



INSTITUTO FEDERAL
Piauí



PPGEM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

AMADEU MOURA FÉ LEOPOLDINO DANTAS

**EFEITO DE ELEVADAS TEMPERATURAS NO DESEMPENHO
MECÂNICO DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM BLOCOS E TIJOLOS
DE SOLO-CIMENTO**

TERESINA

2025

AMADEU MOURA FÉ LEOPOLDINO DANTAS

**EFEITO DE ELEVADAS TEMPERATURAS NO DESEMPENHO MECÂNICO DOS
MATERIAIS UTILIZADOS EM BLOCOS E TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização e Processamento de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Prof. Roberto Arruda Lima Soares

TERESINA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Dantas, Amadeu Moura Fé Leopoldino

D192e Efeito de elevadas temperaturas no desempenho mecânico dos materiais utilizados em blocos e tijolos de solo-cimento / Amadeu Moura Fé Leopoldino Dantas. - 2025.
58 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Dr. Roberto Arruda Lima Soares.

1. Tijolo de solo-cimento. 2. Resistência mecânica. 3. Incêndio. 4. Resistência ao fogo. I.Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

AMADEU MOURA FÉ LEOPOLDINO DANTAS

EFEITO DE ELEVADAS TEMPERATURAS NO DESEMPENHO MECÂNICO DOS
MATERIAIS UTILIZADOS EM BLOCOS E TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 29/04/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Hudson Chagas dos Santos
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profa. Dra. Yáscara Lopes de Oliveira
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

RESUMO

Incêndios são muitas vezes inevitáveis na construção civil, devendo os materiais utilizados nas construções resistir a essas adversidades. O trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico dos tijolos de solo-cimento em quando submetidos a altas temperaturas, através de simulações com corpos de prova desse material. Foram fabricados 32 corpos de prova, sendo separados em 4 grupos, sendo os grupos CP-600, CP-850, CP-1100, que foram submetidos a queimas, respectivamente, a temperaturas máximas de 600°C, 850°C, 1100°C, enquanto o grupo CP-0 não sofreu queima. Foram realizadas análises químicas (FRX), mineralógicas (DRX), dimensionais, macroscópicas, microscópicas (MEV), de absorção de água, de perda de massa, de resistência mecânica por ensaio de flexão, termogravimétricas, verificação aos parâmetros da NBR 8491/2012 e comparação dos desempenhos. Observou-se que o aumento da temperatura de queima elevava a perda de massa dos corpos de prova. Houve aumento de resistência mecânica das amostras quando submetidas a 600°C, seguido de uma ligeira perda de resistência após a queima de 850°C, e uma perda maior de resistência quando submetidos a 1100°C. Entretanto, os materiais apresentaram uma considerável resistência residual mesmo após a queima mais intensa, quando comparado a outros materiais fabricados com cimento, como concretos e argamassas.

Palavras chave: tijolo de solo-cimento; resistência mecânica; incêndio; resistência ao fogo.

ABSTRACT

Fires accidents are often inevitable in civil construction, and the materials used in construction must resist these adversities. The aim of this work aims is to evaluate the performance of soil-cement bricks under fire situations, when subjected to high temperatures, through simulations with specimens of this material. 32 test specimens were manufactured and separated into 4 groups, namely CP-600, CP-850, CP-1100, which were subjected to burning, respectively, at maximum temperatures of 600°C, 850°C, 1100°C, while group CP-0 was not burnt. The samples were subjected to chemical (XRF), mineralogical (XRD), dimensional, macroscopic, microscopic (SEM), water absorption, mass loss, mechanical strength by bending test, thermogravimetric analysis, verification of the parameters of NBR 8491/2012 and performance comparison. Mass loss of the test specimens increased with the increase of the burning temperature. There was an increase in the mechanical strength of the samples when subjected to 600°C, followed by a slight loss of strength after burning at 850°C, and a greater loss of strength when subjected to 1100°C. However, a good residual strength was preserved even after more intense burning, when compared to other cement manufactured, such as concrete and mortars.

Keywords: cement-soil brick; mechanical strength; fire accident; fire; fire resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da temperatura ao longo das fases de um incêndio	14
Figura 2: Curva típica de temperaturas de incêndios padrão ISO 834-1	16
Figura 3: Curva típica de temperaturas de incêndios padrão ASTM E119.....	17
Figura 4: Fator de redução de resistência do concreto em função da temperatura	23
Figura 5: Cimento Portland CP IV 32-RS.....	24
Figura 6: Solo utilizado na fabricação	24
Figura 7: Forma utilizada na fabricação	25
Figura 8: Prensa utilizada na fabricação	25
Figura 9: Corpos de prova frescos	25
Figura 10: Cura sob toalhas úmidas.....	25
Figura 11: Cura submersa	26
Figura 12: Material finalizado	26
Figura 13: Forno utilizado no ensaio de queima	27
Figura 14: Queima em andamento.....	27
Figura 15: Equipamento utilizado na análise mineralógica	29
Figura 16: Equipamento utilizado na análise térmica	30
Figura 17: Ensaio de flexão em 3 pontos	31
Figura 18: Fluxograma do trabalho	32
Figura 19: Curva TG / DTG.....	33
Figura 20: Difração de Raios-X da amostra CP-0.....	35
Figura 21: Difração de Raios-X da amostra CP-600	35
Figura 22: Difração de Raios-X da amostra CP-850	36
Figura 23: Difração de Raios-X da amostra CP-1100	36
Figura 24: Aspecto macroscópico das amostras fraturadas.....	37
Figura 25: Análise microscópica (500 x) das amostras CP-20, CP-600, CP-850 e CP-1100	39
Figura 26: Análise microscópica (2000 x) das amostras CP-20, CP-600, CP-850 e CP-1100	40
Figura 27: Perda de massa dos corpos de prova após queima.....	43
Figura 28: Retração do comprimento dos corpos de prova após queima.....	44
Figura 29: Comparativo dos ensaios de absorção de água.....	46
Figura 30: Comparativo das resistências médias à flexão em MPa.....	48
Figura 31: Resistências de concretos e de solo-cimento quando submetidos a queimas	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) em minutos	18
Tabela 2: Composição química do material	34
Tabela 3: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-0	41
Tabela 4: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-600	41
Tabela 5: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-850	42
Tabela 6: Dimensões dos corpos de prova do grupo CP-1, CP-1100	42
Tabela 7: Resultado dos ensaios de absorção de água	45
Tabela 8: Resultados dos ensaios de resistência à flexão simples de 03 pontos	47
Tabela 9: Verificação aos parâmetros da NBR 8491/2012.	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
CP-0	Corpos de prova que não foram submetidos a queima
CP-1100	Corpos de prova que serão submetidos a queima a 1100°C
CP-600	Corpos de prova que serão submetidos a queima a 600°C
CP-850	Corpos de prova que serão submetidos a queima a 850°C
DRX	Difratometria de Raios-X
IFPI	Instituto Federal do Piauí
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
TG	Análise Térmica Gravimétrica
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPI	Universidade Federal do Piauí

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Curva de incêndio da ISO 834-1 de 1999	15
Equação 2: Modelo da curva de incêndio da ASTM E119	16
Equação 3: Cálculo da absorção de água	28
Equação 4: Decomposição da calcita.....	33
Equação 5: Decomposição da caulinita	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	APRESENTAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Geral	13
1.3.2	Específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	MORFOLOGIA DE UM INCÊNDIO	14
2.2	EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM EDIFICAÇÕES	17
2.3	TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO.....	19
2.3.1	Conceitos gerais.....	19
2.3.2	Tijolos de solo-cimento em situações de incêndio.....	19
2.4	BLOCOS E TIJOLOS CERÂMICOS COMUNS	20
2.4.1	Conceitos gerais.....	20
2.4.2	Blocos e tijolos cerâmicos comuns em situações de incêndio	20
2.5	DESEMPENHO ALVENARIAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	20
2.6	MATERIAIS CIMENTÍCEOS E ELEVADAS TEMPERATURAS	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	MATERIAIS.....	24
3.2	METODOLOGIA	24
3.2.1	Fabricação dos corpos de prova.....	24
3.2.2	Análise dimensional.....	26
3.2.3	Simulação de queima em forno	26
3.2.4	Perda de massa	27
3.2.5	Absorção de água	27
3.2.6	Análise macroscópica	28
3.2.7	Análise microscópica	28
3.2.8	Análise química	28
3.2.9	Análise mineralógica	29
3.2.10	Análise térmica	29
3.2.11	Resistência mecânica	30
3.2.12	Verificação normativa.....	31

3.2.13	Fluxograma do trabalho.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	ANÁLISE TÉRMICA	33
4.2	ANÁLISE QUÍMICA	34
4.3	ANÁLISE MINERALÓGICA.....	34
4.4	ANÁLISE MACROSCÓPICA.....	37
4.5	ANÁLISE MICROSCÓPICA	38
4.6	ANÁLISE DIMENSIONAL E PERDA DE MASSA	40
4.7	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	44
4.8	RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	47
4.9	VERIFICAÇÃO NORMATIVA	49
5	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Até o início dos anos 70, a regulamentação que tange a problemática dos incêndios no Brasil era dispersa, muito devido à ausência de grandes incêndios até aquela época. Devido ao crescimento populacional e ao inchaço urbano, o país foi abalado por grandes sinistros de incêndio, o que impulsionou o desenvolvimento de leis e normas para segurança contra esse tipo de sinistro (COUTINHO e CORREA, 2016).

Segundo LEITE (2016), incêndios são muitas vezes inevitáveis na construção civil, e as estruturas devem resistir a essas adversidades, visando primeiramente à segurança e a vida de seus ocupantes, e em segundo plano deve-se amortizar danos e avarias sofridas pelas estruturas. Para mitigar os efeitos de um incêndio, os materiais de construção presentes em uma obra devem apresentar boa resistência a altas temperaturas.

O tijolo de solo-cimento é um produto inovador utilizado na construção civil, que apresenta diversas vantagens em relação ao tijolo cerâmico convencional, dentre elas a maior facilidade e rapidez de assentamento, maior economia de argamassa, facilidade na execução das instalações elétricas e hidráulicas, entre outras, além de gerar um menor impacto ambiental na sua produção e utilização (MOTTA et al., 2014; FRAGA et al., 2016). Esse material é fabricado a partir de uma mistura de solo-cimento que, após ser prensada, é curada com água até atingir sua resistência final, o que difere dos materiais cerâmicos convencionais, que necessitam passar por uma etapa de queima a elevadas temperaturas em fornos específicos, que muitas vezes se utilizam de lenha, carvão ou gás natural no processo.

O tijolo cerâmico comum, por ser um material que durante sua fabricação já passa por um processo de queima a altas temperaturas, trata-se de um material que inerentemente possui boa resistência a situações de incêndios, já havendo inclusive inúmeros estudos na literatura analisaram o desempenho de paredes feitas com esse material nesse tipo de sinistro (LIMA et al. (2024); NGUYEN e MEFTAH (2012); SALES et al. (2020)). Por outro lado, o tijolo de solo-cimento não passa por uma etapa de cozimento em sua fabricação, de forma que sua resistência se dá pela reação do cimento com a água utilizada na sua produção.

1.2 JUSTIFICATIVA

Por ser um material recente, existe pouca bibliografia sobre tijolos de solo-cimento, especialmente quanto ao seu desempenho em elevadas temperaturas, não havendo, portanto, um entendimento aprofundado do desempenho desse material quando submetido a essas

condições.

Para garantir a segurança de uma construção nesse tipo de situação, é imprescindível a utilização de materiais que sejam resistentes às elevadas temperaturas desse tipo de sinistro, de forma a garantir que, em caso de incêndio, a construção resista um tempo mínimo necessário para que ocorra a evacuação de todos os seus ocupantes.

Pretende-se por meio deste estudo analisar especialmente a resistência mecânica de blocos de solo-cimento antes e depois de serem submetidos a temperaturas elevadas, avaliando, assim, se as obras construídas com esse material estão preparadas para suportar sinistros de incêndio, comparando o desempenho desse material com o dos tijolos cerâmicos comuns.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

Avaliar o desempenho mecânico de corpos de prova de blocos de solo-cimento quando submetidos a elevadas temperaturas.

1.3.2 Específicos

- Elaborar e caracterizar corpos de prova de solo-cimento, seguindo as normas de fabricação desse material, antes e depois de submetidos a um processo de queima;
- Comparar as propriedades mecânicas dos corpos de prova antes e depois de submetidos a queima;
- Analisar a macro e a microestrutura dos corpos de prova antes e depois do ensaio de queima;
- Verificar as mecânicas das amostras quanto ao preconizado pelas normas técnicas vigentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

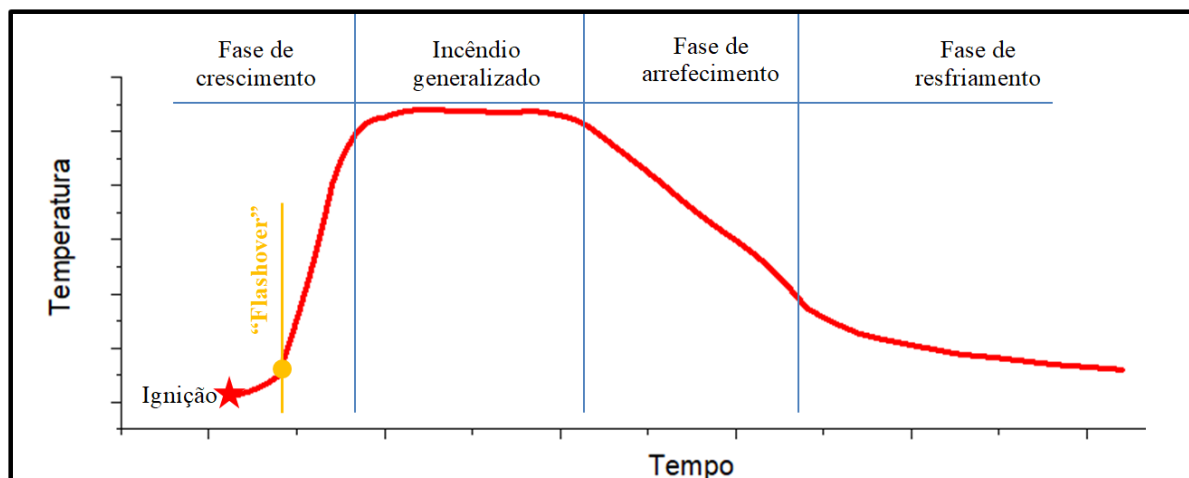
2.1 MORFOLOGIA DE UM INCÊNDIO

Para avaliar o desempenho de um material em um sinistro de incêndio, é imprescindível conhecer a dinâmica de um incêndio, além da determinação de parâmetros como a temperatura máxima atingida pela chama e o tempo ao qual o material fica sujeito a essa temperatura. Para uma maior compreensão desses parâmetros, foram analisados estudos que simulassem e avaliassem as condições em uma situação de incêndio.

