a ocorrência tensões e sobrecargas associadas à dilatação restringida a que o corpo de prova estava submetido.

Quando comparamos as alvenarias sem revestimento algum com as alvenarias revestidas apenas na face exposta ao aquecimento, é possível inferir que após os ensaios de choque mecânico aquelas sem revestimento apresentavam ruptura na face exposta ao aquecimento visto que esta região estava mais frágil e “quebradiça”, já as revestidas apenas na face exposta apresentavam ruptura na face não exposta uma vez que o revestimento protegia a face exposta, funcionando como uma superfície de “sacrifício”, protegendo os blocos e a argamassa de se tornarem frágeis e “quebradiços”. Dessa forma no primeiro caso a energia do choque mecânico foi dissipada pela ruptura da face exposta ao aquecimento (mais frágil e quebradiça); já no segundo caso a dissipação se deu pela ruptura da face não exposta uma vez que a energia do choque mecânico é mais concentrada nesta e a face exposta ao aquecimento não estava tão frágil como no primeiro caso, devido à proteção do revestimento.

Após a comparação dos ensaios térmicos realizados com as diferentes tipologias de paredes foi possível concluir que para as temperaturas desenvolvidas na face externa, as paredes não revestidas apresentaram curvas de aquecimento mais contínuas e próximas de uma linearidade. Já as curvas associadas as paredes revestidas eram descontínuas e mais facilmente divisíveis em: dois patamares (em que as temperaturas apresentavam pouca variação crescente) sendo um na fase inicial e outro na fase intermediária; e duas fases ascendentes (com maior variação crescente de temperatura) que se posicionavam uma entre os patamares e outra na fase final do ensaio. Esses comportamentos podem estar diretamente associados a quantidade de material cimentício (entre blocos e argamassas) componente da seção transversal do corpo de prova, em que o primeiro patamar pode ser associado à inércia térmica, à quantidade de calor e condutividade térmica necessária para o desenvolvimento ascendente das temperaturas na face externa, enquanto que o segundo patamar pode ser caracterizado pelo processo mais acelerado e generalizado de vaporização e “permeamento” da água componente de tais materiais cimentícios, confirmado pela intensa liberação de vapor d’água pela região superior das paredes que pôde ser observada durante este período do ensaio térmico, e que acarretou com a estabilização e a manutenção da temperatura durante este processo.

Em todos os casos em que a parede ensaiada termicamente possuía revestimento de 2 cm na face aquecida, a argamassa cimentícia perdia parte da sua capacidade aderente e resistência mecânica, apresentando uma desagregação e fissuração generalizada, o que acarretou em desprendimento e queda no caso de um dos exemplares.

Em todos os casos de ensaio térmico das paredes de alvenaria a concentração do aparecimento e a maior amplitude das fissuras se deram nos bordos restringidos dos corpos de prova, não apresentando fissuras significativas na região exposta ao aquecimento para as paredes não revestidas e apresentando fissuras mais generalizadas (em forma de “gretamento”) e em pequenas dimensões na região exposta ao aquecimento para as paredes revestidas por 2 cm de argamassa cimentícia.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista as metodologias utilizadas, os resultados obtidos e as conclusões, deve-se destacar a importância para elaboração de uma normatização nacional que vise estabelecer procedimentos para confecção de ensaios de módulo de elasticidade para prismas de dois blocos e blocos, com o objetivo de padronizar a caracterização e melhor descrever o comportamento mecânico de tais materiais constituintes das paredes de alvenaria.

Com o objetivo de se ter uma melhor padronização dos ensaios e consequentemente dos resultados obtidos, para o ensaio de corpos de prova após um resfriamento brusco por jateamento de água, deve-se procurar quantificar o volume de água utilizado, assim como a respectiva vazão e pressão do jato.

Visando melhor entender o comportamento mecânico (acréscimo de tensões, deformações, fissuração e ruptura) desse tipo de alvenaria de vedação, indica-se que quando possível, o ensaio seja feito com as dimensões normatizadas para o corpo de prova e para o forno, e que os elementos de restrição sejam aproximados do que se tem nos casos reais (como vigas e pilares de concreto armado por exemplo), uma vez que a modificação das condições de contorno podem gerar influência direta em tais comportamentos mecânicos.

Tendo em vista a diminuição significativa das resistências dos materiais cimentícios componentes das paredes de alvenaria, devido ao carregamento térmico e ao aumento da umidade do material (após resfriamento), seria de importância significativa o estudo do comportamento de alvenarias com os mesmos tipos de materiais (blocos de concreto simples e argamassa), porém com especificações técnicas para paredes de alvenaria estrutural, com o objetivo de avaliar seus desempenhos quando submetidas ao mesmo ensaio térmico e

carregadas por uma carga de trabalho, sendo esta situação mais crítica pelo critério estrutural e de segurança da edificação e dos seus ocupantes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. de. Construções em Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos: Um Breve Panorama do Empreendimento: Aspectos do Mercado, Importância do Planejamento e Ações para Prevenir Falhas Frequentes. In: SANCHEZ FILHO, E. S. **Alvenaria Estrutural: Novas Tendências Técnicas e de Mercado**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 2002. p. 83-89.

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

ANDREINI, Marco; FALCO, Anna de; SASSU, Mauro. Stress-strain curves for masonry materials exposed to fire action. **Fire Safety Journal**, Urbana, v. 69, p.43-56, 14 set. 2014.

ARENAS, Celia García et al. High fire resistance in blocks containing coal combustion fly ashes and bottom ash. **Waste Management**. Seville, 27 mar. 2011. p. 1783-1789.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001. 12 p.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. 4 ed. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.

_____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. 2 ed. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

_____. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo. 1 ed. Rio de Janeiro, 1989. 7 p.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. 6 ed. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

_____. **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.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro, 2000. 14 p.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. 57 p.

_____. **NBR 15961-1: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto Parte 1: Projeto.** 1 ed. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

_____. **NBR 15961-2: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras.** 1 ed. Rio de Janeiro, 2011. 35 p.

BORGES, Iago de A.; SILVA, J.J.R.; PIRES, T.A.C. **Alvenaria de Vedação em Blocos Vazados de Concreto Simples Submetidas a Elevadas Temperaturas – Resultados Preliminares.** In_4º CILASCI. Congresso Ibero-Latino-Americano de Segurança Contra Incêndio. Recife: Albrasci, 2017.

CARDOSO, M.H. **Argamassas de assentamento para alvenaria.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológica, São Paulo, 1980.

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

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

SILVA, Cláudio O. (Brasil). Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Desempenho - Alvenaria de Blocos de Concreto:** Guia para atendimento à Norma ABNT 15575. São Paulo: Editora Mandarim, 2014. 40 p.

COELHO, Antônio Arthur Cavalcanti de Miranda. **Estudo do Comportamento das Alvenarias de Vedação em Blocos Cerâmicos, Submetidos a Altas Temperaturas.** 2017. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, 4., 2017, Recife. **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE ALVENARIA NA SUA RESISTÊNCIA AO FOGO.** São Leopoldo: Albrasci, 2017. 10 p.

CORRÊA, Cristiano. **SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO:** Recife: Cristiano Corrêa, 2013. 107 slides, color.

CULFIK, M.S. **Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar.** 2000. 8 p. Artigo científico (Cement and Concrete Research)-University, Bebek, Istanbul, Turkey, 2001.

EUROCODE. **EN 1996-1-2: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design.** 1 ed. Brussels, 2005. 81 p.

_____. **EN 1996-2: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry.** Brussels, 2006. 34 p.

_____. **EN 1996-3: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures.** Brussels, 2006. 40 p.

_____. **Eurocode 1** – Actions on structures Part 1- 2: General Actions: Actions on structures exposed to fire. Brussels, 2002, 57p. prEN1991-1-2:2002.

GALKIN, S. L.; MALYSHEV, A. A.; NIKOLAEV, V. I.. SIMULATION OF THERMALLY STRESSED STATE AND EVALUATION OF THE FIRE-RESISTANCE LIMIT FOR A WALL OF "BESSER" CONCRETE BLOCKS. **Journal Of Engineering Physics And Thermophysics**. Minsk, p. 480-486. jun. 1997.

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

IZQUIERDO, O. S. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto São Carlos 2011**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

LEITE, H. A. L.; MORENO JUNIOR, A. L.; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p.89-107, 22 maio 2015.

MALHOTRA, H. L. **FIRE RESISTANCE OF CONCRETE BLOCK WALLS**. Boreham Wood: Department of Scientific And Industrial Research And Fire Offices' Commitj'ee Joint Fire Research Organization, 1962. 9 p. F. R. Note No. 501.

MARTINS, M. M. **Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio**. 2000. 213 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MATA, R.C. **Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2006. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1998.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. 2007. 290p. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Portugal, 2007.

NADJAI, A.; GARRA, M. O'; ALI, F.. Finite element modelling of compartment masonry walls in fire. **Computers & Structures**, Newtownabbey, v. 81, p.1923-1930, 14 fev. 2003.

NAHHAS, F. Al et al. Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modeling. **Applied Thermal Engineering**. Marne-la-vallée, p. 258-267. 07 jul. 2006.

NAUS, D. J. (Org.). **The Effect of Elevated Temperature on Concrete Materials and Structures— A Literature Review**. Oak Ridge: Ut-battelle, Llc, 2005. 184 p.

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**, Paris, v. 44, p.629-641, 05 fev. 2009.

NGUYEN, Thê-duong; MEFTAH, Fekri. Behavior of hollow clay brick masonry walls during fire: Part 2: 3D finite element modeling and spalling assessment. **Fire Safety Journal**, Paris, v. 66, p.35-45, 28 out. 2013.

NIKOLAEV, V. I. MODELING OF TEMPERATURE FIELD OF "BESSER" CONCRETE BLOCKS UNDER STANDARD FIRE CONDITIONS. **Journal Of Engineering Physics And Thermophysics**. Minsk, p. 330-339. abr. 1997.

PRAGER, G.L. et al. **Avaliação Experimental da Influência da Espessura de Alvenaria na sua Resistência ao Fogo**. In_4º CILASCI. Congresso Ibero-Latino-Americano de Segurança Contra Incêndio. Recife: Albrasci, 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.