Segundo autores como LUCHERINI e TORERO (2023), BUCHANAN e ABU (2017), um incêndio pode ser dividido em quatro fases. A evolução da temperatura ao longo de um incêndio típico é mostrada na Figura 1:

- Fase de crescimento: após a ignição, o fogo cresce de acordo com as propriedades e com a disposição dos materiais combustíveis no local;
- Incêndio generalizado: etapa onde todos os materiais combustíveis do recinto queimam simultaneamente. A velocidade da queima e a temperatura atingida dependem da oferta de oxigênio no recinto. Nessa fase, é atingido o pico de temperatura;
- Fase de arrefecimento: fase onde o fogo começa a diminuir devido ao esgotamento do combustível, resultando em uma redução da temperatura;
- Fase de resfriamento: quando os principais processos de combustão cessam e o compartimento entra em um estado de puro resfriamento.

Figura 1: Evolução da temperatura ao longo das fases de um incêndio



Fonte: BUCHANAN e ABU (2017) Adaptado

CORREA et al. (2017) simulou um incêndio em um cômodo de uma residência construída em alvenaria, contendo em seu interior uma cama de solteiro, um beliche, um guarda-roupas em madeira, eletrodomésticos e outros móveis. O incêndio teve duração de pouco mais que 45 minutos, sendo atingidas temperaturas de até 878°C.

EHRENBRING et al. (2017) inspecionou uma laje aveolar pré-fabricada de uma edificação industrial, que havia sido exposta a elevadas temperaturas devido a um incêndio ocorrido no local. Foi constatado por esse estudo que as camadas mais externas da laje foram submetidas a temperaturas da ordem de 700°C, e que o tempo transcorrido do início do princípio da chama até o início do combate foi de 30 minutos.

KERBER (2012) realizou seis simulações de incêndios em cômodos típicos residenciais, sendo três com mobília moderna e três com mobília antiga. O autor observou que nos cômodos com mobília antiga, o incêndio demorou cerca de 30 minutos para atingir seu pico, atingindo temperaturas de até 1100°C, enquanto nos cômodos com mobília moderna o tempo para atingir o pico foi de apenas cinco minutos, atingindo temperaturas da ordem de 1200°C. Destaca-se que nesse trabalho foi mostrado que o pico de temperatura durou aproximadamente cinco minutos, seguido de uma considerável redução de temperatura, devido à redução da chama por esgotamento do combustível disponível.

A ISO 834-1 de 1999 desenvolveu uma curva padrão temperatura / tempo para ensaios de simulações de incêndio, sendo definida pela seguinte fórmula:

Equação 1: Curva de incêndio da ISO 834-1 de 1999

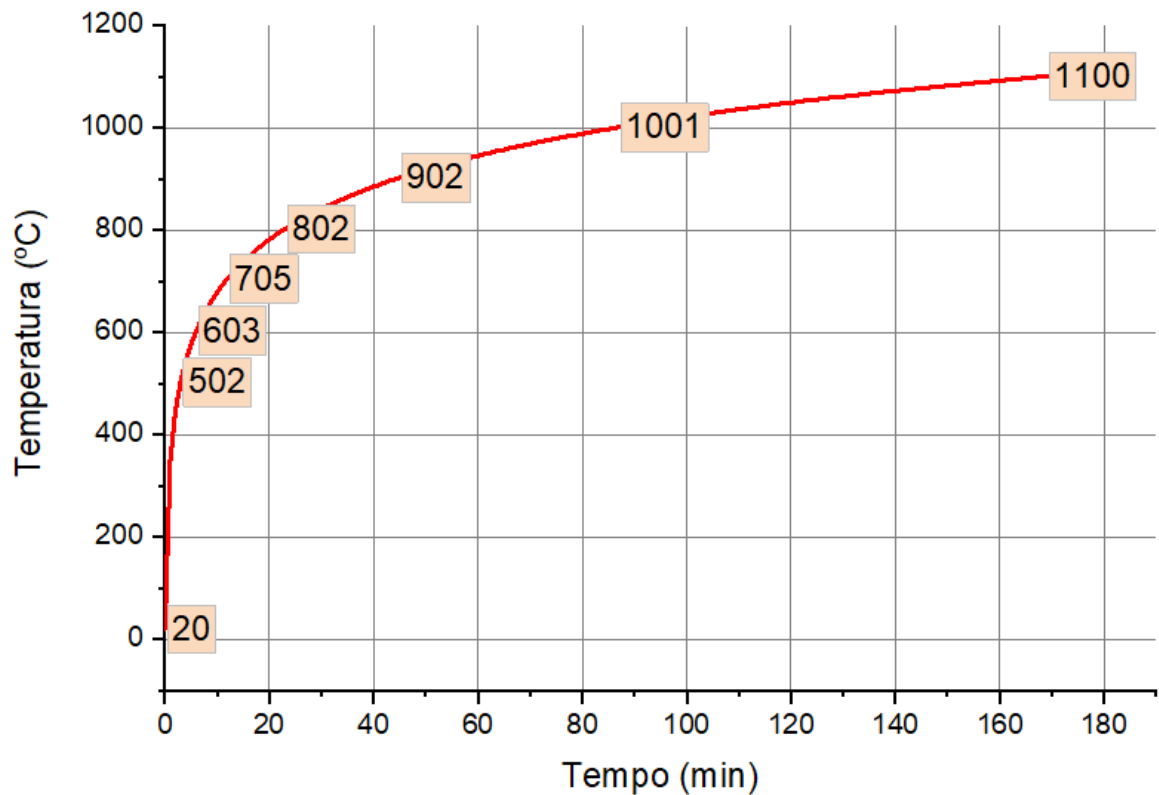
$$T = 345 * \log (8t + 1) + 20 \quad (1)$$

Onde:

T: temperatura em graus Celcius (°C)

t: duração da exposição durante o ensaio de incêndio em minutos (min)

Figura 2: Curva típica de temperaturas de incêndios padrão ISO 834-1



Fonte: ISO 834-1 de 1999 adaptado.

A ASTM E119 de 2000 também preconizou uma curva padrão de tempo-temperatura para ser utilizada em testes de simulações de incêndios. Essa curva não é descrita através de fórmula, sendo mostrada por intermédio de pontos discretos de temperatura ao longo de um intervalo de 8 horas. Seu comportamento se assemelha à curva da ISO 834-1. Segundo BUCHANAN e ABU (2017), existem várias fórmulas que tentam se aproximar do comportamento da curva da ASTM E119, sendo a equação a seguir uma das mais simples:

Equação 2: Modelo da curva de incêndio da ASTM E119

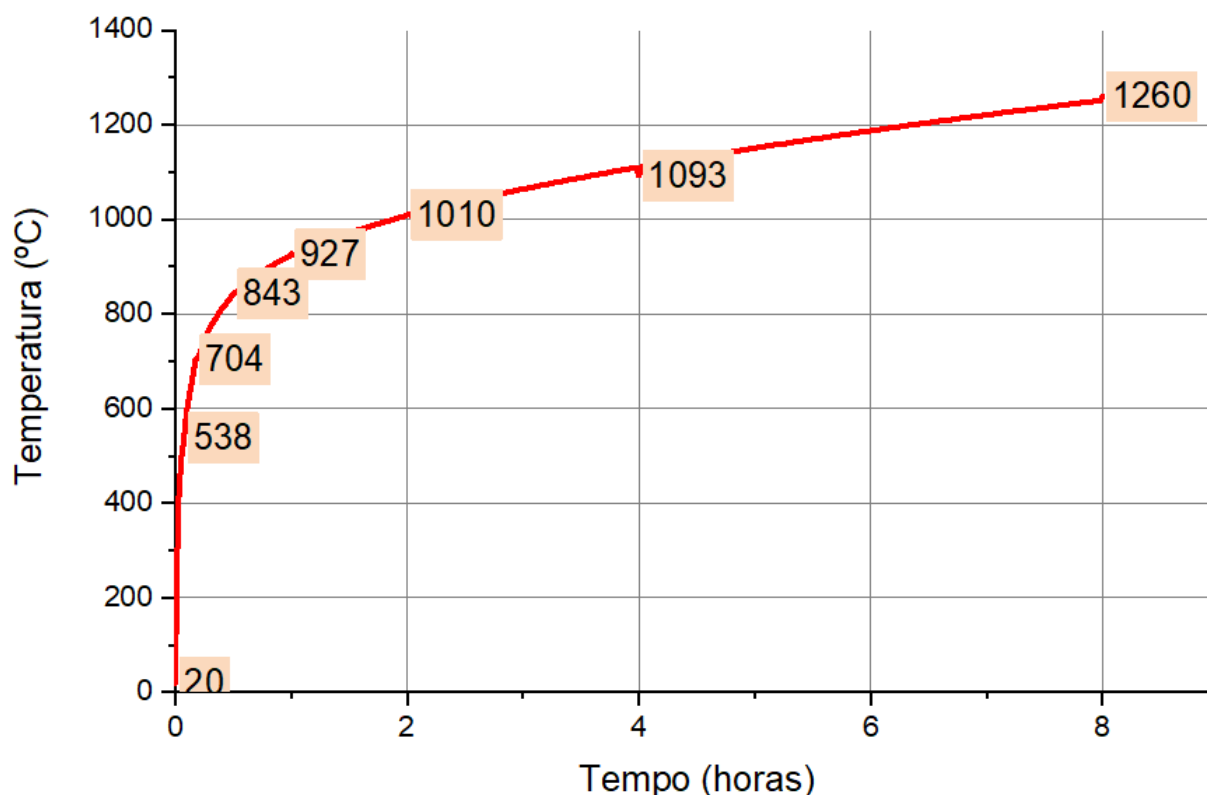
$$T_g = 20 + 750 * \left(1 - e^{-3,79553 * \sqrt{t_h}}\right) + 170,41 * \sqrt{t_h} \quad (2)$$

Onde:

T_g : temperatura em °C

t_h : tempo em horas

Figura 3: Curva típica de temperaturas de incêndios padrão ASTM E119



Fonte: ASTM E119 de 2000

Nota-se que ambas as curvas da ISO 834-1, e da ASTM E119, apesar de serem bastante utilizadas em trabalhos que avaliam situações de incêndio (NGUYEN e MEFTAH (2012), ABDALLAH (2022), LEAL et al. (2021)), possuem algumas limitações quando comparado a situações reais, visto que elas não levam em consideração as cargas de incêndio ou condições de ventilação. Além disso, essas curvas apresentam um comportamento crescente constante, ou seja, a temperatura cresce indefinidamente por um grande período de tempo ao longo da simulação, o que diverge das condições mostradas em situações reais de sinistro, onde normalmente o pico máximo de temperatura tem duração de apenas alguns minutos, seguido de um resfriamento. Mesmo com essas limitações, essas curvas são muito utilizadas como referência nesse tipo de ensaio, podendo ser citados como exemplos os trabalhos de BUSON et al. (2012) e de FERNANDES NETO (2020).

2.2 EXIGÊNCIAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM EDIFICAÇÕES

Com o intuito de avaliar o desempenho de materiais construtivos em situações de

incêndio, a norma brasileira NBR 14432 de 2001 preconizou exigências mínimas de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Dentre os conceitos introduzidos pela norma, destaca-se o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), que se trata do tempo mínimo que um elemento construtivo precisa resistir em uma situação de incêndio, garantido que a construção não colapse antes que seus ocupantes tenham chance de evacuar. Em outras palavras, cada elemento construtivo precisa resistir no mínimo o TRRF durante um sinistro de incêndio. Esse tempo depende principalmente do tipo de construção, do seu uso e da sua altura.

A Tabela 1 abaixo ilustra alguns TRRF's, de acordo com o tipo e a altura das edificações.

Tabela 1: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) em minutos

Grupo	Ocupação / Uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S2	Classe S1	Classe P1	Classe P2	Classe P3	Classe P4	Classe P5
			hs > 10 m	hs ≤ 10 m	h ≤ 6 m	6 m < h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	23 m < h ≤ 30 m	h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviço de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	60	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	60	30	60
		J-2	120	60	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR 14432 de 2001

2.3 TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

2.3.1 Conceitos gerais

De acordo com a NBR 8491 de 2012, tijolos de solo-cimento são blocos de alvenaria constituídos de uma mistura homogênea compactada e endurecida de solo, cimento Portland e água, podendo eventualmente conter aditivos e/ou pigmentos.

Segundo ABDULLAH et al. (2020), o solo é considerado o material com maior custo benefício na construção, visto que está disponível localmente em qualquer lugar do mundo e é usado a vários séculos como material de construção, além do que o seu uso pode reduzir impactos ambientais.

De acordo com MOTTA et al. (2014), o tijolo de solo-cimento, se mostra como uma boa alternativa para suprir a carência habitacional, devido ao seu baixo custo de produção, simplicidade de fabricação, além da facilidade de se executar obras com esse material.

2.3.2 Tijolos de solo-cimento em situações de incêndio

Não foram encontrados muitos estudos que analisassem detalhadamente o comportamento dos tijolos de solo-cimento quando submetidos a elevadas temperaturas. Entretanto, os poucos trabalhos encontrados obtiveram resultados promissores quanto ao desempenho desse material (FERREIRA et al. (2018); BOSON et al. (2012)) .

FERREIRA et al. (2018) estudou o comportamento ao fogo de blocos de solo-cimento com a incorporação de resíduo orgânico. Os autores verificaram que a adição de resíduo orgânico reduziu levemente o desempenho mecânico do material. Por outro lado, os blocos, ao serem submetidos a temperaturas de 200°C, 400°C e 600°C, obtiveram um incremento na sua resistência mecânica.

BUSON et al. (2012) comparou o desempenho em incêndio de paredes construídas com tijolos de solo cimento comuns e tijolos de solo cimento com adição de resíduo de papel kraft oriundo de sacos de cimento. As paredes foram submetidas a um aquecimento ao longo de 120 minutos seguindo a curva padrão da ISO 834, seguido do desligamento dos queimadores após esse intervalo. O autor concluiu que ambos os tipos de bloco apresentaram um desempenho satisfatório após a simulação, prevenindo a passagem de chamas, gases aquecidos e fumaça, apresentando apenas pequenas fissuras ao final. O autor também concluiu que as paredes feitas com tijolo de solo-cimento apresentaram um isolamento térmico bem superior ao que é recomendado pelas normas, especialmente quando comparado a ensaios com outros tipos de alvenaria.

2.4 BLOCOS E TIJOLOS CERÂMICOS COMUNS

2.4.1 Conceitos gerais

Segundo a NBR 15270-1 de 2005, blocos cerâmicos são componentes da alvenaria de vedação que possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, sendo fabricados por conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimado a elevadas temperaturas.

Segundo NEGREIROS et al. (2018), por ser um material bastante conhecido pela população, o tijolo cerâmico comum é o material de construção mais utilizado no país, apesar de gerar impactos ambientais na sua produção devido à etapa de queima inerente à fabricação desse material.

2.4.2 Blocos e tijolos cerâmicos comuns em situações de incêndio

FERNANDES NETO (2020) simulou o desempenho de paredes em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos em condições de incêndio, aquecendo os materiais em um forno por 120 minutos de acordo com a curva padrão ISO 834, atingindo um pico de 1050°C, seguido pelo desligamento dos queimadores e resfriamento dos materiais. O autor observou que os tijolos, após o ensaio, apresentavam fissuras verticais devido à dilatação térmica e à forma brusca pela qual a elevação de temperatura sucedeu. Entretanto, os mesmos blocos apresentaram uma densificação, o que reduziu sua porosidade, sua absorção de água e elevou sua resistência residual à compressão.

RIGÃO (2012) testou paredes em alvenaria de tijolo cerâmico e argamassas em sinistros de incêndio, simulando o desempenho desses materiais em testes que duraram seis horas e atingiram temperaturas máximas de 400°C e 900°C, avaliando suas resistências e densidades após o ensaio. Ao final do teste, foram observadas fissuras verticais nos tijolos cerâmicos, porém os blocos ainda apresentavam boa resistência residual.

Apesar de ser um material que na sua fabricação já passa por uma etapa de cozimento a elevadas temperaturas, os estudos analisados apontaram a ocorrência de fraturas nesse material, principalmente devido à dilatação causada pelo rápido aquecimento (FERNANDES NETO (2020); RIGÃO (2012)).

2.5 DESEMPENHO ALVENARIAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Paredes e divisórias desempenham um importante papel na segurança de um edifício em uma situação de incêndio. Para possibilitar a segura evacuação de um prédio, é necessário que as paredes apresentem uma boa resistência à chama, além de serem capazes de isolar as

elevadas temperaturas de um cômodo em chamas, impedindo o rápido aquecimento de outros compartimentos da construção. Dessa forma, foram analisados alguns trabalhos na literatura que estudassem o desempenho de paredes e alvenarias quando expostas a situações de incêndio.

FERNANDES NETO (2020) simulou o desempenho de paredes em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos em condições de incêndio, aquecendo os materiais em um forno por 120 minutos de acordo com a curva padrão ISO 834, atingindo um pico de 1050°C, seguido pelo desligamento dos queimadores e resfriamento dos materiais. O autor observou que os tijolos, após o ensaio, apresentavam fissuras verticais devido à dilatação térmica e à forma brusca pela qual a elevação de temperatura sucedeu. Entretanto, os mesmos blocos apresentaram uma densificação, o que reduziu sua porosidade, sua absorção de água e elevou sua resistência residual à compressão. Por outro lado, as argamassas utilizadas no assentamento dos tijolos apresentaram resistências residuais muito baixas após o ensaio de queima, com valores variando entre 3,7 e 7,1% da resistência original.

RIGÃO (2012) testou paredes em alvenaria de tijolo cerâmico e argamassas em sinistros de incêndio, simulando o desempenho desses materiais em testes que duraram seis horas e atingiram temperaturas máximas de 400°C e 900°C, avaliando suas resistências e densidades após o ensaio. Ao final do teste, foram observadas fissuras verticais nos tijolos cerâmicos, porém os blocos ainda apresentavam boa resistência residual. Por outro lado, as argamassas apresentaram resistência residual à compressão de 39,0 a 56,6% da sua resistência original quando ensaiadas a temperatura de 400°C, enquanto que as argamassas submetidas a 900°C não apresentaram resistência residual significativa.

BUSON et al. (2012) comparou o desempenho em incêndio de paredes construídas com tijolos de solo cimento comuns e tijolos de solo cimento com adição de resíduo de papel kraft oriundo de sacos de cimento. As paredes foram submetidas a um aquecimento ao longo de 120 minutos seguindo a curva padrão da ISO 834, seguido do desligamento dos queimadores após esse intervalo. O autor concluiu que ambos os tipos de bloco apresentaram um desempenho satisfatório após a simulação, prevenindo a passagem de chamas, gases aquecidos e fumaça, apresentando apenas pequenas fissuras ao final. O autor também concluiu que as paredes feitas com tijolo de solo-cimento apresentaram um isolamento térmico bem superior ao que é recomendado pelas normas, especialmente quando comparado a ensaios com outros tipos de alvenaria.

FERREIRA et al. (2018) estudou o comportamento ao fogo de blocos de solo-cimento com a incorporação de resíduo orgânico. Os autores verificaram que a adição de resíduo orgânico reduziu levemente o desempenho mecânico do material. Por outro lado, os blocos, ao serem submetidos a temperaturas de 200°C, 400°C e 600°C, obtiveram um incremento na sua resistência mecânica.

NGUYEN e MEFTAH (2012) testaram a resistência ao fogo de paredes construídas com tijolos cerâmicos vazados, comparando o comportamento de paredes estruturais e não estruturais com diferentes espessuras e revestimentos, usando como temperaturas de aquecimento a curva da ISO-834. Os pesquisadores observaram que as paredes não estruturais apresentaram uma maior resistência à chama do que as paredes estruturais, mantendo sua integridade por mais tempo. Isso se deve ao fato de que as paredes estruturais estavam submetidas a uma carga constante, que contribuiu para a fragmentação dos seus tijolos ao longo do aquecimento. Observou-se também que todas as paredes testadas apresentaram deformações mecânicas, dobrando-se em direção ao lado exposto ao fogo.

SCIARRETTA (2014) Fez uma análise computacional do desempenho de paredes de alvenaria estrutural submetidas ao fogo, utilizando a curva da ISO-834 como referência, comparando os resultados obtidos com outros estudos que realizaram simulações reais. No geral, os resultados obtidos na simulação foram satisfatórios quando comparados com simulações reais, especialmente na previsão do surgimento de fissuras nas paredes e a deterioração mecânica dos blocos. Esse estudo demonstra a possibilidade do desenvolvimento de softwares e algoritmos que possibilitem estudar incêndios sem a necessidade da ocorrência de um, reduzindo assim os custos de uma pesquisa dessa natureza.

RUSSO e SCIARRETTA (2013) fizeram uma revisão bibliográfica avaliando o comportamento e as propriedades mecânicas de paredes de alvenaria submetidas a elevadas temperaturas. Os autores concluíram que existe uma boa bibliografia quanto ao estudo de variados tipos de alvenaria, porém com pouco detalhamento quanto ao tipo de junta entre os blocos das paredes. Afirmaram também que há uma boa base de dados quanto ao comportamento de blocos e argamassas baseadas em cimento, enquanto há informações escassas referentes a blocos cerâmicos, à influência da espessura da parede, da forma com que a parede foi resfriada após o incêndio e da geometria dos blocos utilizados. Por fim, citaram os custos elevados dos testes empíricos dessa natureza.

DAWARE e NASER (2021) revisaram as metodologias empregadas na testagem da resistência de alvenarias ao fogo. Os autores observaram que não há uma boa padronização nos testes disponíveis na literatura, de forma que cada trabalho apresenta uma metodologia

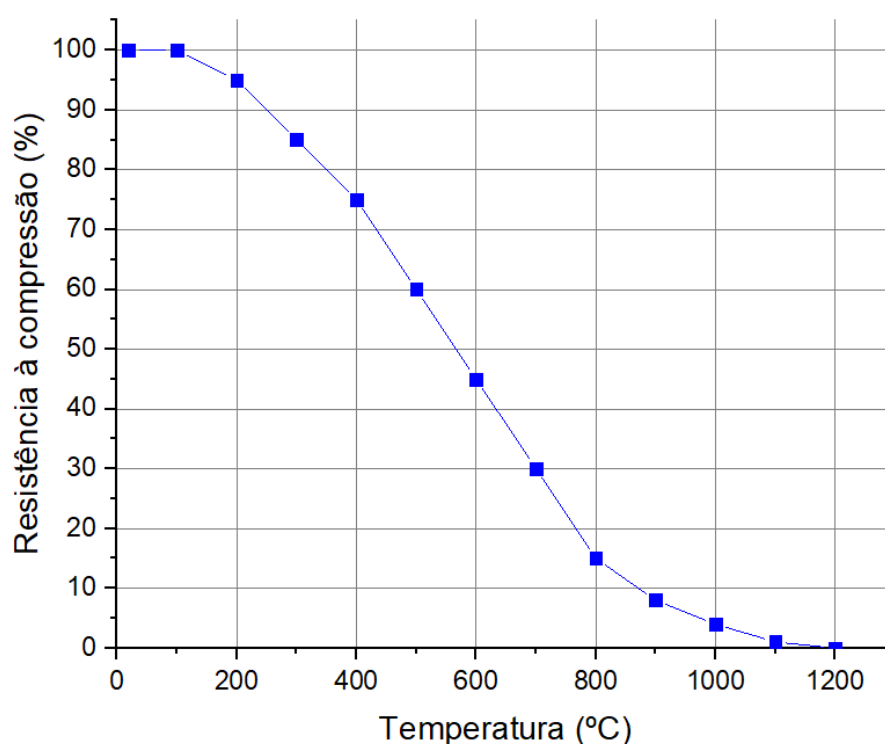
distinta, o que dificulta a criação de um modelo padrão para esse tipo de ensaio, demonstrando a necessidade da realização de mais estudos e revisões com essa temática.

2.6 MATERIAIS CIMENTÍCEOS E ELEVADAS TEMPERATURAS

Segundo BRITEZ, CARVALHO e HELENE (2020), materiais de base cimentícia apresentam perdas significativas de resistência mecânica quando submetidos a temperaturas acima de 600°C.

A NBR 15200 de 2024 estabeleceu parâmetros para fatores de redução da resistência mecânica de concretos em função da temperatura, conforme a Figura 4 abaixo:

Figura 4: Fator de redução de resistência do concreto em função da temperatura



Fonte: NBR 15200 de 2024 (adaptado)

É possível observar-se uma aceleração na perda de resistência do concreto quando as temperaturas superam a marca dos 400°C, chegando a atingir resistências muito baixas a partir dos 800°C, atingindo patamares de apenas 15% da resistência inicial da massa cimentícia.

Segundo VIEIRA e VIDAL (2016), temperaturas entre 400 °C e 600 °C promovem perda da água ligada quimicamente ao concreto, através da desidratação do hidróxido de cálcio, acarretando retração e perda de resistência do concreto, enquanto à 700°C ocorre a Dissociação do CaCO_3 (calcita) em $\text{CaO} + \text{CO}_2$. Ainda segundo os autores, a partir de 800 °C há a perda total da água de composição desse concreto.

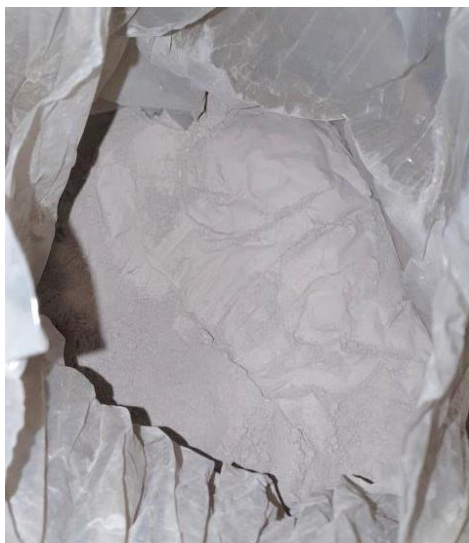
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para o estudo, foram fabricados 32 corpos de prova em solo cimento, em formato de paralelepípedo de aproximadamente 81,5 mm de comprimento, 15 mm de altura e 11 mm de largura. O cimento utilizado foi o Cimento Portland Pozolânico CP IV 32-RS, enquanto o solo foi coletado em uma fábrica de tijolos de solo cimento em Teresina (coordenada geográfica Lat. -5,082622; Lon. -42,741309). O solo utilizado já foi adquirido pronto para a fabricação, atendendo aos requisitos de NBR 10833:2012.

Para o estudo, os corpos de prova serão divididos em 04 grupos de 08 amostras, atendendo aos requisitos da NBR 8492:2012, que recomenda a utilização de pelo menos 07 corpos de prova nos ensaios de resistência mecânica.

Figura 5: Cimento Portland CP IV 32-RS



Fonte: Autor (2024)

Figura 6: Solo utilizado na fabricação



Fonte: Autor (2024)

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Fabricação dos corpos de prova

Foi utilizada uma proporção de 01 (um) volume de cimento para 08 (oito) volumes de solo argiloso, além da água. O cimento foi misturado com o solo com o auxílio de uma colher de pedreiro, sendo adicionada água até atingir a umidade ideal. Em seguida, o material foi colocado em uma forma metálica em formato de paralelepípedo, onde foi prensado em uma prensa manual.

Figura 7: Forma utilizada na fabricação

Fonte: Autor (2024)

Figura 8: Prensa utilizada na fabricação

Fonte: Autor (2024)

Após a prensa, as amostras foram ordenadas até o início do enrijecimento da pasta de cimento, e, em seguida, acondicionados sob toalhas úmidas durante o primeiro dia de cura do material. A partir do segundo dia da fabricação, os corpos de prova foram submersos em água limpa, onde foram mantidos por um período de cura de 30 dias, atendendo aos requisitos da NBR 8492:2012, que recomenda um período mínimo de 14 dias de cura.

Figura 9: Corpos de prova frescos

Fonte: Autor (2024)

Figura 10: Cura sob toalhas úmidas

Fonte: Autor (2024)

Figura 11: Cura submersa

Fonte: Autor (2024)

Figura 12: Material finalizado

Fonte: Autor (2024)

Foram fabricados 32 corpos de prova, sendo distribuídos em 04 grupos de 08 amostras, sendo eles:

- CP-0: corpos de prova não submetidos a queima;
- CP-600: corpos de prova submetidos a queima a 600°C;
- CP-850: corpos de prova submetidos a queima a 850°C;
- CP-1100: corpos de prova submetidos a queima a 1100°C.

3.2.2 Análise dimensional

Os corpos de prova tiveram suas dimensões mensuradas com uso de paquímetro, antes e depois de serem submetidos ao teste de queima, sendo verificadas eventuais mudanças de suas dimensões (largura, altura e comprimento) após o ensaio, com ênfase na alteração do comprimento das amostras após os ensaios.

3.2.3 Simulação de queima em forno

Foram realizados três simulações de queimas em fornos, com temperaturas máximas de 600°C, 850°C e 1100°C, onde foram queimados sete corpos de prova de cada um dos grupos CP-600, CP-850 e CP-1100 respectivamente. A temperatura foi elevada a uma taxa de aproximadamente 27 °C/min (aproximando-se da parte inicial da curva da ISO 834-1) até atingir a temperatura máxima de cada ensaio, sendo mantida nesse patamar por um período de 60 minutos, seguido do desligamento das resistências. As amostras foram mantidas dentro do forno até resfriarem por completo. O forno utilizado foi da marca Jung, modelo

LT 63013, ano 2014.

Figura 13: Forno utilizado no ensaio de queima



Fonte: Autor (2024)

Figura 14: Queima em andamento



Fonte: Autor (2024)

3.2.4 Perda de massa

Foi avaliada a perda de massa dos corpos de prova dos grupos CP-600, CP-850 e CP-1100 após os ensaios de queima. Antes dos ensaios de queima, as amostras de cada um desses grupos foram colocadas em estufa em temperaturas de 105 °C a 110 °C por 24 horas, sendo em seguida pesados, obtendo-se assim a massa seca inicial. Após os ensaios de queima, esse mesmo procedimento foi repetido, obtendo-se assim a massa seca final, aferindo-se assim a quantidade de massa perdida devido às elevadas temperaturas de cada uma das simulações.