PURKISS, J. A. **Fire safety engineering design of structures**. Butterworth - Heinemann. Great Britain, 2nd ed., 2007, 389 p.

QI, Yan; YOU-LIANG, Yang. Experimental Study on the Influence of Water Jetting upon the Load-Carrying Ability of Hot Clay Brick. **Engineering Procedia: The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering**, Langfang, v. 11, p.593-597, 2011.

RAZENTE, J. A. **Aplicação de recursos computacionais em projetos de edifícios em alvenaria**. São Carlos, 2004. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

REBOLEDO, Alexandre; SILVA, Paulo Rogério Veiga; CORDEIRO, Tatiane Araújo. **Análise Comportamental das Cargas de Incêndio em Estruturas**. 2010. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2010.

RIGÃO, Alessandro Onofre. **COMPORTAMENTO DE PEQUENAS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ROSEMANN, Fernando. **RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS PELO CRITÉRIO DE ISOLAMENTO TÉRMICO**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RUSSO, Salvatore; SCARRETTA, Francesca. Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties - An overview. **Fire Safety Journal**, Venezia, v. 55, p.69-86, 20 nov. 2012.

SEITO, A. I. (coord.), et. al. **A segurança contra Incêndio no Brasil**. Projeto Editora, São Paulo, 2008, p. 497.

SILVA, Cláudio Oliveira et al. **Alvenaria de Blocos de Concreto**: Guia para atendimento à Norma ABNT 15575. 2014. Disponível em: <<http://www.blocobrasil.com.br/>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

UNILA. Universidade Federal da Integração Latino-americana (Org.). **COMO FAZER CITAÇÕES**. Foz do Iguaçu, 2014. 16 p. Disponível em: <[https://unila.edu.br/sites/default/files/files/Manual de citação e notas de rodapé.pdf](https://unila.edu.br/sites/default/files/files/Manual%20de%20cita%C3%A7%C3%A3o%20e%20notas%20de%20rodap%C3%A9.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2017.

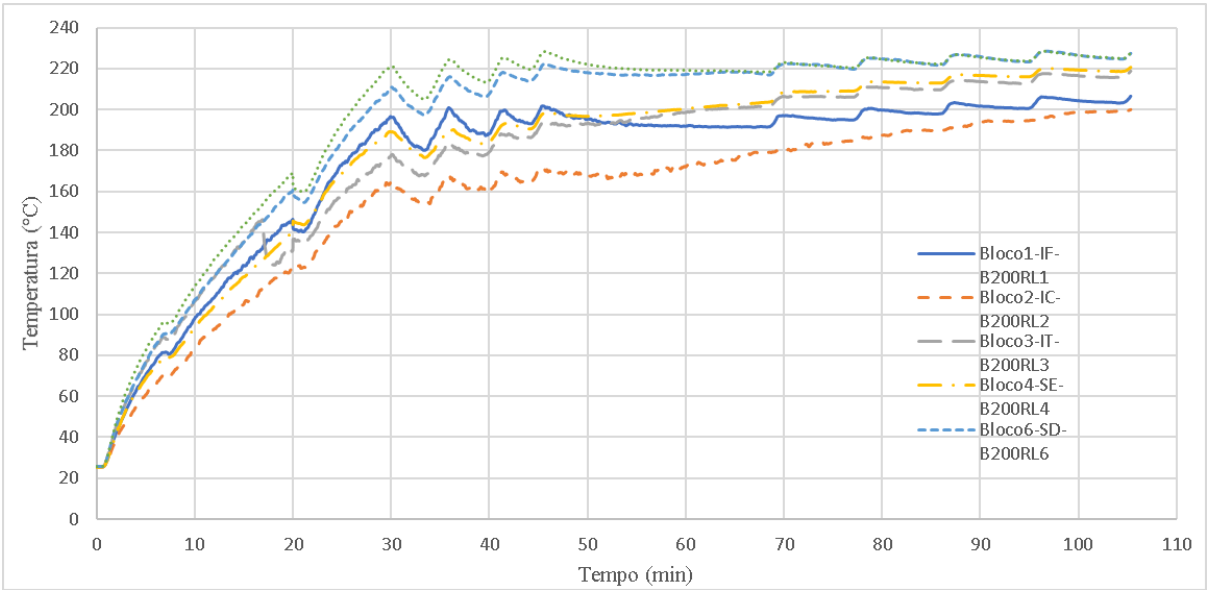
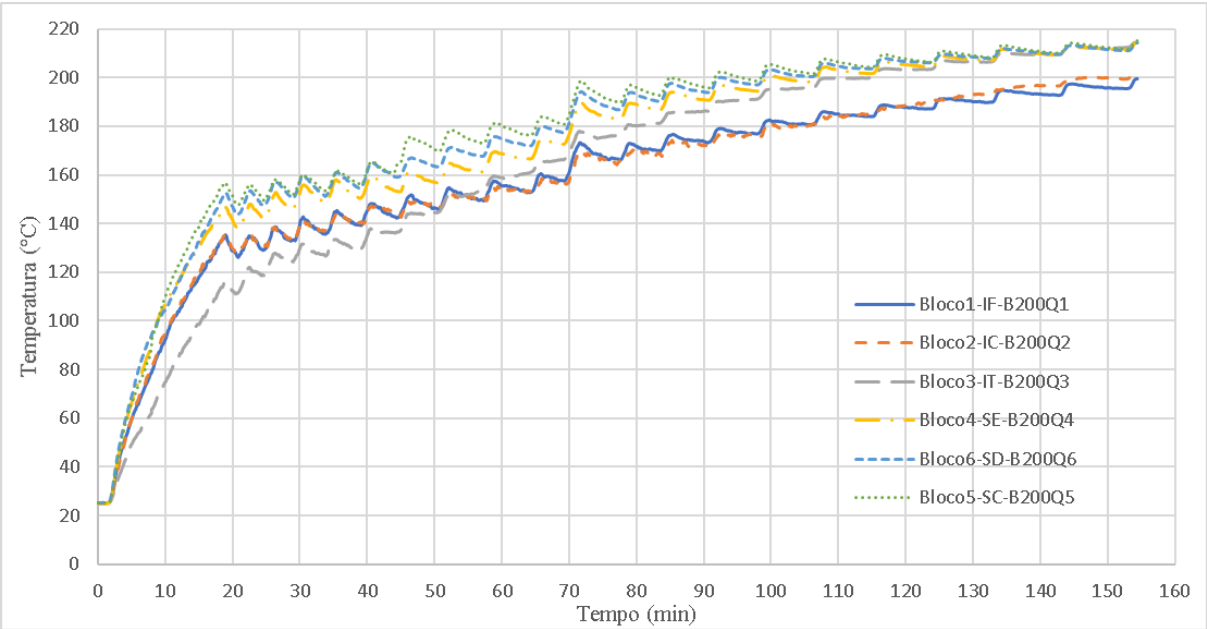
USUDA, F. **Alvenaria estrutural**. Técnicas Construtivas Especiais, Faculdade de Engenharia de Sorocaba, São Paulo. 2004.

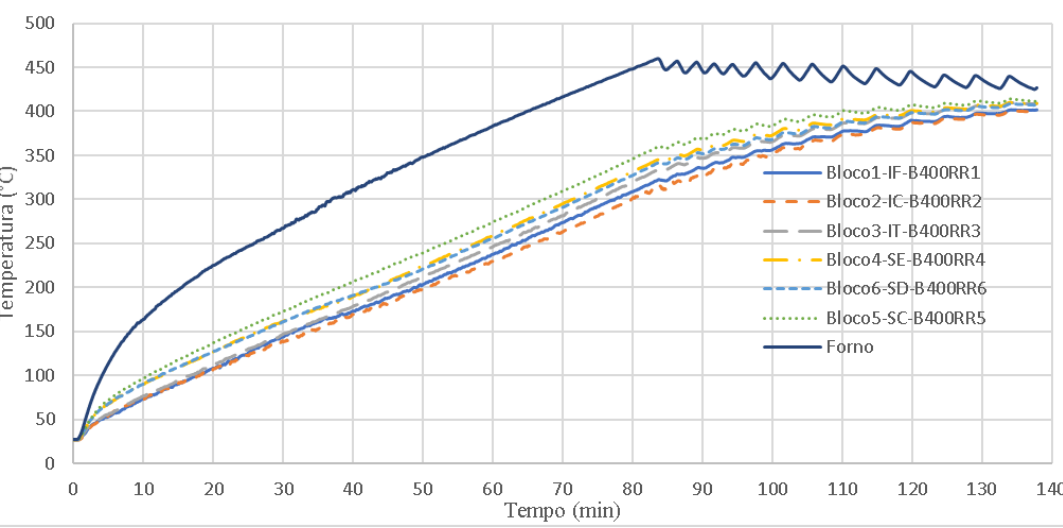
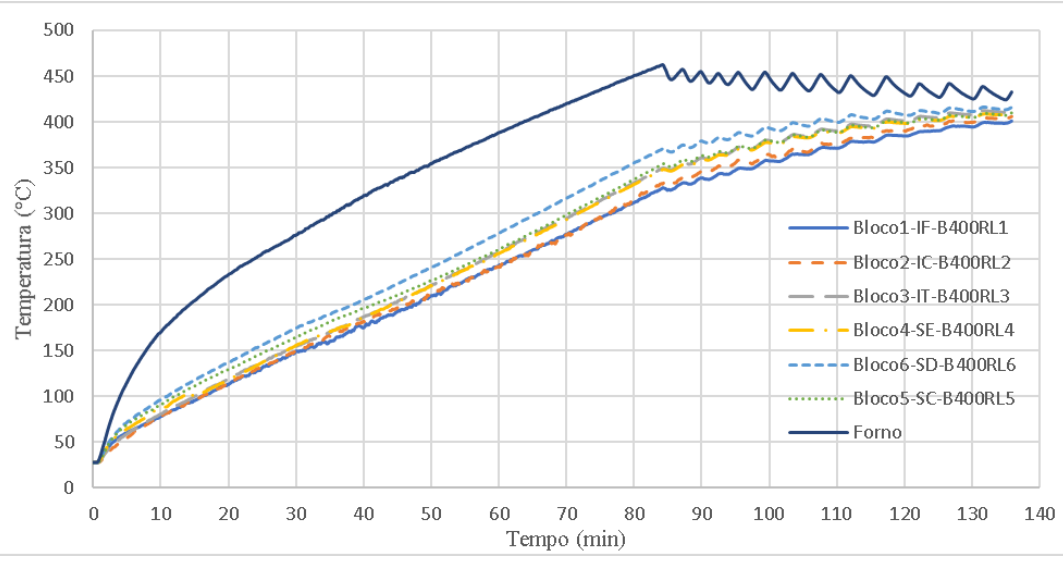
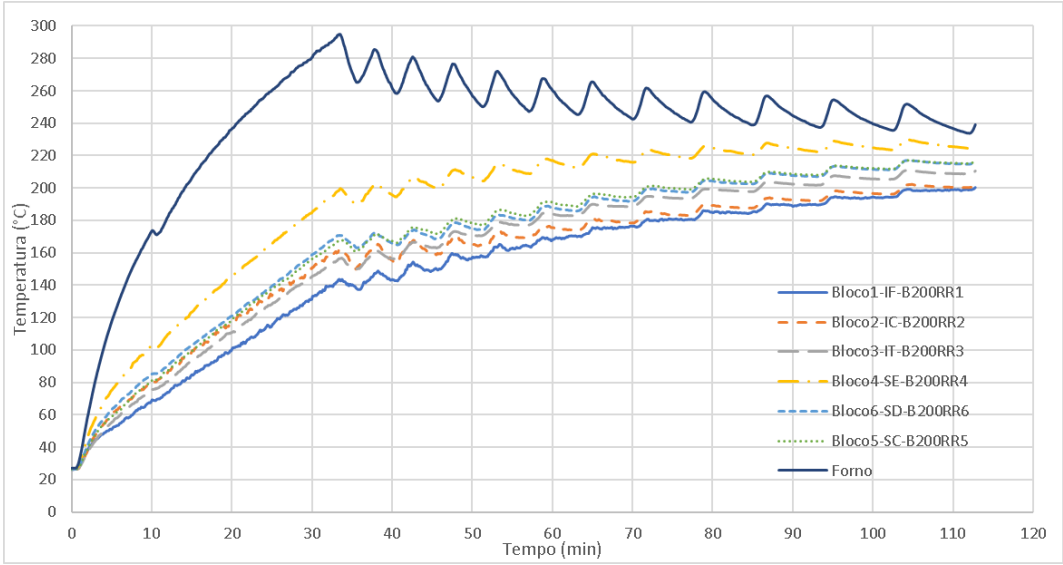
VILLAR, F. H. R. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais - estudo de caso**. São Carlos, 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