3.2.5 Absorção de água

Os corpos de prova dos quatro grupos (CP-0, CP-600, CP-850 e CP-1100), após os respectivos ensaios de queima, foram secos em estufa de marca Marqlabor, modelo EES-64, a uma temperatura de 105 °C a 110 °C, até a constância da massa, obtendo assim a massa seca (m_s). Em seguida, os materiais foram submergidos em um recipiente com água, onde permaneceram por 24 horas. Posteriormente, as amostras foram enxugadas superficialmente com pano levemente umedecido e foram novamente pesados, obtendo-se assim a massa úmida (m_u). A absorção de água então foi calculada através da seguinte equação:

Equação 3: Cálculo da absorção de água

$$A = [(m_u - m_s) / m_s] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A : absorção de água em porcentagem (%)

m_s : massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas (g)

m_u : massa do corpo de prova saturado, em gramas (g)

De acordo com a NBR 8491:2012, as amostras ensaiadas não poderão apresentar índice médio de absorção de água superior a 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

3.2.6 Análise macroscópica

Os corpos de prova foram analisados macroscopicamente, a fim de descrever suas características gerais, como coloração, aparência, presença de defeitos e outros aspectos possíveis de serem observados.

3.2.7 Análise microscópica

As micrografias foram realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) com canhão a emissão por campo, marca FEI, modelo Quanta FEG 250, com tensão de aceleração de 1 a 30 kV, equipado com EDS de SDD (Silicon drift detectors), marca Bruker, modelo Quantax EDS, detector XFlash 5010, no laboratório do Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí (UFPI). As condições - energia, spot, magnificação - estão registradas na parte inferior de cada micrografia, como escala e magnificação (Notação: SE - detector de elétrons secundários ETD-SE).

Para a realização das micrografias, as amostras foram fixadas em substrato de alumínio (stub) utilizando fita adesiva dupla face de carbono e aterradas com tinta de carbono. A microanálise elementar por EDS foi obtida a 20 kV e spot size 5,5.

Através das análises, buscou-se observar as morfologias, poros, microporos e indícios de formação de fase líquida durante as queimas.

3.2.8 Análise química

A composição química quantitativa dos corpos de prova foi obtida com o uso da técnica de fluorescência de raios X (FRX). Foram retiradas pequenas lascas de dois corpos de

prova, sendo um deles do grupo CP-0 e um do grupo CP-1100. O material foi moído, peneirado em peneira de nº 200 (0,075 mm de abertura), acondicionado em eppendorf e enviado ao laboratório de materiais da Universidade Federal do Ceará (UFC) para análise. O equipamento utilizado foi o modelo Rigaku ZSX mini II – LRX.

3.2.9 Análise mineralógica

As análises mineralógicas dos corpos de prova foram realizadas através da técnica de difração de raios X (DRX), sendo utilizado o equipamento XRD-6000 da marca Shimadzu. Foram retiradas pequenas lascas de 04 corpos de prova, sendo um CP-0, um CP-600, um CP-850 e um CP-1100, sendo elas posteriormente moídas e peneiradas na peneira nº 200 (0,075 mm) antes de serem colocadas na máquina.

Figura 15: Equipamento utilizado na análise mineralógica



Fonte: Autor (2023)

3.2.10 Análise térmica

A análise térmica foi feita pela técnica de termogravimetria, através do uso do Analisador Termogravimétrico TGA-51H, da marca Shimadzu. Uma pequena lasca de um corpo de prova do grupo CP-0 foi tirada, triturada, peneirada na peneira nº 200 (0,075 mm) e

acondicionada em um cadinho de tungstênio antes de ser colocada na máquina, onde foi submetida a um aquecimento a uma taxa de 10°C/min até atingir a temperatura de 1100°C.

Figura 16: Equipamento utilizado na análise térmica

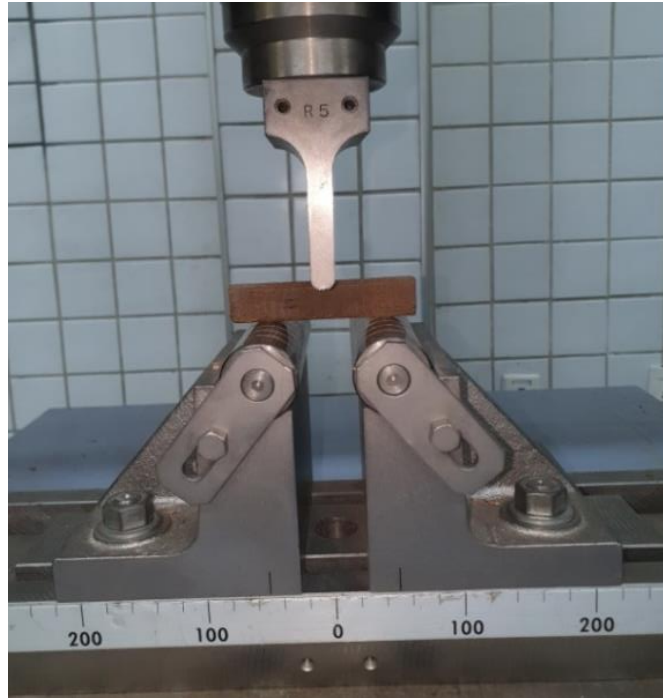


Fonte: Autor (2023)

3.2.11 Resistência mecânica

Para os testes de resistência mecânica, serão realizados testes de flexão simples de 03 pontos. Para cada grupo (CP-0, CP-600, CP-850 e CP-1100), serão utilizados 07 corpos de prova nos ensaios, conforme recomenda a NBR 8492:2012 que foram submersos em água por 24 horas antes de serem submetidos ao ensaio. A flexão ocorreu com distância de 50 mm entre os apoios e uma elevação de carga a uma taxa de 10 N/s, até a ruptura.

Figura 17: Ensaio de flexão em 3 pontos



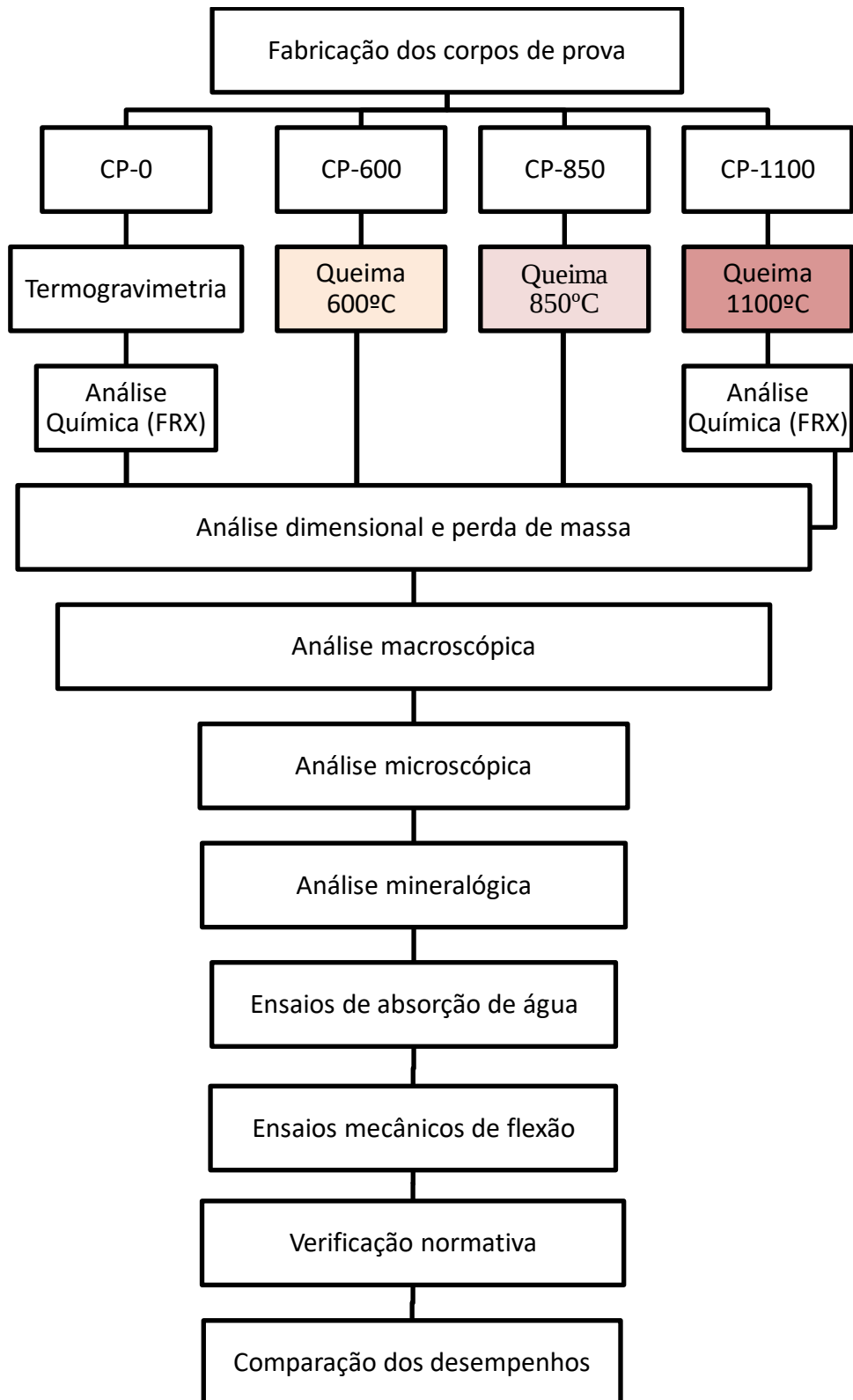
Fonte: Autor (2024)

3.2.12 Verificação normativa

Os valores obtidos nos ensaios de flexão, absorção de água e suas dimensões serão comparados, de forma adaptada, com os parâmetros requeridos pela NBR 8491:2012, que rege os requisitos mínimos para os tijolos de solo-cimento.

3.2.13 Fluxograma do trabalho

Figura 18: Fluxograma do trabalho

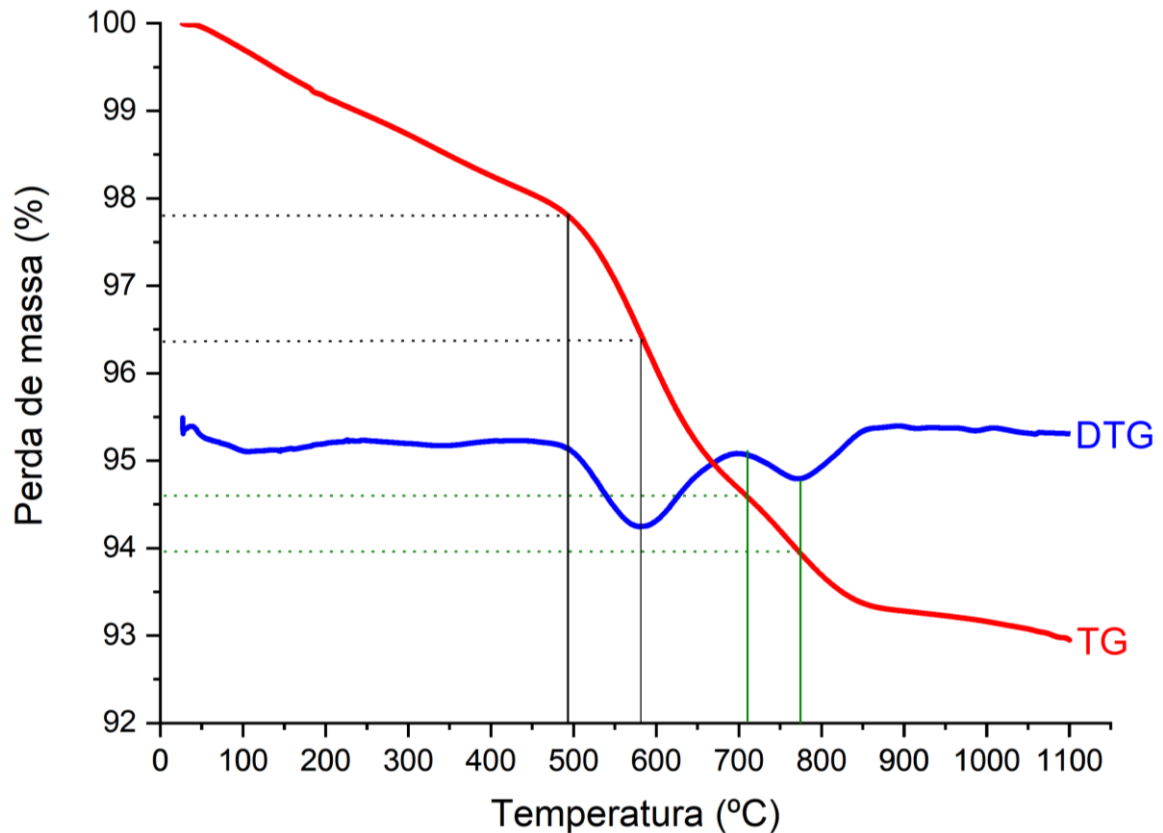


4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE TÉRMICA

A Figura 19 sintetiza os resultados obtidos na análise termogravimétrica realizada em amostra de um corpo de prova do grupo CP-0 (não queimado):

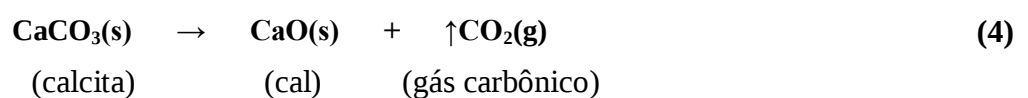
Figura 19: Curva TG / DTG



Fonte: Autor (2024)

É possível observar dois eventos térmicos importantes na faixa de temperatura entre 490 e 600 °C e na faixa entre 700 °C e 800 °C. Com base no trabalho de VIEIRA e VIDAL (2016), o primeiro evento pode indicar a perda da água de composição do argilomineral e do cimento, enquanto o segundo evento trata-se da decomposição da calcita com a saída do gás carbônico.

Equação 4: Decomposição da calcita



4.2 ANÁLISE QUÍMICA

A Tabela 2 a composição química das amostras do grupo CP-0 e do grupo CP-1100, obtidos através da fluorescência de Raios-X (FRX):

Tabela 2: Composição química do material

Elementos (%)	Amostra	
	CP-0	CP-1100
Si	40,4	44,7
Ca	26,3	25,0
Al	14,9	12,6
Fe	12,1	12,0
Ti	2,2	1,7
P	1,9	1,9
K	1,1	1,0
Mg	0,0	0,7
S	0,6	0,0
Mn	0,2	0,3
Zr	0,2	0,1
Cl	0,1	0,0
TOTAL:	100%	100%

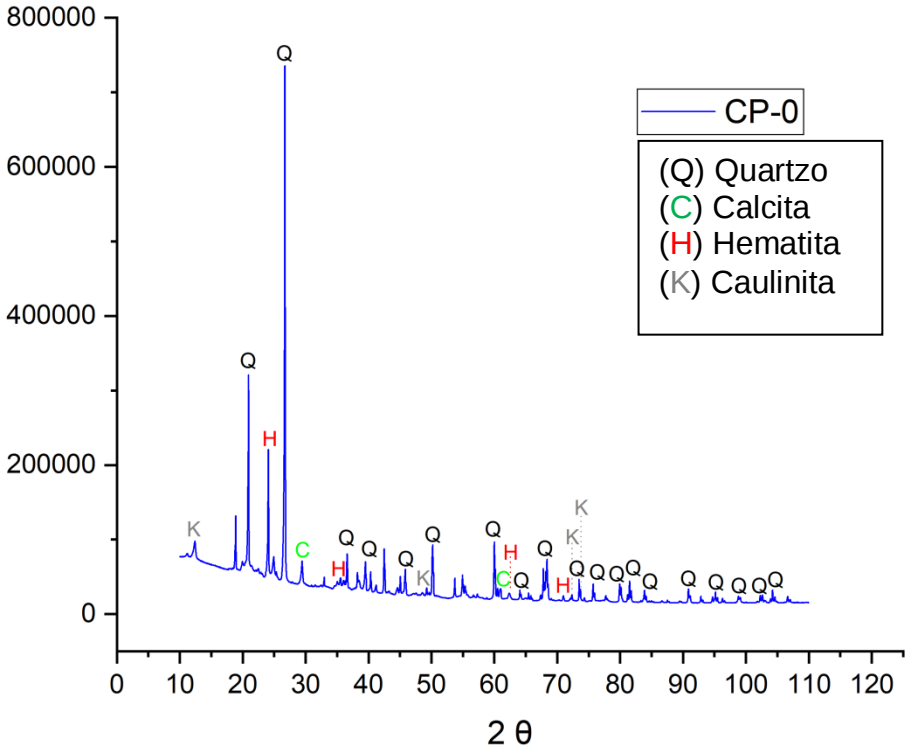
Fonte: Autor (2024)

Não foram observadas diferenças significantes entre as composições químicas das amostras queimadas e não queimadas. Constatou-se a presença de grandes quantidades de silício, cálcio, e ferro, natural de argilominerais, bem como uma quantidade considerável de ferro, típico de solos vermelhos, como o que foi utilizado na confecção dos corpos de prova. A grande quantidade de cálcio observada também é proveniente do cimento utilizado na mistura. O surgimento de magnésio da amostra queimada possivelmente é proveniente de contaminação durante o ensaio de queima, porém a quantidade observada não foi considerada significativa para o estudo.

4.3 ANÁLISE MINERALÓGICA

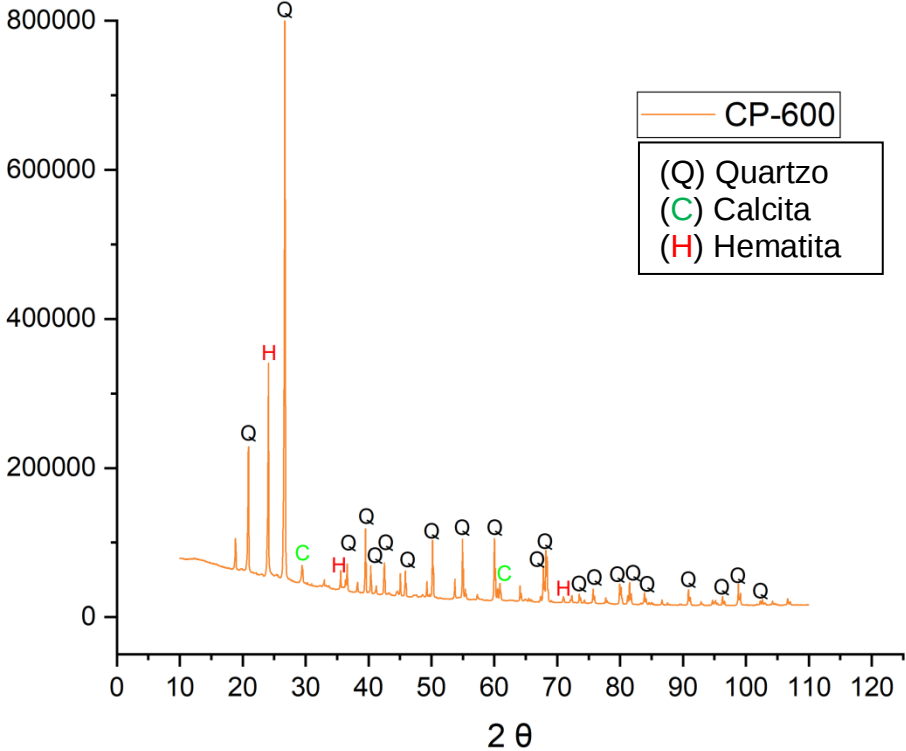
As Figuras 20, 21, 22 e 23 abaixo mostram os difratogramas de Raios-X para as amostras dos grupos CP-0, CP-600, CP-850 e CP-1100:

Figura 20: Difração de Raios-X da amostra CP-0



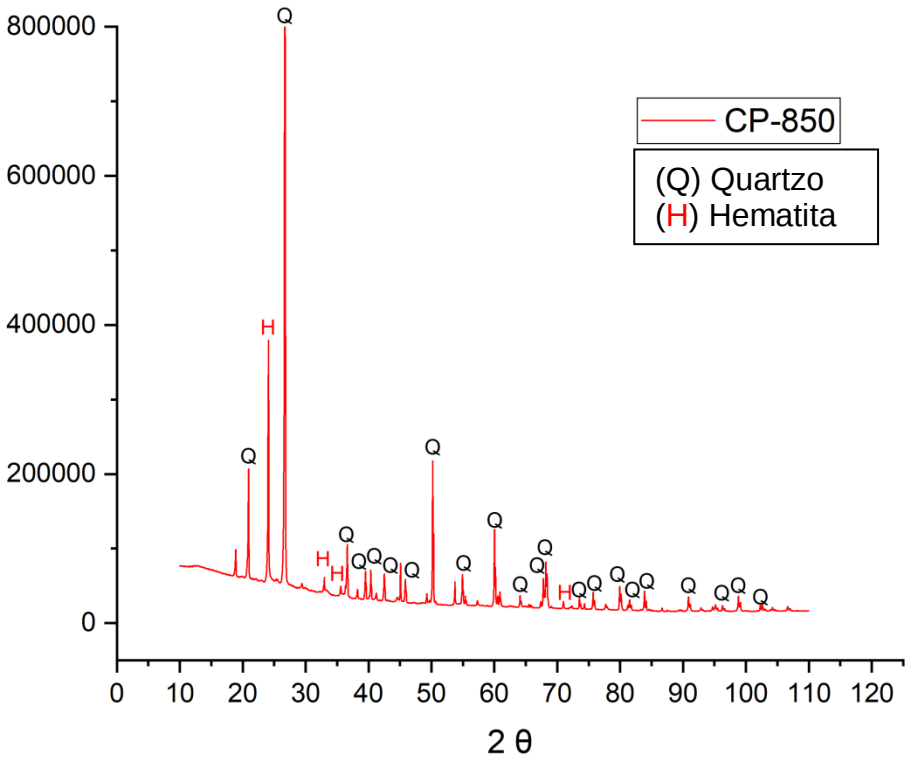
Fonte: Autor (2025)

Figura 21: Difração de Raios-X da amostra CP-600



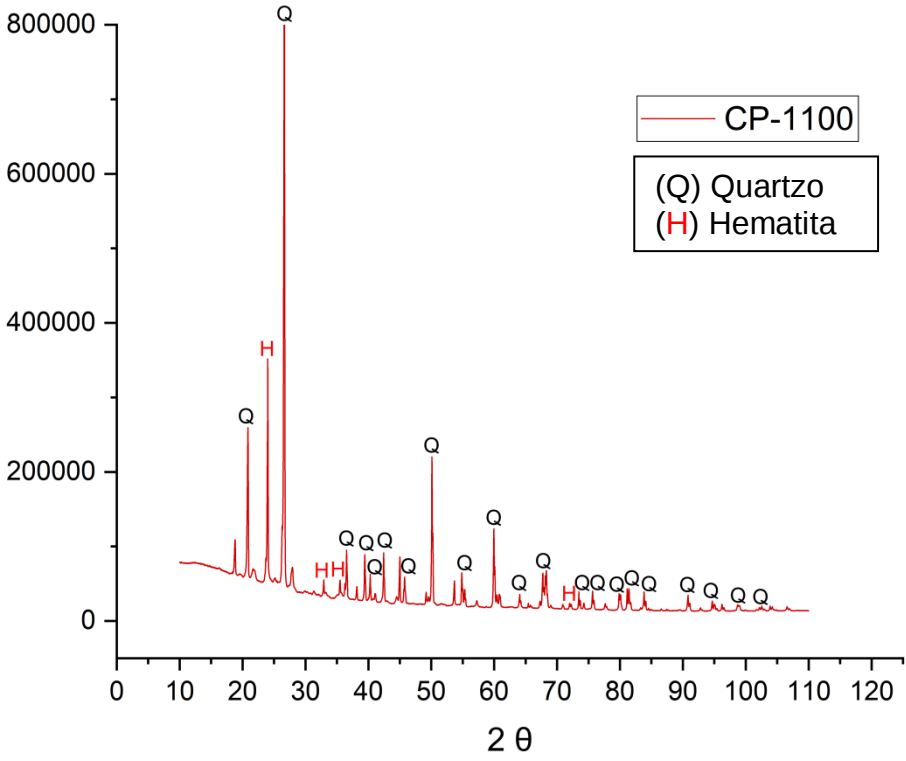
Fonte: Autor (2025)

Figura 22: Difração de Raios-X da amostra CP-850



Fonte: Autor (2025)

Figura 23: Difração de Raios-X da amostra CP-1100

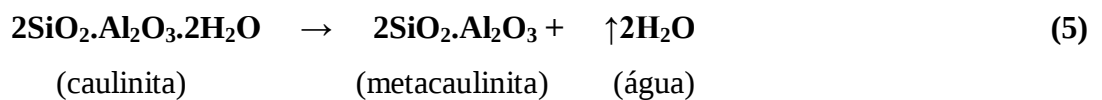


Fonte: Autor (2025)

Verificou-se no difratograma de todas as amostras a presença de picos referentes ao quartzo (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3), que é compatível com o resultado do FRX que identificou grande presença de silício e de ferro no material. Constatou-se também a presença de calcita (CaCO_3) nas amostras CP-0 e CP-600, sendo um dos principais componentes do cimento utilizado na fabricação dos corpos de prova.

Apenas na amostra CP-0 foi detectada a presença de Caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). De acordo com o trabalho de CARNEIRO et al. (2003), em temperaturas de aproximadamente 545 °C, a caulinita decompõe-se em metacaulinita, após a saída da água de composição do argilomineral, conforme a Equação (5).

Equação 5: Decomposição da caulinita

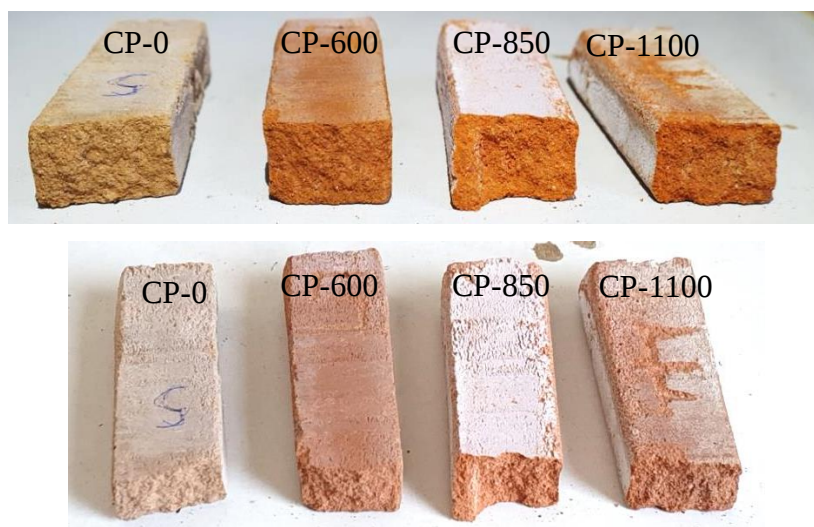


A ausência de calcita observada nos difratogramas das amostras CP-850 e CP-1100 evidencia a dissociação da calcita (CaCO_3) em cal (CaO) e gás carbônico (CO_2), que ocorre quando o material é submetido a temperaturas superiores a 700°C.

4.4 ANÁLISE MACROSCÓPICA

A Figura 24 abaixo mostra o aspecto macroscópico de uma amostra de cada um dos grupos CP-0, CP-600, CP-850 e CP-1100:

Figura 24: Aspecto macroscópico das amostras fraturadas



Constatou-se que os corpos de prova submetidos à queima apresentaram uma tonalidade mais alaranjada, enquanto o material não queimado exibia um tom próximo a um marrom acinzentado. Constatou-se também a presença de uma camada externa de eflorescência nas amostras do grupo CP-850 e CP-1100, sendo mais evidente no grupo CP-850, fato que pode ser explicado pela migração de sais de cálcio provenientes da desintegração da calcita, ocorrida em temperaturas acima de 700°C.

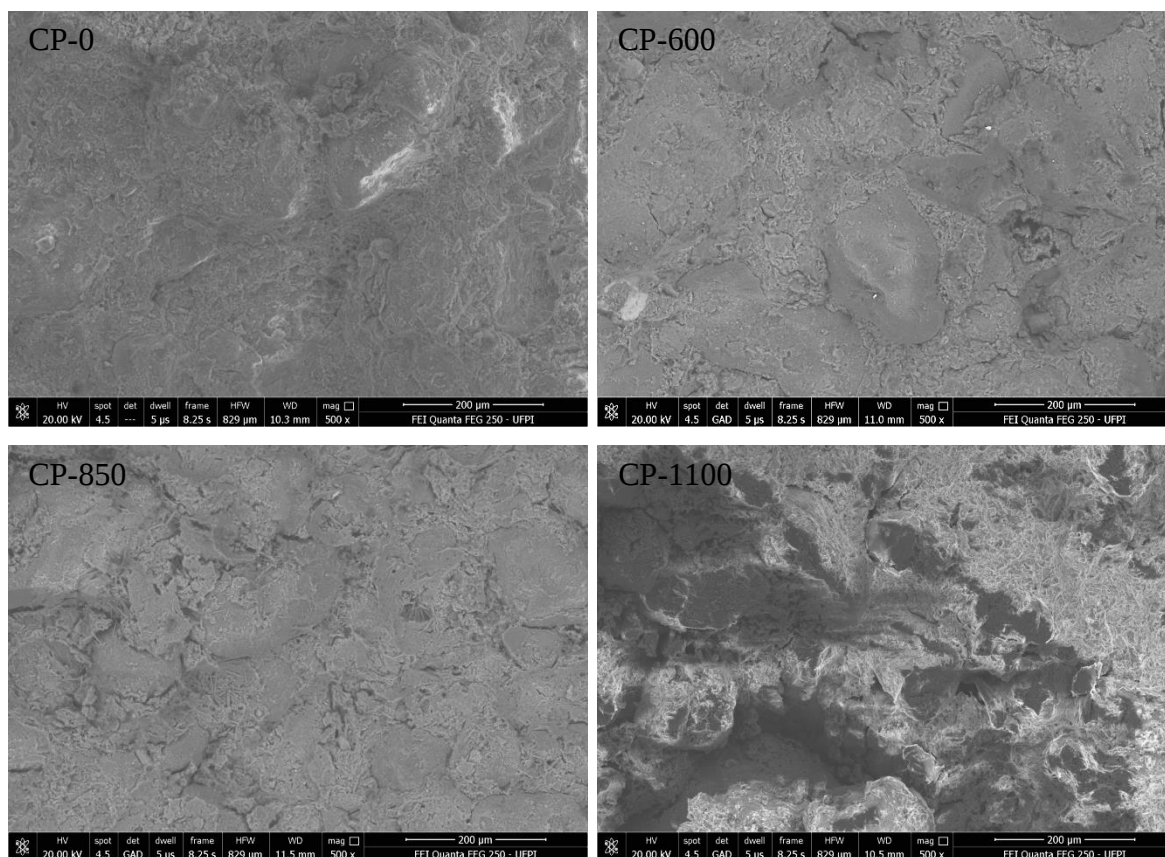
Segundo ALDEFAB, ESSA e EDAN (2020), a exposição de tijolos ao fogo afeta significativamente os efeitos de eflorescência nesses materiais, devido à migração de sais solúveis induzida pela evaporação em materiais porosos, que é afetada principalmente pela presença de sais como sódio, magnésio, potássio e cálcio. A presença de grande quantidade de cálcio nos corpos de prova produzidos pode ter contribuído para o surgimento desse efeito de eflorescência. A eflorescência menos evidente nas amostras do grupo CP-1100 pode ser explicada pela formação de uma fase líquida durante a queima desse material, que promoveu uma maior impermeabilização das amostras desse grupo quando comparado ao grupo CP-850.