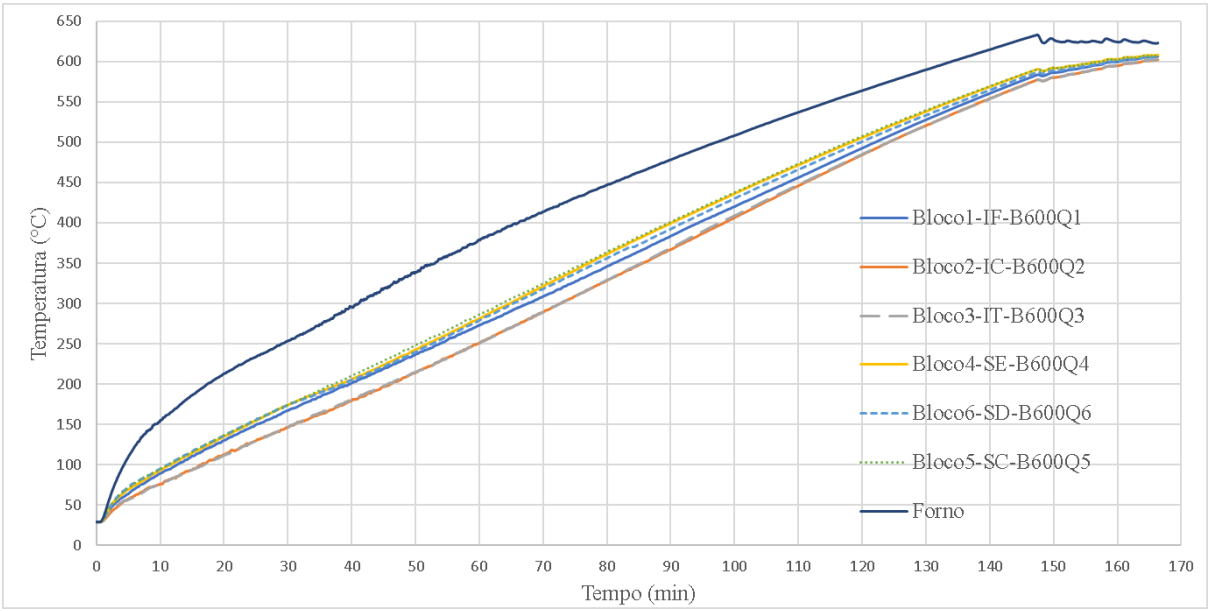
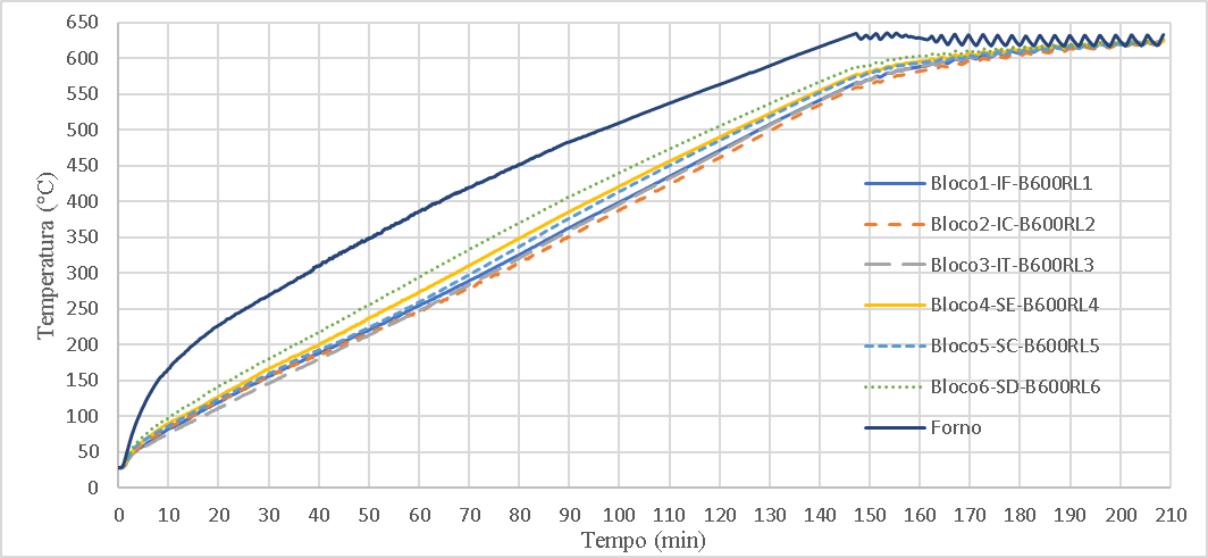
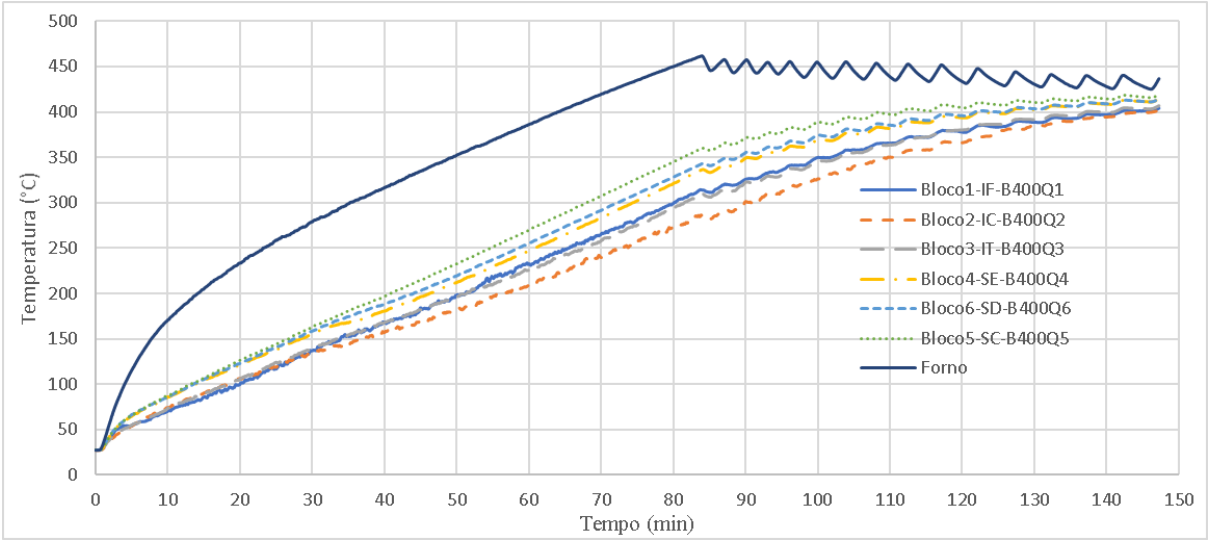
XIAO, Zhao et al. Properties of partition wall blocks prepared with high percentages of recycled clay brick after exposure to elevated temperatures. **Construction And Building Materials**. Hong Kong, p. 56-61. 05 ago. 2013.