Verificou-se ainda que as amostras do grupo CP-1100 apresentavam uma camada externa mais áspera com relação aos demais.

4.5 ANÁLISE MICROSCÓPICA

A Figura 25 mostra o aspecto microscópico de uma amostra de cada um dos grupos CP-0, CP-600, CP-850 e CP-1100, com uma ampliação de 500 vezes:

Figura 25: Análise microscópica (500 x) das amostras CP-20, CP-600, CP-850 e CP-1100

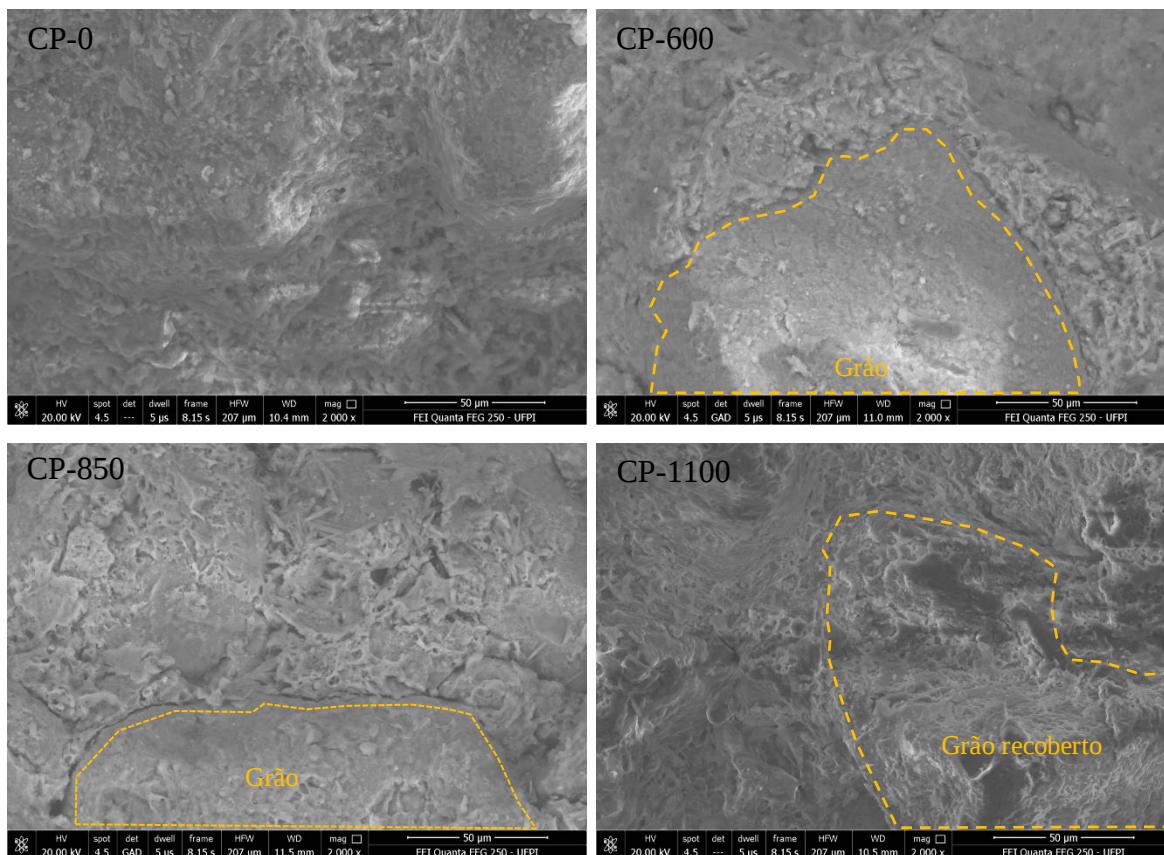


Fonte: Autor (2025)

É possível observar que a amostra do grupo CP-0 apresenta um bom preenchimento pela massa cimentícia do material, de forma que os grãos de quartzo se mostram mais discretos, encobertos pela massa. Nas amostras do grupo CP-600, é possível visualizar facilmente os grãos de quartzo, sendo constatado também um aumento no tamanho dos grãos com relação à amostra não queimada (grupo CP-0), além de uma boa preservação do cobrimento dos grãos pela massa de cimento. As amostras do grupo CP-850 exibiram uma deterioração considerável da massa cimentícia que cobria os grãos, além de uma maior separação entre os grãos e, conseqüentemente, um maior número de frestas no material. Na amostra do grupo CP-1100 observou-se um grande número de vazios, porém constatou-se a formação de uma massa de aspecto irregular recobrindo e unindo os grãos, levando a um fechamento das frestas e uma maior impermeabilização do material, indicando a formação de uma fase líquida durante a queima do corpo de prova.

A Figura 26 mostra os detalhes observados nas amostras, com uma ampliação de 2000 vezes:

Figura 26: Análise microscópica (2000 x) das amostras CP-20, CP-600, CP-850 e CP-1100



Fonte: Autor (2025)

Na Figura 26 é possível visualizar com mais clareza os detalhes citados anteriormente, sendo os grãos da amostra CP-20 com boa cobertura pela massa cimentícia; o aumento no tamanho dos grãos da amostra CP-600 com relação à amostra não queimada, além de uma boa preservação da massa cimentícia; um afastamento de grãos da amostra CP-850 e o recobrimento dos grãos da amostra CP-1100 por uma massa de formato irregular.

4.6 ANÁLISE DIMENSIONAL E PERDA DE MASSA

A Tabela 3 apresenta as dimensões físicas dos corpos de prova do grupo CP-0 (não queimado, sendo a massa seca, o comprimento, a altura e a largura:

Tabela 3: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-0

Corpo de Prova	Massa seca (g)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
CP-0 1	23,55	81,47	14,17	10,87
CP-0 2	27,32	81,43	16,20	11,16
CP-0 3	26,47	81,13	15,83	11,15
CP-0 4	26,72	81,47	15,82	11,18
CP-0 5	25,58	81,36	15,86	10,78
CP-0 6	24,52	81,25	15,03	11,04
CP-0 7	28,96	80,82	16,91	11,78
CP-0 8	26,49	81,51	15,75	10,98

Fonte: Autor (2025)

Por não terem sido submetidos a ensaios de queima, os corpos de prova do grupo CP-0 não fornecem dados sobre perda de massa ou alterações dimensionais.

A Tabela 4, 5 e 6 apresentam as dimensões físicas dos corpos de prova do grupo CP-600, CP-850 e CP-1100 respectivamente, mostrando os resultados obtidos antes e depois dos ensaios de queima:

Tabela 4: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-600

Corpo de Prova	Antes da queima				Após queima (600°C)			
	Massa seca (g)	Comp. Inicial (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Massa seca final (g)	Perda de massa após queima (%)	Comp. Final (mm)	Retração do comp. (%)
CP-600 1	23,45	81,49	14,83	10,91	22,54	3,88%	81,02	0,58%
CP-600 2	22,86	81,38	14,00	10,81	21,96	3,94%	81,10	0,34%
CP-600 3	26,14	81,40	15,32	11,21	25,13	3,86%	81,22	0,22%
CP-600 4	25,64	81,42	15,54	10,93	24,63	3,94%	81,12	0,37%
CP-600 5	24,90	81,60	15,17	10,87	24,18	2,89%	81,00	0,74%
CP-600 6	27,18	81,35	16,01	11,12	26,22	3,53%	80,93	0,52%
CP-600 7	26,30	81,32	15,40	11,09	25,35	3,61%	81,11	0,26%
CP-600 8	25,14	81,38	15,30	10,86	24,14	3,98%	80,97	0,50%
MÉDIAS:						3,70%		0,44%

Fonte: Autor (2025)

Tabela 5: Dimensões e massas dos corpos de prova do grupo CP-850

Corpo de Prova	Antes da queima				Após queima (850°C)			
	Massa seca (g)	Comp. Inicial (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Massa seca final (g)	Perda de massa após queima (%)	Comp. Final (mm)	Retração do comp. (%)
CP-850 1	26,84	81,21	15,82	11,25	25,46	5,14%	81,07	0,17%
CP 850 2	31,16	80,70	18,29	11,10	29,66	4,81%	80,65	0,06%
CP-850 3	26,89	80,97	15,94	11,09	25,56	4,95%	80,85	0,15%
CP-850 4	27,75	80,86	16,79	11,09	26,42	4,79%	80,79	0,09%
CP-850 5	24,19	80,95	14,90	11,00	22,96	5,08%	80,77	0,22%
CP-850 6	26,72	81,07	15,82	11,14	25,36	5,09%	80,83	0,30%
CP-850 7	23,93	81,59	14,61	10,90	22,68	5,22%	81,53	0,07%
CP-850 8	23,18	81,09	14,12	10,91	22,01	5,05%	81,00	0,11%
MÉDIAS:						5,02%		0,15%

Fonte: Autor (2025)

Tabela 6: Dimensões dos corpos de prova do grupo CP-1, CP-1100

Corpo de Prova	Antes da queima				Após queima (1100°C)			
	Massa seca (g)	Comp. Inicial (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Massa seca final (g)	Perda de massa após queima (%)	Comp. Final (mm)	Retração do comp. (%)
CP-1100 1	22,02	81,67	13,49	10,86	20,82	5,45%	81,23	0,54%
CP-1100 2	24,08	81,19	14,77	10,83	22,77	5,44%	80,78	0,50%
CP-1100 3	26,05	81,23	15,93	10,77	24,63	5,45%	80,71	0,64%
CP-1100 4	25,56	80,85	15,32	11,05	24,27	5,05%	80,65	0,25%
CP-1100 5	22,57	81,59	13,86	10,88	21,32	5,54%	80,97	0,76%
CP-1100 6	23,63	81,10	14,17	11,06	22,39	5,25%	80,76	0,42%
CP-1100 7	24,21	81,73	15,03	10,96	22,88	5,49%	81,02	0,87%
CP-1100 8	23,59	81,51	14,29	10,86	22,32	5,38%	80,85	0,81%
MÉDIAS:						5,38%		0,60%

Fonte: Autor (2025)

É possível observar que houve uma relação diretamente proporcional entre a elevação da temperatura de queima e a perda de massa dos corpos de prova. A perda observada no material do grupo CP-600 pode ser explicada pela desidratação do hidróxido de cálcio presente no material e pela quebra da caulinita, fenômeno que ocorre em temperaturas entre 400 °C e 600 °C, fato que também leva à retração e à perda de resistência de materiais cimentícios.

Os corpos de prova do grupo CP-850 também apresentaram uma perda de massa

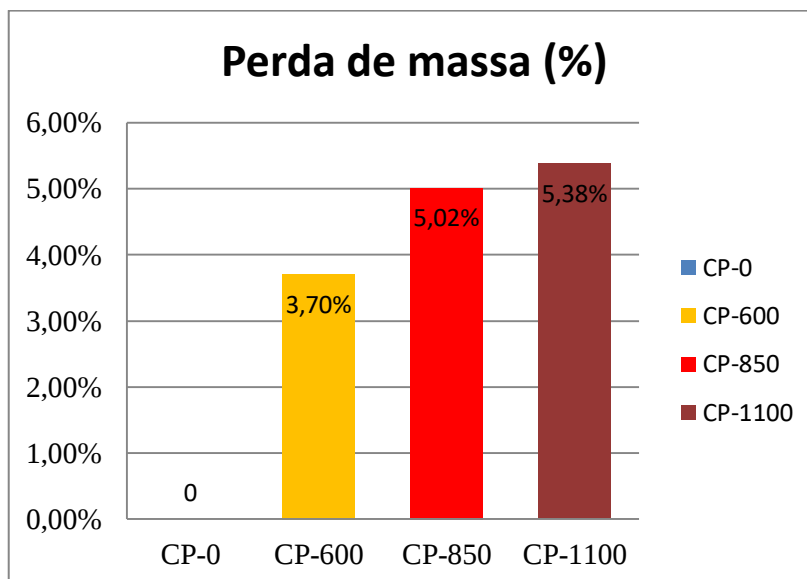
considerável quando comparado ao grupo anterior (CP-600), o que pode ser explicado pela dissociação da calcita (CaCO_3) em $\text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$, que ocorre quando o material é submetido a temperaturas superiores a 700°C . As amostras desse grupo, entretanto, externaram uma retração do comprimento inferior quando comparado aos outros dois grupos (CP-600 e CP-1100), o que pode ser explicado pelo maior afastamento entre grãos observados em sua microestrutura, o que evitou uma maior retração no comprimento dessas amostras.

As amostras do grupo CP-1100 apresentaram a maior perda de massa e retração quando comparado aos outros grupos, fato que levou à maior retração do comprimento dos corpos de prova desse grupo. Também foram observados grandes espaços vazios em sua microestrutura, evidenciando essa perda de massa observada.

Em nenhum dos grupos foram observadas retrações significativas em seus comprimentos, com diferenças inferiores a 1% do comprimento original.

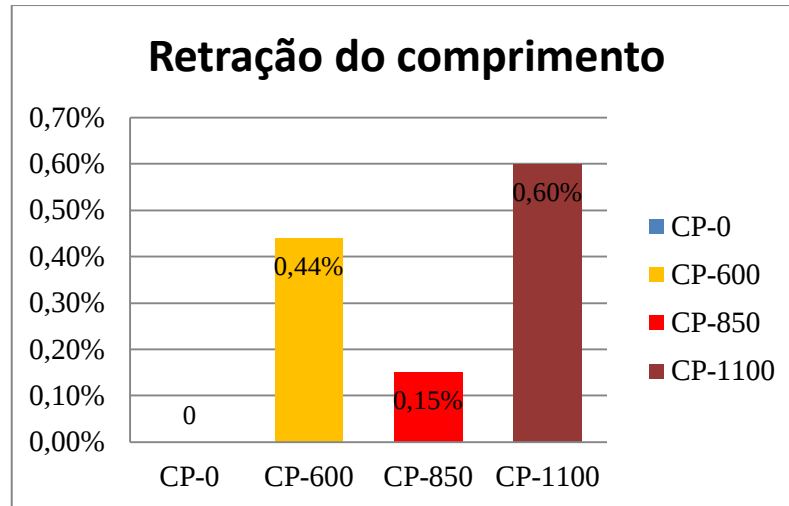
As Figuras 27 e 28 mostram o comportamento da perda de massa e da retração do comprimento dos materiais após os ensaios de queima:

Figura 27: Perda de massa dos corpos de prova após queima



Fonte: Autor (2025)

Figura 28: Retração do comprimento dos corpos de prova após queima



Fonte: Autor (2025)

4.7 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 7 resume os resultados dos ensaios de absorção de água das amostras após 24 horas de submersão.

Tabela 7: Resultado dos ensaios de absorção de água

Grupo CP-0				Grupo CP-600			
Corpo de Prova	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Absorção de água (%)	Corpo de Prova	Massa seca final após queima (g)	Massa úmida (g)	Absorção de água (%)
CP-0 1	23,55	26,15	11,04%	CP-600 1	22,54	25,49	13,09%
CP-0 2	27,32	30,40	11,27%	CP-600 2	21,96	24,87	13,25%
CP-0 3	26,47	29,28	10,62%	CP-600 3	25,13	28,26	12,46%
CP-0 4	26,72	29,75	11,34%	CP-600 4	24,63	27,82	12,95%
CP-0 5	25,58	28,48	11,34%	CP-600 5	24,18	27,25	12,70%
CP-0 6	24,52	27,28	11,26%	CP-600 6	26,22	29,36	11,98%
CP-0 7	28,96	31,95	10,32%	CP-600 7	25,35	28,45	12,23%
CP-0 8	26,49	29,44	11,14%	CP-600 8	24,14	27,30	13,09%
MÉDIA			11,04%	MÉDIA			12,72%

Grupo CP-850				Grupo CP-1100			
Corpo de Prova	Massa seca final após queima (g)	Massa úmida (g)	Absorção de água (%)	Corpo de Prova	Massa seca final após queima (g)	Massa úmida (g)	Absorção de água (%)
CP-850 1	25,46	28,87	13,39%	CP-1100 1	20,82	23,48	12,78%
CP-850 2	29,66	33,77	13,86%	CP-1100 2	22,77	25,67	12,74%
CP-850 3	25,56	29,25	14,44%	CP-1100 3	24,63	27,77	12,75%
CP-850 4	26,42	30,16	14,16%	CP-1100 4	24,27	27,29	12,44%
CP-850 5	22,96	26,26	14,37%	CP-1100 5	21,32	24,10	13,04%
CP-850 6	25,36	28,89	13,92%	CP-1100 6	22,39	25,25	12,77%
CP-850 7	22,68	25,70	13,32%	CP-1100 7	22,88	25,83	12,89%
CP-850 8	22,01	25,19	14,45%	CP-1100 8	22,32	25,06	12,28%
MÉDIA			13,99%	MÉDIA			12,71%

Fonte: Autor (2025)

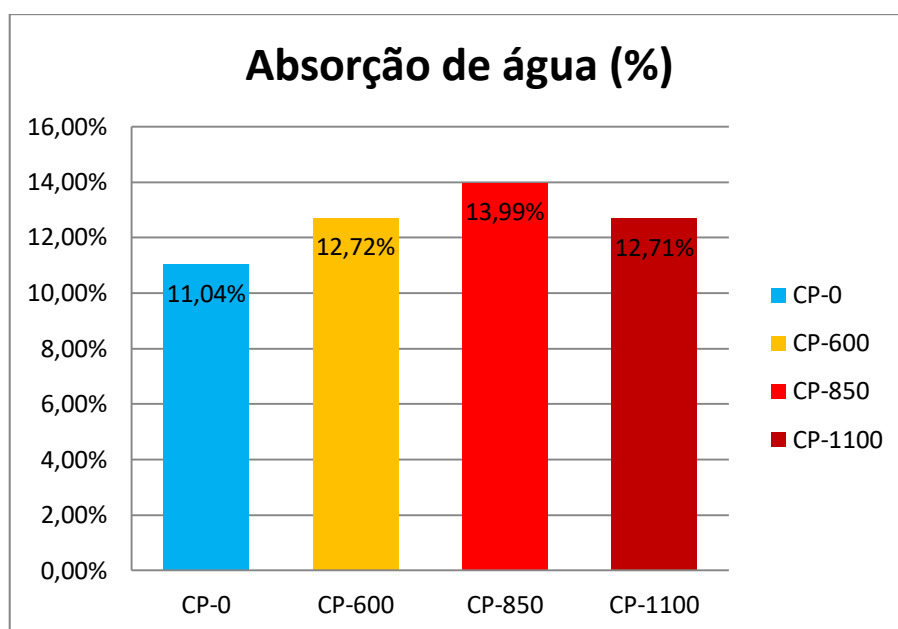
Constatou-se um aumento da absorção de água dos corpos de prova conforme o aumento da temperatura de queima, para os grupos CP-600 e CP-850. Esse aumento se deve à perda de massa e aumento dos vazios dessas amostras devido ao ensaio de queima, sendo que o grupo CP-600 sofreu com a perda da água de composição da massa cimentícia, enquanto o grupo CP-850, além da perda de água, sofreu também pela decomposição dos minerais de calcita, conforme verificado nos ensaios termogravimétricos e nas imagens da microestrutura desses materiais, que exibiram um maior número de vazios com relação à amostra não queimada (grupo CP-0).

Os corpos de prova do grupo CP-1100, apesar de apresentarem uma maior perda de massa e um maior número de vazios em sua microestrutura, obtiveram um resultado no teste

de absorção de água melhor do que o grupo CP-600 e CP-850. Conforme mostrado nas análises microscópicas, constatou-se a presença de uma massa de aspecto irregular recobrindo e unindo os grãos dessas amostras, levando a um maior fechamento de frestas e, conseqüentemente, uma maior impermeabilização desse material, reduzindo a infiltração de água durante os testes de submersão, o que evidencia a formação de uma fase líquida durante a queima desse material.

A Figura 29 ilustra as variações nos testes de absorção de água conforme as diferentes temperaturas de queima das amostras:

Figura 29: Comparativo dos ensaios de absorção de água



Fonte: Autor (2025)

4.8 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A Tabela 8 sintetiza os resultados dos ensaios mecânicos, obtidos através de testes resistências à flexões simples de 03 pontos:

Tabela 8: Resultados dos ensaios de resistência à flexão simples de 03 pontos

Corpo de Prova	Resistência à flexão (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência à flexão (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência à flexão (Mpa)	Corpo de Prova	Resistência à flexão (Mpa)
CP-0 1	2,89	CP-600 1	3,52	CP-850 1	2,36	CP-1100 1	1,49
CP-0 2	2,72	CP-600 2	3,18	CP 850 2	1,54	CP-1100 2	1,23
CP-0 3	2,48	CP-600 3	3,59	CP-850 3	1,53	CP-1100 3	1,39
CP-0 4	2,30	CP-600 4	3,16	CP-850 4	1,70	CP-1100 4	1,15
CP-0 5	3,50	CP-600 5	3,61	CP-850 5	2,18	CP-1100 5	0,98
CP-0 6	2,67	CP-600 6	3,55	CP-850 6	2,11	CP-1100 6	1,10
CP-0 7	2,27	CP-600 7	2,57	CP-850 7	2,94	CP-1100 7	1,44
MÉDIA	2,69	MÉDIA	3,31	MÉDIA	2,05	MÉDIA	1,25

Fonte: Autor (2025)

Constatou-se que a queima à temperatura de 600°C promoveu um incremento de 23,10% da resistência mecânica do material, o que pode ser explicado pela fusão de grãos de quartzo em grãos maiores, aliada a uma boa preservação da massa cimentícia, conforme mostrado na análise microscópica, onde foi possível observar a presença de grãos maiores quando comparado à amostra não queimada, e na análise mineralógica, que indicou a preservação da calcita existente na massa cimentícia.

A partir da queima à temperatura de 850 °C, constatou-se uma redução da resistência mecânica do material quando comparado às amostras CP-0, sendo verificada diminuição de 23,74% de resistência à flexão, quando comparado com as amostras não queimadas. Esse desempenho mostrou-se muito superior ao resultado esperado de materiais cimentícios.

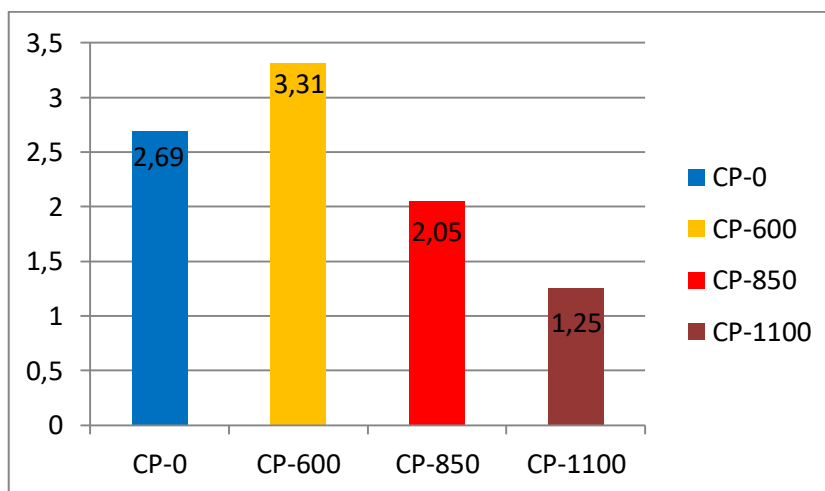
Segundo a NBR 15200:2024 e outros trabalhos como o de RIGÃO (2012) e o de Segundo BRITEZ, CARVALHO e HELENE (2020), argamassas e concretos apresentam resistências residuais insignificantes quando submetidos a queimas em temperaturas superiores a 800°C. A queda da resistência dos corpos de prova pode ser explicada pela decomposição da calcita antes existente nos corpos de prova, conforme mostrado na análise mineralógica. Entretanto, o bom desempenho observado se deve ao aumento do tamanho

dos grãos e à formação de fase amorfa, em decorrência do aquecimento da fração silto-argilosa do solo utilizado na fabricação.

Os corpos de prova do grupo CP-1100 apresentaram a maior perda de resistência mecânica, devido à desintegração da calcita e à elevada perda de massa do material, sofrendo uma redução de 53,37% em comparação às amostras não queimadas. Entretanto, mesmo após a queima, essas amostras ainda preservaram uma boa resistência mecânica, devido à formação de fase líquida durante a queima, conforme observado na microscopia, que manteve os grãos unidos, apesar do elevado número de vazios observados.

A Figura 30 mostra o comportamento da resistência mecânica média dos corpos de prova após os ensaios de queima:

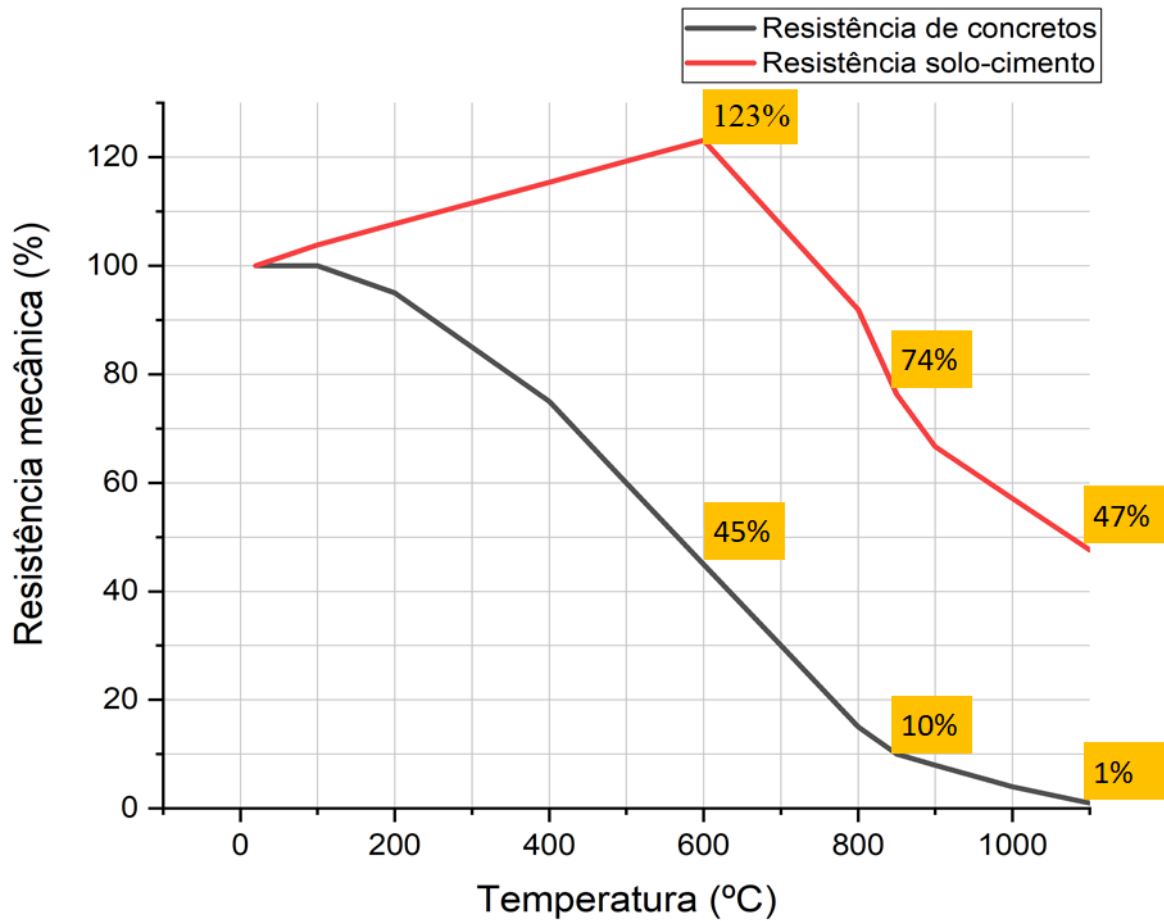
Figura 30: Comparativo das resistências médias à flexão em MPa



Fonte: Autor (2025)

Observa-se que, apesar das perdas observadas, o material estudado ainda preservou boa parte de sua resistência mecânica, principalmente quando comparado ao declínio esperado para materiais com base cimentícia, como concretos e argamassas, conforme mostrado na NBR 15200:2024. A figura 31 abaixo compara as variações nas resistências mecânicas das amostras ensaiadas, comparando com o desempenho esperado para concretos e argamassas após serem submetidos a diferentes temperaturas de queima:

Figura 31: Resistências de concretos e de solo-cimento quando submetidos a queimas



Fonte: Dados da pesquisa e NBR 15200:2024

4.9 VERIFICAÇÃO NORMATIVA

De acordo com a NBR 8491/2012, que rege os requisitos mínimos para tijolos de solo-cimento, os blocos desse material devem atender a alguns requisitos mínimos quanto às suas dimensões, resistência à compressão e absorção de água. Segundo essa norma, as amostras ensaiadas de acordo com a NBR 8492/2012:

- Devem satisfazer tolerâncias mínimas de $\pm 1,00$ mm para o comprimento, largura e altura;
- Não podem apresentar a média dos valores de resistência à compressão inferior a 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias;
- Não podem apresentar média de valores de absorção de água maior que 20%, nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias.