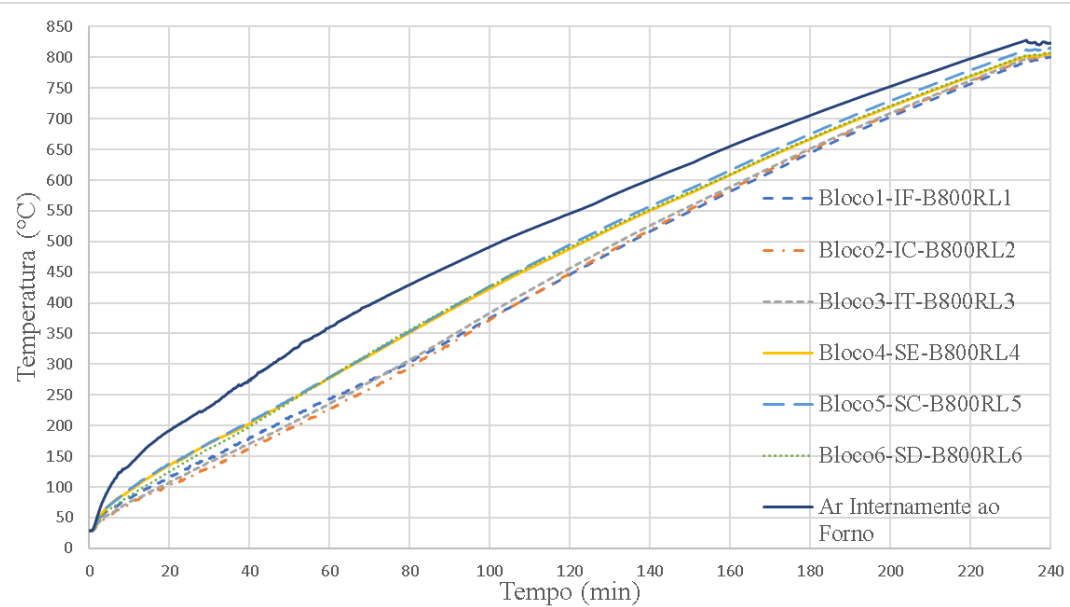
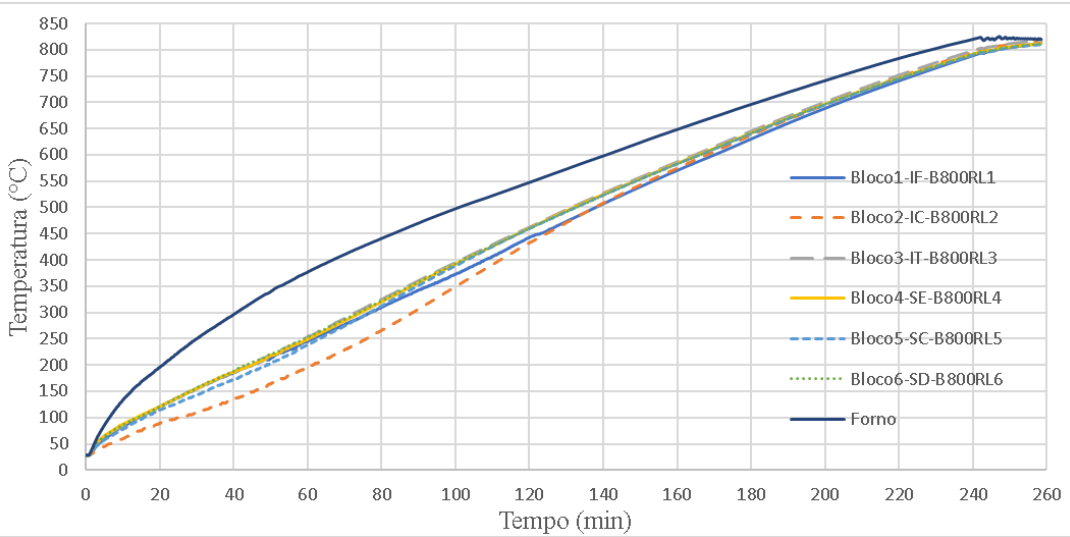
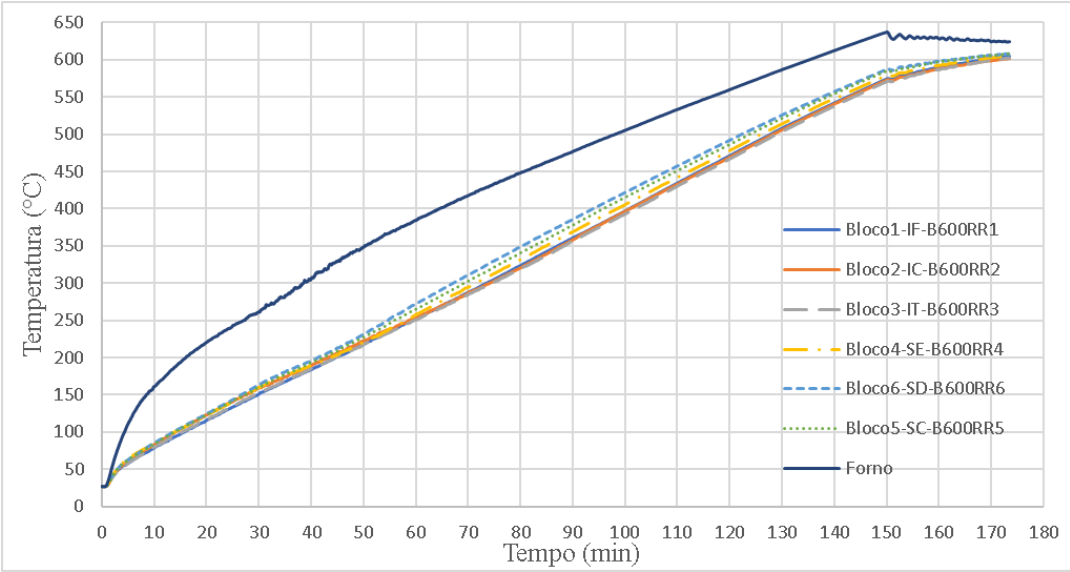
ZHANG, Bao Jian et al. Effect of curing parameters on CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates. **Cement And Concrete Composites**. Hong Kong, 03 maio 2016. p. 122-130.

APÊNDICE I – Ensaios Térmicos dos Blocos









APÊNDICE II – Resistência à Compressão dos Blocos

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS										
BAN (CP's)	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm ²)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	390,67	90,33	35290,22	109421	119829	3,10	3,40	2,46	2,28	2,46
2	390,67	90,00	35160,00	140839	154599	4,01	4,40			
3	391,67	90,00	35250,00	93619	102375	2,66	2,90			
4	392,00	90,33	35410,67	83050	90716	2,35	2,56			
5	391,33	91,33	35741,78	155149	170462	4,34	4,77			
6	393,67	90,33	35561,22	119170	130609	3,35	3,67			
7	390,00	90,00	35100,00	99300	108647	2,83	3,10			
8	390,00	90,00	35100,00	160290	176164	4,57	5,02			
9	390,00	90,00	35100,00	136350	149626	3,88	4,26			
10	390,00	90,00	35100,00	89380	97697	2,55	2,78			
Média								3,36	3,69	
Desvio Padrão da Amostra								0,79	0,88	

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
BAS (CP's)	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa)(N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,67	90,00	35340,03	-	-	78112	85273	2,21	2,41	1,87	1,80	1,87
2	391,67	91,00	35641,70	-	-	81021	88480	2,27	2,48			
3	390,67	90,00	35160,03	-	-	68270	74436	1,94	2,12			
4	392,00	90,00	35280,00	-	-	67961	74096	1,93	2,10			
5	391,33	90,33	35350,31	-	-	91909	100488	2,60	2,84			
6	393,00	90,67	35632,13	-	-	94289	103115	2,65	2,89			
Média (MPa)									2,27			
Desvio Padrão									0,31			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B200Q	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,67	90,00	35340,03	9,550	9,435	106980	117131	3,03	3,31	2,95	2,85	2,95
2	391,33	91,00	35611,30	9,305	9,190	110770	121320	3,11	3,41			
3	391,33	90,00	35219,70	9,725	9,590	170250	187215	4,83	5,32			
4	391,33	90,00	35219,97	10,200	10,065	162970	179137	4,63	5,09			
5	391,00	90,33	35320,20	9,690	9,570	124590	136606	3,53	3,87			
6	390,67	90,67	35420,60	9,950	9,800	141650	155498	4,00	4,39			
Média									3,85			
Desvio Padrão da Amostra									0,76			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B200RR	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,00	89,33	34929,20	9,785	10,505	78588,9	85799	2,25	2,46	1,89	2,02	2,02
2	392,33	90,00	35309,97	9,585	10,325	81910	89460	2,32	2,53			
3	392,00	90,67	35541,46	9,300	9,900	76760	83784	2,16	2,36			
4	392,00	90,33	35410,54	9,400	9,935	80510	87917	2,27	2,48			
5	392,00	90,67	35541,46	9,505	10,095	80810	88247	2,27	2,48			
6	392,33	91,67	35963,99	9,835	10,550	69970	76307	1,95	2,12			
Média									2,20			
Desvio Padrão da Amostra									0,14			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B200RL	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambien te) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,33	89,33	35048,28	9,290	9,175	90630	99077	2,59	2,83	2,48	2,24	2,48
2	391,00	89,67	35059,80	9,890	9,765	128150	140547	3,66	4,01			
3	393,00	89,33	35107,87	9,515	9,390	111240	121840	3,17	3,47			
4	392,33	90,00	35309,97	9,795	9,670	125540	137658	3,56	3,90			
5	390,33	89,00	34739,64	9,370	9,240	88600	96837	2,55	2,79			
6	390,67	89,33	34899,46	9,625	9,495	107420	117618	3,08	3,37			
							Média	3,10	3,39			
							Desvio Padrão da Amostra	0,47	0,52			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B400Q	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambient e) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(M Pa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,33	90,67	35480,99	10,030	9,900	146890	161305	4,14	4,55	2,82	2,85	2,85
2	392,00	89,33	35018,54	9,665	9,540	114860	125842	3,28	3,59			
3	391,00	91,67	35841,80	9,850	9,710	103920	113750	2,90	3,17			
4	390,00	91,00	35490,00	10,275	10,110	114120	125024	3,22	3,52			
5	392,00	89,67	35149,46	9,695	9,560	114000	124891	3,24	3,55			
6	392,00	90,00	35280,00	9,390	9,260	103020	112756	2,92	3,20			
							Média	3,28	3,60			
							Desvio Padrão da Amostra	0,45	0,50			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B400RR	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm²)	m(ambiente) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	f _{bk} est 1 (MPa)	f _{bk} est 2(MPa)	f _{bk} est (MPa)
1	392,33	90,67	35571,66	9,750	10,620	67440	73523	1,90	2,07	1,84	2,04	2,04
2	392,33	89,67	35179,32	9,415	10,315	73930	80667	2,10	2,29			
3	391,33	90,00	35219,97	9,335	10,200	73040	79687	2,07	2,26			
4	392,33	90,00	35309,97	9,490	10,385	85400	93308	2,42	2,64			
5	391,00	89,00	34799,00	9,180	10,100	80940	88390	2,33	2,54			
6	393,00	90,67	35632,13	9,945	-	-	-	-	-			
							Média	2,16	2,36			
							Desvio Padrão da Amostra	0,21	0,23			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B400RL	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambien te) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,00	90,33	35320,20	9,330	9,205	124420	136418	3,52	3,86	2,40	2,13	2,40
2	391,67	89,00	34858,36	9,180	9,070	114210	125124	3,28	3,59			
3	391,67	89,67	35119,60	9,225	9,105	96990	106096	2,76	3,02			
4	391,00	89,00	34799,00	9,460	9,325	85980	93947	2,47	2,70			
5	392,00	90,33	35410,54	10,035	9,890	160500	176397	4,53	4,98			
6	392,00	90,00	35280,00	9,750	9,615	135930	149161	3,85	4,23			
							Média	3,40	3,73			
							Desvio Padrão da Amostra	0,75	0,83			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B600Q	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambient e) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(M Pa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,33	89,33	34958,95	9,490	9,270	114070	124968,78	3,26	3,57	2,08	2,14	2,14
2	392,33	89,33	35048,28	9,105	8,905	75130	81988,844	2,14	2,34			
3	391,67	89,33	34988,79	9,250	9,040	106940	117087,06	3,06	3,35			
4	392,33	89,67	35179,32	9,530	9,310	102300	111960,49	2,91	3,18			
5	392,00	90,00	35280,00	9,445	9,220	103580	113374,51	2,94	3,21			
6	391,67	89,67	35119,60	9,610	9,370	95830	104815,7	2,73	2,98			
							Média	2,84	3,11			
							Desvio Padrão da Amostra	0,38	0,42			

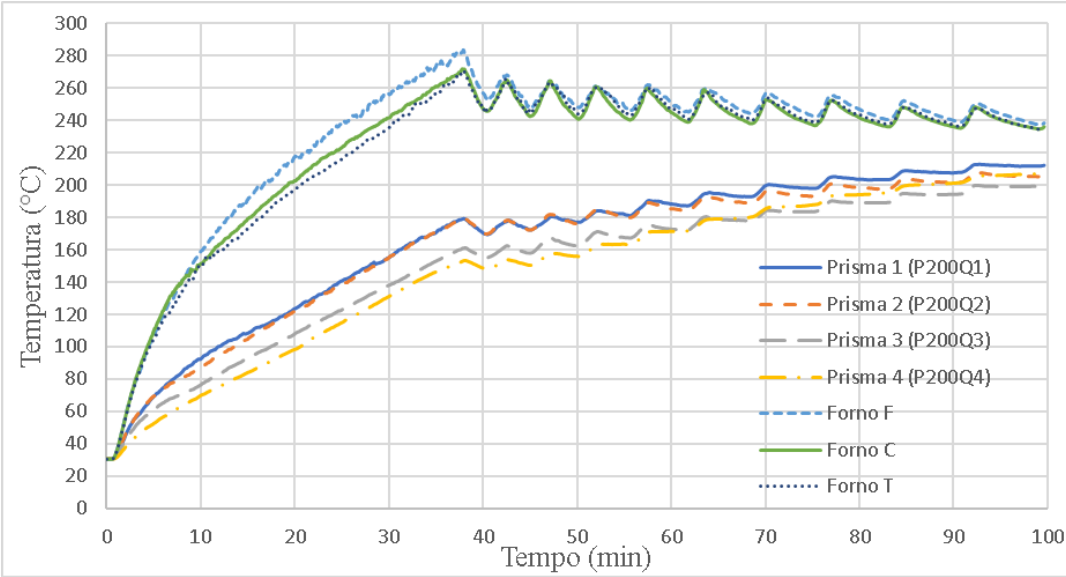
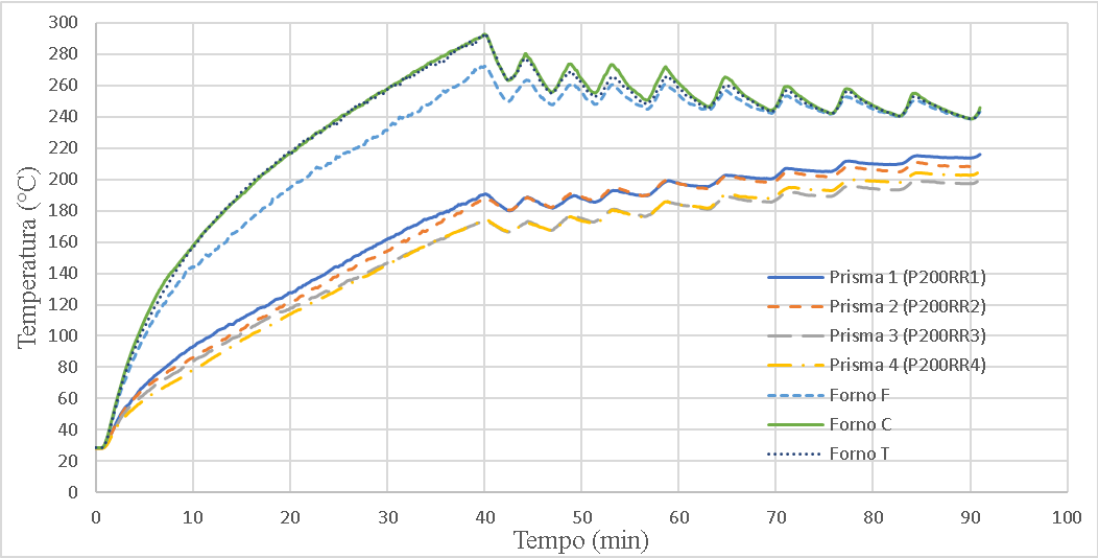
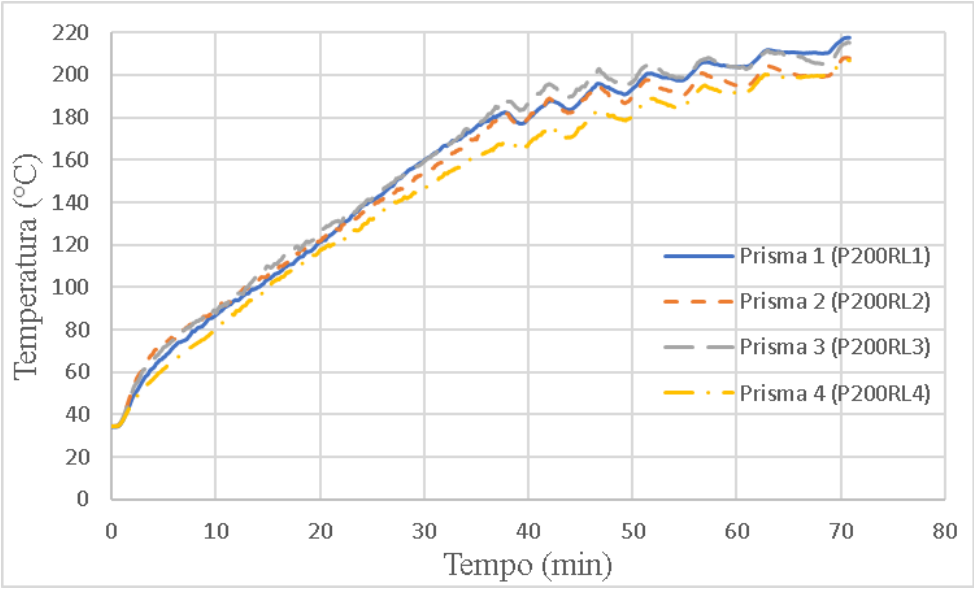
ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B600RR	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambien te) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,67	90,33	35380,46	10,030	10,975	45840	49796	1,30	1,41	1,17	1,29	1,29
2	392,00	89,00	34888,00	9,400	10,365	42220	45829	1,21	1,31			
3	391,00	91,00	35581,00	10,145	11,150	67850	73974	1,91	2,08			
4	392,33	90,33	35440,62	9,820	10,705	46950	51013	1,32	1,44			
5	391,33	89,33	34958,95	9,495	10,355	44400	48218	1,27	1,38			
6	391,67	89,00	34858,36	9,380	10,330	55390	60276	1,59	1,73			
							Média	1,43	1,56			
							Desvio Padrão da Amostra	0,27	0,29			

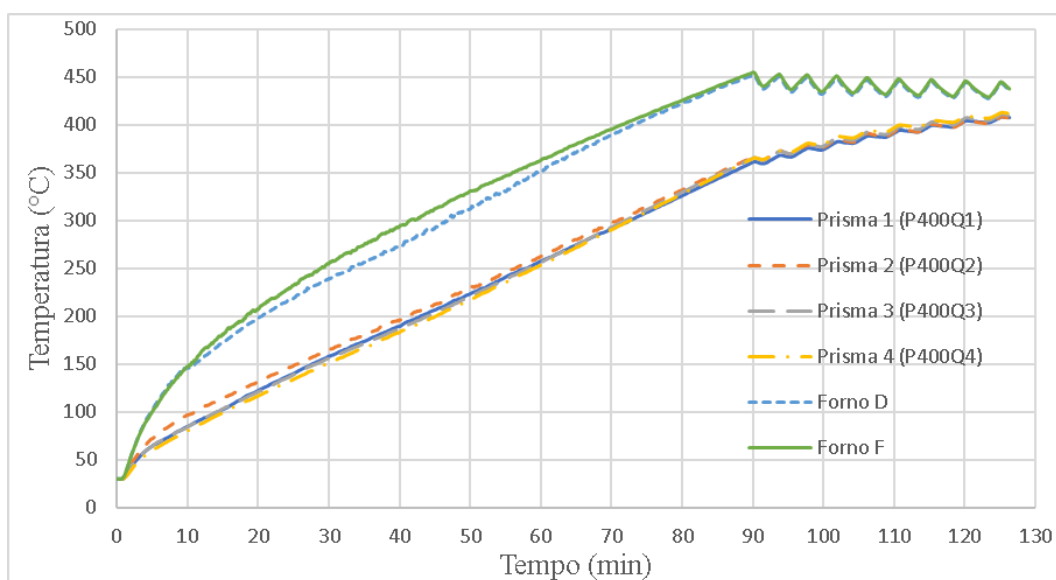
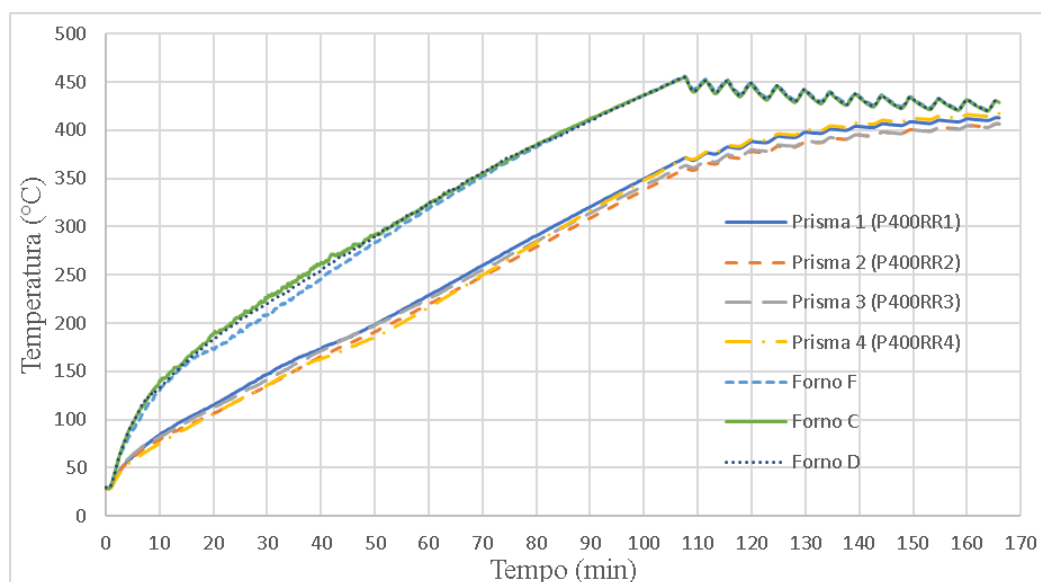
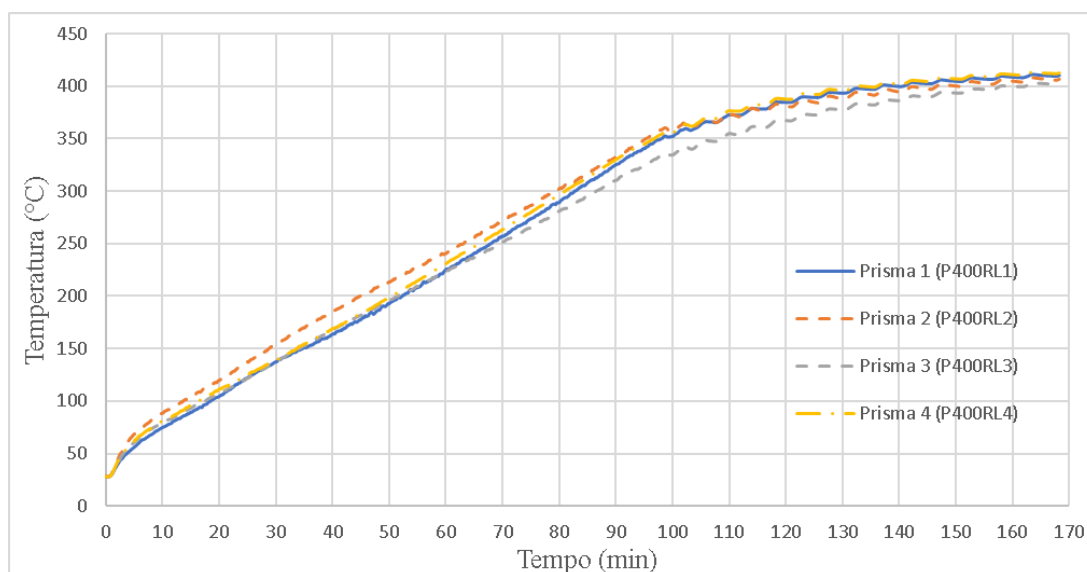
ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B600RL	C _{méd} (mm)	L _{méd} (mm)	Abruta (mm²)	m(ambiente) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,00	89,33	35018,54	9,675	9,465	102940	112667,48	2,93958605	3,21736692	2,11	2,10	2,11
2	391,33	89,00	34828,64	9,380	9,180	91770	100334,55	2,6349007	2,88080597			
3	392,00	90,00	35280,00	9,855	9,660	107450	117650,67	3,04563492	3,33476955			
4	391,33	90,67	35480,99	9,450	9,250	82470	90076,989	2,32434332	2,5387395			
5	392,67	90,00	35340,03	9,925	9,700	90970	99451,777	2,57413477	2,81413957			
6	392,00	90,00	35280,00	9,235	9,020	76710	83729,287	2,17431973	2,37327911			
							Média	2,61548658	2,8598501			
							Desvio Padrão da Amostra	0,33809689	0,37303048			

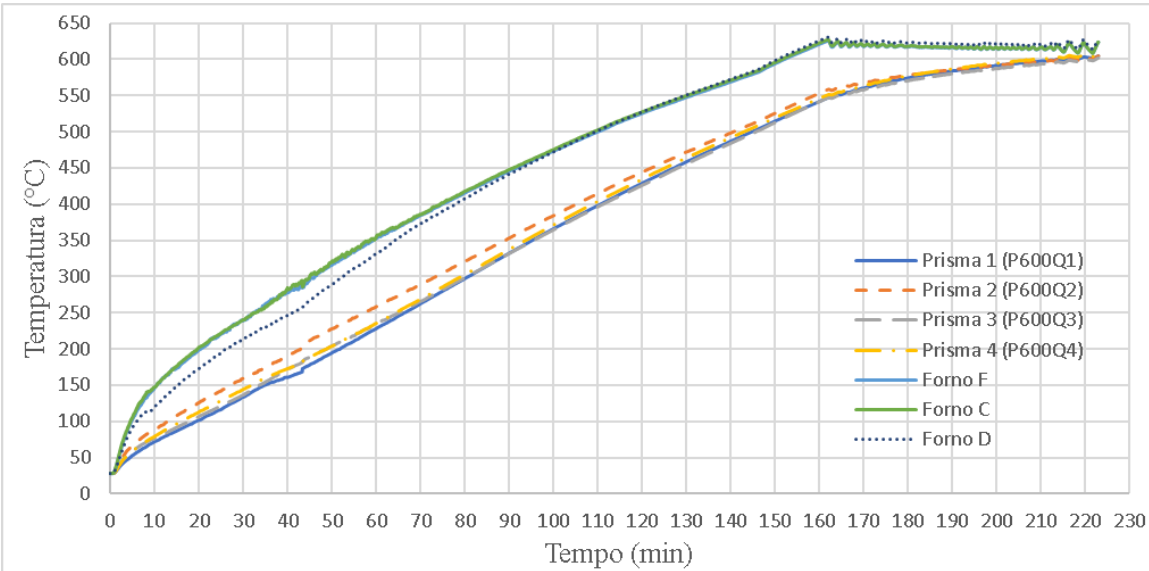
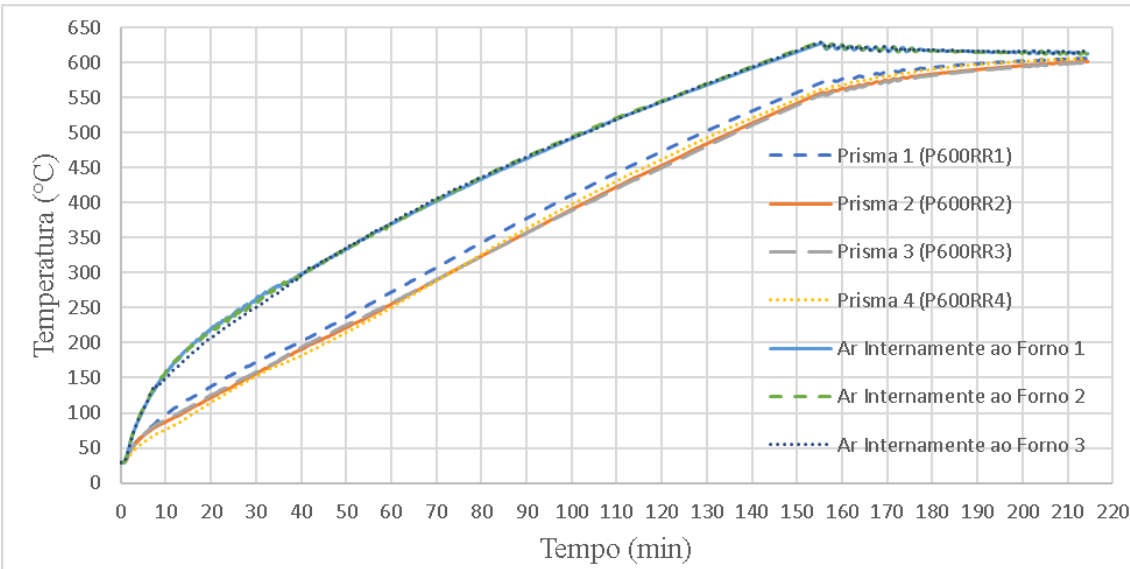
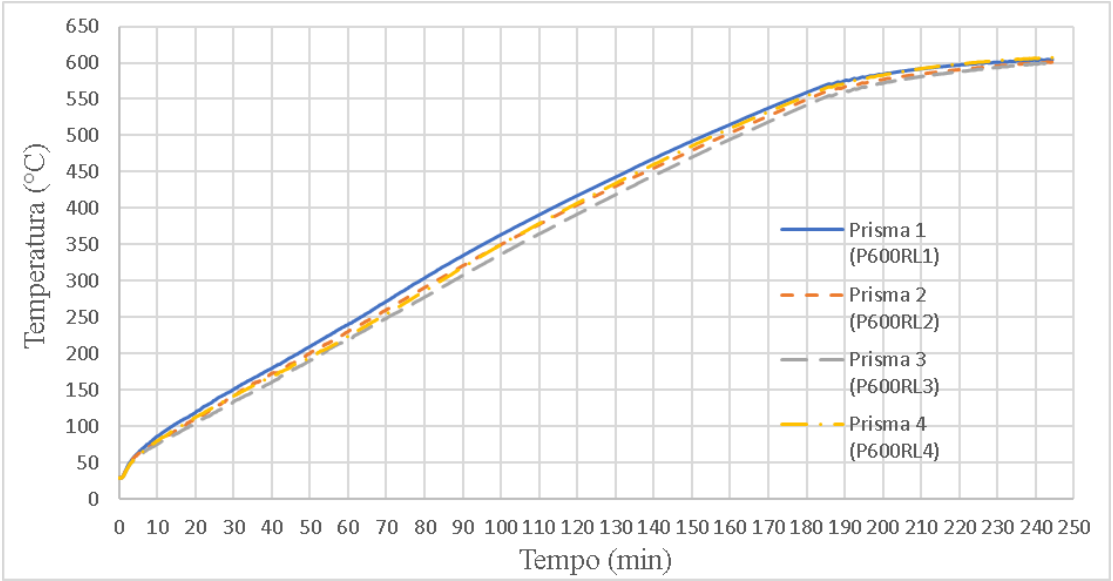
ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B800RR	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambien te) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	392,08	91,02	35687,12	9,880		0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	392,35	90,63	35558,68	9,255		0	0	0	0			
3	392,56	91,25	35821,10	9,760		0	0	0	0			
4	391,85	90,49	35458,51	9,605		0	0	0	0			
5	391,45	90,56	35449,71	10,015		0	0	0	0			
6	392,16	90,22	35380,68	9,530		0	0	0	0			
							Média	0	0			
							Desvio Padrão da Amostra	0	0			

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS												
B800RL	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm²)	m(ambient e) (kg)	m(ET) (kg)	F (prensa) (N)	F (célula carga) (N)	σ (prensa)(MPa)	σ (célula carga)(MPa)	fbk est 1 (MPa)	fbk est 2(MPa)	fbk est (MPa)
1	391,42	90,26	35329,57	10,035	-	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
2	391,86	91,13	35710,20	9,805	-	0	0	0	0			
3	392,22	91,08	35723,40	9,520	-	0	0	0	0			
4	391,89	90,85	35603,21	9,580	-	0	0	0	0			
5	392,00	90,33	35409,36	9,245	-	0	0	0	0			
6	391,25	91,48	35791,55	10,315	-	0	0	0	0			
							Média	0	0			
							Desvio Padrão da Amostra	0	0			

APÊNDICE III – Ensaios Térmicos dos Prismas







ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS									
P400RR	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente)(kg)	m(ET)(kg)	F prensa (N)	F(célula carga)(N)	σ(prensa) (MPa)	σ(célula carga) (MPa)
1	392,33	90,67	35571,66	18,435	19,980	58660	63868	1,65	1,80
2	392,33	89,67	35179,32	17,980	19,550	54490	59287	1,55	1,69
3	391,33	90,00	35219,97	18,750	20,240	51240	55720	1,45	1,58
4	392,33	90,00	35309,97	18,905	20,640	67340	73413	1,91	2,08
							Média	1,64	1,79
							Desvio Padrão	0,19	0,21

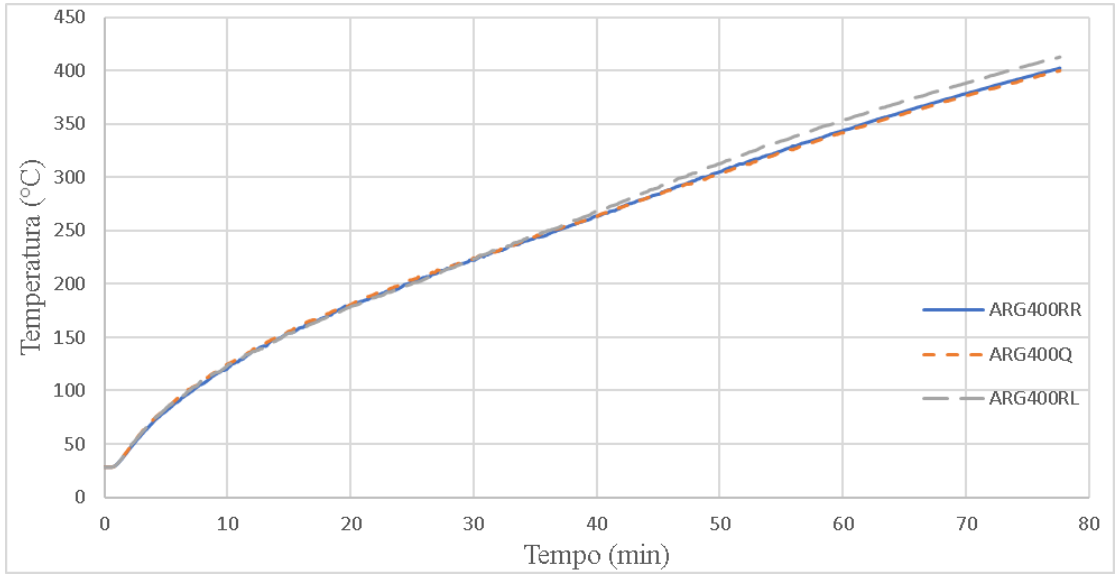
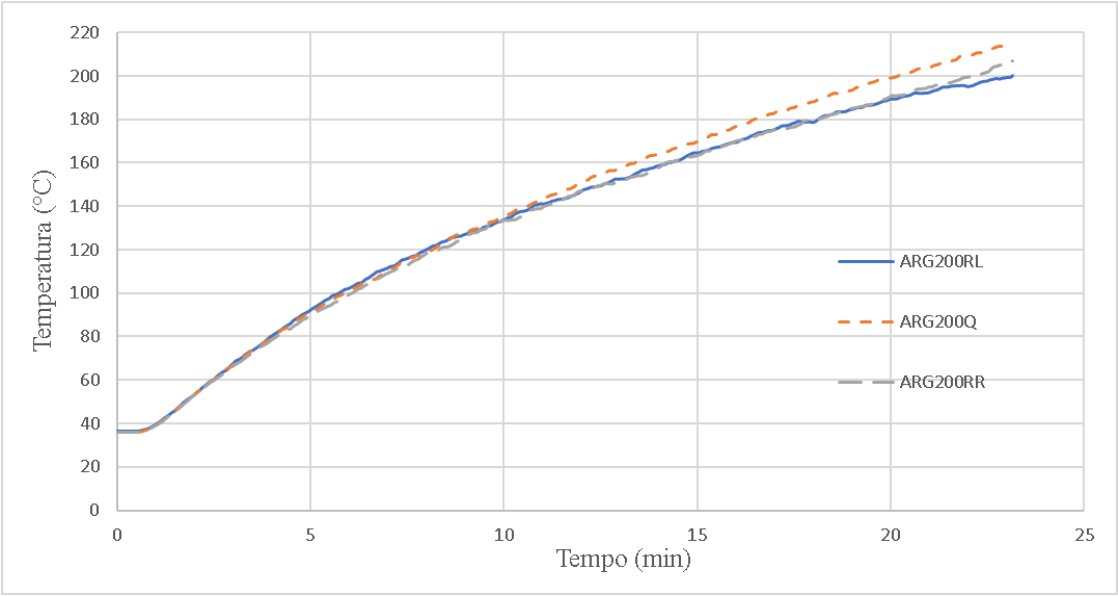
ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS									
P400RL	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente)(kg)	m(ET)(kg)	F prensa (N)	F(célula carga)(N)	σ(prensa) (MPa)	σ(célula carga) (MPa)
1	391,00	90,33	35320,20	18,865	18,655	90860	99330	2,57	2,81
2	391,67	89,00	34858,36	19,060	18,840	100080	109508	2,87	3,14
3	391,67	89,67	35119,60	18,770	18,565	84300	92095	2,40	2,62
4	391,00	89,00	34799,00	19,175	18,910	90310	98724	2,60	2,84
							Média	2,61	2,85
							Desvio Padrão	0,19	0,21

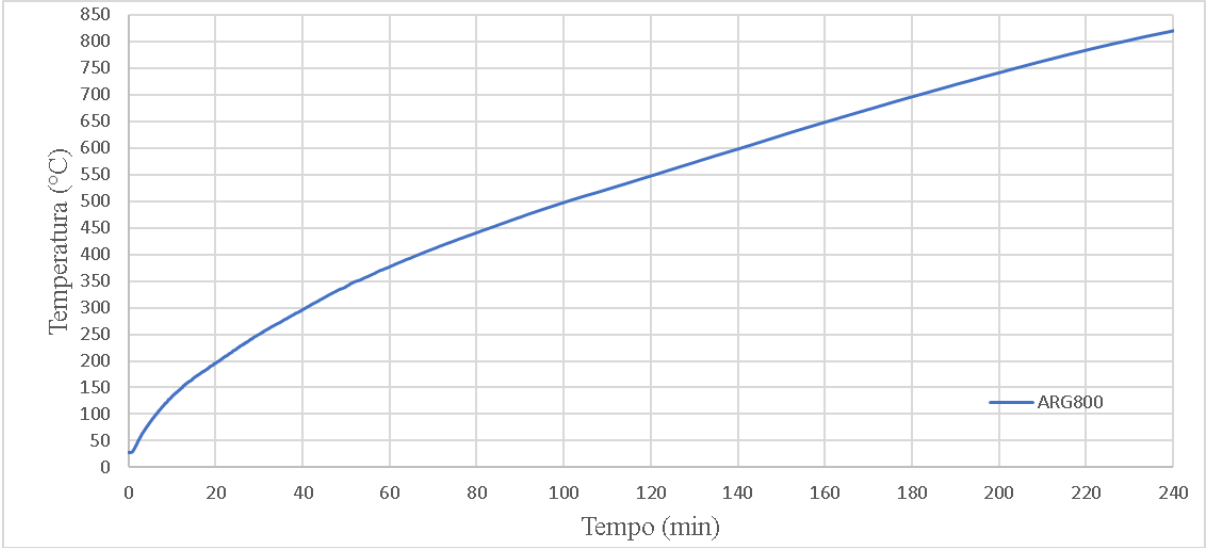
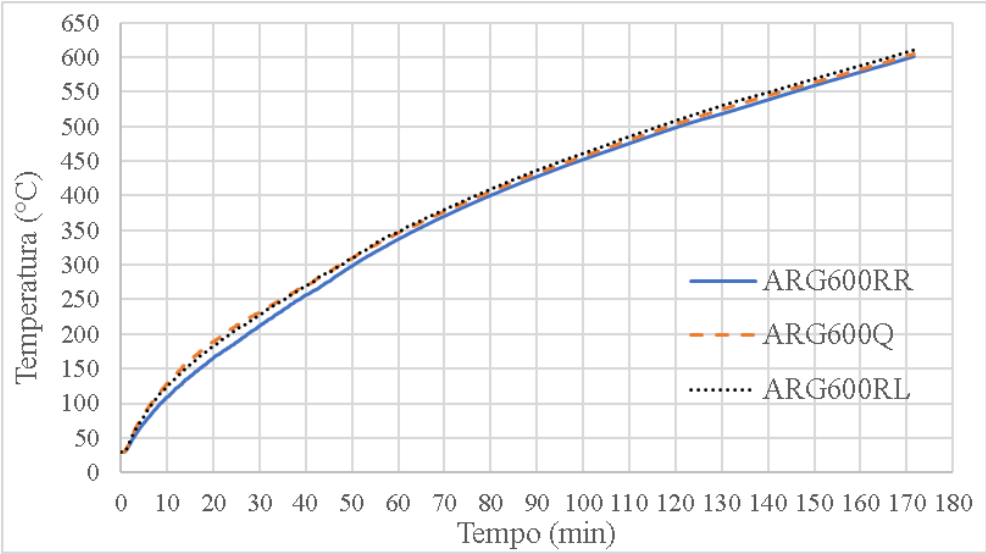
ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS									
P600Q	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente)(kg)	m(ET)(kg)	F prensa (N)	F(célula carga)(N)	σ(prensa) (MPa)	σ(célula carga) (MPa)
1	391,33	89,33	34958,95	18,565	18,185	87620	95756	2,51	2,74
2	392,33	89,33	35048,28	18,280	17,905	84760	92602	2,42	2,64
3	391,67	89,33	34988,79	19,000	18,605	75030	81879	2,14	2,34
4	392,33	89,67	35179,32	19,025	18,620	70720	77133	2,01	2,19
							Média	2,27	2,48
							Desvio Padrão	0,23	0,26

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS									
P600RR	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente)(kg)	m(ET) (kg)	F prensa (N)	F(célula carga)(N)	σ (prensa) (MPa)	σ (célula carga) (MPa)
1	391,67	90,33	35380,46	19,330	20,425	50830	55270	1,44	1,56
2	392,00	89,00	34888,00	18,240	19,630	39960	43353	1,15	1,24
3	391,00	91,00	35581,00	19,245	20,555	41900	45478	1,18	1,28
4	392,33	90,33	35440,62	18,595	19,890	38450	41700	1,08	1,18
							Média	1,21	1,31
							Desvio Padrão	0,16	0,17

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS									
P600RL	Cméd (mm)	Lméd (mm)	Abruta (mm ²)	m(ambiente)(kg)	m(ET)(kg)	F prensa (N)	F(célula carga)(N)	σ (prensa) (MPa)	σ (célula carga) (MPa)
1	392,00	89,33	35018,54	19,470	19,150	66660	72665	1,90	2,08
2	391,33	89,00	34828,64	18,220	17,905	62680	68287	1,80	1,96
3	392,00	90,00	35280,00	20,205	19,825	88700	96947	2,51	2,75
4	391,33	90,67	35480,99	19,200	18,850	63140	68793	1,78	1,94
							Média	2,00	2,18
							Desvio Padrão	0,35	0,38

APÊNDICE V – Ensaios Térmicos das Argamassas





APÊNDICE VI – Resistência à Compressão das Argamassas

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARGAN)						
Cpt	m (ambiente)(g)	Resistência à Tração		Cpc	Resistência à Compressão	
		Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	368,10	460	0,11	1.1	10120	6,33
				1.2	9060	5,66
2	369,04	410	0,10	2.1	8840	5,53
				2.2	9850	6,16
3	412,82	330	0,08	3.1	18680	11,68
				3.2	16900	10,56
		Média (MPa)	0,09			5,92
		Desv. Abs. Máx. (MPa)	0,02			0,41

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARGAS)							
Cpt	m (ambiente)(g)	m (sat)(g)	Resistência à Tração		Cpc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	404,22	442,21	300	0,07	1.1	11500	7,19
					1.2	10750	6,72
2	369,70	408,92	430	0,10	2.1	6730	4,21
					2.2	6590	4,12
3	378,62	418,46	350	0,08	3.1	7300	4,56
					3.2	7840	4,90
			Média (MPa)	0,08			4,45
			Desv. Abs. Máx. (MPa)	0,02			0,45

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG200Q)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	421,42	403,22	560	0,13	1.1	18470	11,54
					1.2	15220	9,51
2	371,28	357,32	590	0,14	2.1	10200	6,38
					2.2	10540	6,59
3	355,27	342,64	460	0,11	3.1	8670	5,42
					3.2	9370	5,86
			Média	0,13			6,06
			Desv. Abs. Máx.	0,01796875			0,640625

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG200RR)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	358,56	384,57	190	0,045	1.1	5920	3,70
					1.2	6720	4,20
2	375,30	397,39	160	0,038	2.1	8890	5,56
					2.2	9020	5,64
3	375,86	399,45	230	0,05	3.1	7580	4,74
					3.2	8400	5,25
			Média	0,05			5,30
			Desv. Abs. Máx.	0,00859375			0,5578125

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG200RL)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	333,73	369,30	400	0,09	1.1	9560	5,98
					1.2	10260	6,41
2	421,50	405,29	470	0,11	2.1	8990	5,62
					2.2	9.680	6,05
3	424,21	411,06	550	0,13	3.1	9430	5,89
					3.2	9260	5,79
			Média	0,11			5,95
			Desv. Abs. Máx.	0,02			0,46

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG400Q)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	392,75	368,97	450	0,11	1.1	10190	6,37
					1.2	8910	5,57
2	401,24	376,04	310	0,07	2.1	11910	*7,44
					2.2	13760	*8,6
3	393,75	370,80	340	0,08	3.1	9690	6,06
					3.2	10450	6,53
			Média	0,09			6,13
			Desv. Abs. Máx.	0,01953125			0,5625

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG400RR)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	390,58	466,81	250	0,06	1.1	6910	*4,32*
					1.2	7470	4,67
2	395,69	471,22	280	0,07	2.1	8000	5,00
					2.2	8430	5,27
3	397,42	475,87	300	0,07	3.1	9830	*6,14*
					3.2	8680	5,43
			Média	0,06			5,09
			Desv. Abs. Máx.	0,00625			0,421875

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG600RR)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	386,07	484,03	160	0,04	1.1	4890	3,06
					1.2	4360	2,73
2	397,32	497,87	160	0,04	2.1	5250	3,28
					2.2	5030	3,14
3	388,58	487,49	150	0,04	3.1	4850	3,03
					3.2	5020	3,14
			Média	0,04			3,06
			Desv. Abs. Máx.	0,0015625			0,3375

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG600RL)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	386,02	359,46	160	0,04	1.1	5710	3,57
					1.2	5340	3,34
2	392,92	367,55	220	0,05	2.1	5870	3,67
					2.2	5750	3,59
3	398,63	376,37	220	0,05	3.1	6340	3,96
					3.2	6430	4,02
			Média	0,05			3,69
			Desv. Abs. Máx.	0,01			0,35

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG800Q)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	380,25	323,75	80	0,02	1.1	2850	1,78
					1.2	2030	1,27
2	390,34	333,76	170	0,04	2.1	1710	1,07
					2.2	3070	1,92
3	377,65	321,98	90	0,02	3.1	2010	1,26
					3.2	2790	1,74
			Média	0,03			1,51
			Desv. Abs. Máx.	0,01			0,44

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG800RR)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	379,04	-	0	0,00	1.1	0	0,00
					1.2	0	0,00
2	404,37	-	0	0,00	2.1	0	0,00
					2.2	0	0,00
3	393,07	-	0	0,00	3.1	0	0,00
					3.2	0	0,00
			Média	0,00			0,00
			Desv. Abs. Máx.	0			0

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS (ARG800RL)							
CPt	m (ambiente) (g)	m (ET)(g)	Resistência à Tração		CPc	Resistência à Compressão	
			Carga Aplicada (N)	Resistência à Tração (MPa)		Carga Aplicada (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	363,88	-		0,00	1.1		0,00
					1.2		0,00
2	402,04	-		0,00	2.1		0,00
					2.2		0,00
3	402,72	-		0,00	3.1		0,00
					3.2		0,00
			Média	0,00			0,00
			Desv. Abs. Máx.	0			0