Devido ao uso de corpos de prova de formato não padronizado em substituição aos tijolos de solo cimento, esta pesquisa avaliou apenas a absorção de água e a resistência mecânica de forma adaptada, visto que os corpos de prova foram ensaiados em testes de flexão simples de três pontos.

Com base nesses parâmetros e nos resultados mostrados no item 4.8 deste trabalho, todas as amostras foram aprovadas no teste de absorção de água, visto os corpos de prova apresentaram individualmente uma absorção de água variando entre 10,32% e 14,45%, valores inferiores aos requisitos mínimos da NBR 8491/2012.

Em relação aos resultados dos testes de flexão, conforme mostrado no item 4,7 deste trabalho, os corpos de prova dos grupos CP-0 e CP-600 apresentaram resultados satisfatórios com relação aos parâmetros da NBR. As amostras do grupo CP-0 exibiram uma resistência média à flexão de 2,69 MPa, e uma resistência mínima individual de 2,27 MPa, valores superiores aos requisitos da norma (2,00 na média e 1,70 individual), enquanto o grupo CP-600 apresentou um desempenho superior, com uma resistência média de 3,31 MPa e uma resistência mínima individual de 2,57 MPa.

O grupo CP-850 apresentou uma resistência média de 2,05 MPa, superior ao requisito mínimo da norma. Entretanto, duas amostras obtiveram resistência individual de 1,53 e 1,54 MPa, abaixo do mínimo requerido pela NBR.

Nenhum dos corpos de prova do grupo CP-1100 superou os requisitos da norma, visto que nenhuma amostra obteve resistência individual superior a 1,70 MPa, e a resistência média do grupo foi de 1,25 MPa, inferior aos 2,00 MPa determinados pela norma.

Os resultados comparativos seguem dispostos na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9: Verificação aos parâmetros da NBR 8491/2012.

Grupo	Resistência mecânica (adaptado)		Absorção de água	
	Resistência média (MPa)	Resistência mínima individual (MPa)	Absorção de água média (%)	Absorção de água máxima individual (%)
CP-0	✓ 2,69	✓ 2,27	✓ 11,04%	✓ 11,34%
CP-600	✓ 3,31	✓ 2,57	✓ 12,72%	✓ 13,25%
CP-850	✓ 2,05	✗ 1,53	✓ 13,99%	✓ 14,44%
CP-1100	✗ 1,25	✗ 0,98	✓ 12,71%	✓ 13,04%

Fonte: Autor (2025)

5 CONCLUSÕES

Assim, face ao analisado, examinado e exposto no presente trabalho, é possível listar-se as seguintes conclusões para o estudo realizado:

- Constatou-se que as queimas resultaram em perdas de massas diretamente proporcionais à temperatura máxima às quais os corpos de prova foram submetidos, devido à perda de água de composição e à desintegração da calcita presente na massa cimentícia;
- Os blocos de solo-cimento sofrem variações em suas resistências mecânicas quando submetidos a elevações de temperatura, sendo elas positivas, em decorrência do aumento dos tamanhos dos grãos e à formação de fase líquida durante a queima, e negativas, em razão da perda de massa das amostras, devido à perda de água de composição e à desintegração da calcita;
- As amostras apresentaram incremento de 23,10% em sua resistência mecânica, quando submetidas a 600 °C, porém sofreram redução de 23,74% na resistência após a queima a 850 °C, e redução de 53,37% de resistência quando submetidos a 1100 °C, quando comparado com os corpos de prova que não foram queimados;
- Apesar das perdas de resistência observadas nas amostras submetidas a temperaturas mais elevadas, o material ainda exibiu uma boa resistência residual após os ensaios, apresentando um desempenho muito superior ao esperado a concretos, argamassas e outros materiais à base de cimento, que perdem quase totalmente sua capacidade estrutural quando submetidos a temperaturas superiores a 800°C;
- Os blocos de solo-cimento sofreram retrações de comprimento após as queimas. Os materiais submetidos a 1100 °C sofreram a maior retração, devido à perda de massa e à formação de fase líquida durante a queima, enquanto as amostras submetidas a 850 °C sofreram a menor retração, devido a um maior afastamento entre os grãos observado em sua microestrutura;
- Ocorreu um aumento na absorção de água dos materiais submetidos às queimas a 600 °C e 850 °C, devido ao aumento do número de fraturas e poros em sua microestrutura, seguido de uma queda desse parâmetro nas amostras submetidas a 1100 °C, devido à formação de fase líquida nesses corpos de prova, que levou a um certo grau de impermeabilização, fechamento de poros e fissuras;
- Com relação às orientações da NBR 8491/2012, com as devidas adaptações, as amostras do grupo CP-0 e CP-600 se adequaram aos parâmetros regidos pela norma

quanto à resistência mecânica. As amostras do grupo CP-850 se adequaram parcialmente aos requisitos de resistência mecânica, enquanto o grupo CP-1100 não atingiu os requisitos mínimos de resistência mecânica;

- Todos os corpos de prova obtiveram resultados compatíveis com os parâmetros regidos pela NBR 8491/2012 nos ensaios de absorção de água;
- Os blocos de solo-cimento apresentaram um desempenho satisfatório após os ensaios de queima, apresentando uma boa resistência residual mesmo depois de submetidos a elevadas temperaturas, o que pode indicar um bom desempenho em situações de incêndio.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, R. The influence of thermal gradients on the fire behavior of raw earth and cement stabilized bricks at various water contents. **Academic Journal of Civil Engineering**, v. 40, 2022.

ABDULLAH, E. S. R; MIRASA, A. K; ASRAH, H; LIM, C. H. Review on interlocking compressed earth brick. **2nd International Conference on Civil & Environmental Engineering**, Malasia, 2020.

ALDEFAE, A. H. H; ESSA, A. F; EDAN, A. S. Fire Resistance of Selected Construction Materials. **AIP Conference Proceedings**, v. 2213, 2020.

ALMEIDA, A. K; FRANZOLOSO, C. R. G. Projetos de Proteção e Combate a Incêndio: Segurança Como Requisito Fundamental, **UNICIÊNCIAS**, v.19, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E119: Standard Methods for Fire Test of Building Construction and Materials**. Pennsylvania, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2012.

AWOYERA, P; ONOJA, E; ADESINA, A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 21, 2020.

BOTTIN, G; PRAGER, G; GIL, A. M; TUTIKIAN, B. F; BOLINA, F. L. Estruturas de alvenaria em situação de incêndio: avaliação experimental em escala real da influência da geometria dos blocos cerâmicos no desempenho estrutural às altas temperaturas. **X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, Rio de Janeiro, 2018.

BRITEZ, C; CARVALHO, M; HELENE, P. "Ações e efeitos deletérios do fogo em estruturas de concreto. Uma breve revisão", **Revista ALCONPAT**, v. 10, 2020.

BUCHANAN, A. H; ABU, A. K. **Structural design for fire safety**. Nova Zelândia: John Wiley & Sons, 2017.

BUSON, M; LOPES, N; VARUM, H; SPOSTO, R. M; REAL, P, V. Evaluation of performance under fire of compressed earth blocks. **In: 15th International Conference on Experimental Mechanics**. Porto, 2012.

CAMPOS, J. V. A.; REIS, E. D.; DIAS, C. J.; RESENDE, H. F. Concreto em altas temperaturas: um estudo de caso sobre um incêndio em edifício residencial em Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.

CARNEIRO, B. S; ANGÉLICA, R. S; SCHELLER, T; CASTRO, E. A. S; NEVES, R. F. Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará. **Cerâmica**, v. 49, 2003.

CHATURVEDI, S; VEDRTNAM, A; YOUSSEF, M. A; PALOU, M. T; BARLUENGA, G; KALAUNI, K. Fire-Resistance Testing Procedures for Construction Elements – A Review. **Fire 2023, Fire**, v. 6, 2023.

COELHO, A. R; CAMPOS, G. C. R; SANTOS, C. C. dos; PEREIRA, H, R, S; FURLANETO, T. Influência do choque térmico por resfriamento brusco do concreto após exposição a elevadas temperaturas em simulação de incêndio. **Revista Matéria**, v. 25, 2020.

CORREA, C; BRAGA, G. C; JUNIOR, J. B; SILVA, J. J. R; TABACZENSKI, R; PIRES, T. A. Incêndio em compartimento de residência na Cidade do Recife: Um estudo experimental. **Revista ALCONPAT**, v. 7, 2017.

COUTINHO, B. A; CORRÊA, A. R. A Interpretação do Controle de Materiais de Acabamentos e de Revestimento no Processo de Segurança Contra Incêndio e Pânico. **Engineering and Science**, v. 5, 2016.

DANTAS, A. M. F. L; SOARES, R. A. L. Morfologias típicas de um incêndio e seus efeitos em paredes e blocos de alvenaria – uma revisão. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 06, 2025.

DAWARE, A; NASER, M. Z. Fire performance of masonry under various testing methods. **Construction and Building Materials**, v. 289, 2021.

EHRENBRING, H, Z; ORTOLAN, V; BOLINA, F; PACHECO, F; GIL, A. M; TUTIKIAN, B. F. Avaliação da resistência residual de lajes alveolares em concreto armado em uma edificação industrial após incêndio. **Revista Matéria**, v. 22, 2017.

FERNANDES NETO, J. A. D. **Estudo experimental do comportamento de elementos de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em situação de incêndio**. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

FERREIRA, D. M; LUSO, E. P; CRUZ, M. L; NEPOMUCENO, E. Comportamento ao fogo de blocos ecológicos de solo-cimento com incorporação de resíduos orgânicos. **6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos**. Coimbra, 2018.

FILHO, S. K; PRAGER, G. L; SILVA, P. E. M. da; BOLINA, F. L; TUTIKIAN, B. F. Comparative study of fire resistance and acoustic performance of ceramic brick walls in concern to NBR 15575 in residential buildings in Brazil. **DYNA**, v. 85, 2018.

FRAGA, Y. S. B; BARBOSA, A. Q; DORTAS, I. S; SANTOS, L. H. P; MOTA, W. V. Tecnologia dos materiais: A utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 3, 2016.

HENRY, M; SUZUKI, M; KATO, Y. Behavior of fire-damaged mortar under variable re-curing conditions. **ACI Mater. J.**, v. 108, 2011.

ISO 834-1: Fire-resistance tests: elements of building construction: Part 1: General requirements. **International Organization for Standardization**, Genebra, 1999.

KERBER, S. Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes. **Fire Technology**, v. 48, 2012.

KODUR, V. Properties of Concrete at Elevated Temperatures. **ISRN Civil Engineering**, v. 2, 2014.

KODUR, V; KUMAR, P; RAFI, M. M. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. **PSU Research Review**, v. 4, 2020.

KORNIEJENKO, K; MIERZWIŃSKI, D; SZABÓ, R; HALYAG, N. P; LOUDA, P; THORHALLSSON, E. R; MUSCI, G. The impact of the curing process on the efflorescence and mechanical properties of basalt fibre reinforced fly ash-based geopolymer composites. **MATEC Web of Conferences**, v. 322, 2020.

LEAL, D. F; DUPIM, R. H; MUNAIAR NETO, J; CORRÊA, M. R. S. Experimental investigation on structural concrete masonry in fire: emphasis on the thermal behavior and residual strength. **Ibracon**, v. 14, 2021.

LEITE, H. A. L; JÚNIOR, A. L. M; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. **Ambiente Construído**, v. 16, 2016.

LIMA, F. S. de; TREVISAN, R.; KLIPPEL FILHO, S.; VECIM, J. C.; TUTIKIAN, B. Alvenaria estrutural em situação de incêndio: influência da resistência à compressão de blocos cerâmicos. **Ambiente Construído**, v. 24, 2024.

LUCHERINI, A; TORERO, J. L. Defining the fire decay and the cooling phase of post-flashover compartment fires. **Fire Safety Journal**, v. 141, 2023.

LUHAR, S; NICOLAIDES, D; LUHAR, I. Fire Resistance Behaviour of Geopolymer Concrete: An Overview. **Buildings**, v. 11, 2021.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2014.

MOTTA, J. C. S. S; MORAIS, P. W. P; ROCHA, G. N; TAVARES, J. da C; GONÇALVES, G. C; CHAGAS, M. A; MAGESTE, J. L; LUCAS, T. de P. B. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista E-xacta**. V. 7, 2014.

MOTTA, J. C. S. S; MORAIS, P. W. P; ROCHA, G. N; TAVARES, J. da C; GONÇALVES, G. C; CHAGAS, M. A; MAGESTE, J. L; BARROSO LUCAS, T. de P. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta**, v. 7, 2014.

NARQUES, T. V. N; SILVA, T. D; MASCARENHAS, F. J. R; CANHADA, J. C. DOS S; CHRISTOFORO, A. L; CARVALHO, R. C. Influência de métodos de cálculo do TRRF na verificação de edifícios em situação de incêndio. **HOLOS**, v. 1, 2021.

NEGREIROS, R. L; NUNES, G. K. G; BISPO, M. C; MORAIS, S. A. de. Comparativo Sustentável E Econômico Entre A Utilização Do Tijolo Solo-Cimento E O Tijolo Cerâmico De Vedação Em Habitação De Interesse Social Na Cidade De Teófilo Otoni-Mg. **Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro**, v. 2, 2018.

NGUYEN, T-D; MEFTAH, F. Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part1: Experimental analysis. **Fire Safety Journal**, v. 52, 2012.

OGRODNIK, P; ZEGARDŁO, B; SZELA, G, M. The Use of Heat-Resistant Concrete Made with Ceramic SanitaryWare Waste for a Thermal Energy Storage. **Applied Science**, v. 7, 2017.

PACHTA, V; TRIANTAFYLLAKI, S; STEFANIDOU, M. Performance of lime-based mortars at elevated temperatures. **Constr. Build. Mater**, v. 189, 2018.

RIGÃO, A. O. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

RODOVALHO, F. S; CORRÊA, M. R. S; MUNAIAR NETO, J. Simulação termomecânica de prismas com blocos de concreto em situação de incêndio. **Revista Matéria**, v.25, 2020.

RUSSO, S; SCJARRETTA, F. Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties - An overview. **Fire Safety Journal**, v. 55, 2013.

SALES, C. A. S; NASCIMENTO, C. F. G; SILVA, T. M; BARRETO, L. M; LORDSLEEM JR, P. C; SOARES, W. A; BORGES, P. C; MONTEIRO, E. C. B. Resistência ao fogo de blocos de alvenaria cerâmica de vedação utilizando proteção de tinta intumescente. **Revista ALCONPAT**, v. 10, 2020.

SCIARRETTA, F. Modeling of Mechanical Damage In Traditional Brickwork Walls After Fire Exposure. **Advanced Materials Research**. V. 919-921, 2014.

SILVA, M. L; CORREA, C; OLIVEIRA, R, A. de. Risco de colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente do tipo “prédio caixaão”. **Revista FLAMMAE**, v. 1, 2015.

VIEIRA, A; VIDAL; V. V. Características residuais do concreto armado após ser submetido à situação de incêndio. **Ignis Rev. Tec. Cient CBMSC**, v. 1, 2016.

WI, S; YANG, S; BERARDI, U; KIM, S. Assessment of recycled ceramic-based inorganic insulation for improving energy efficiency and flame retardancy of buildings. **Environment International**, v. 130, 2019.

XIAO, J; XIE, Q; XIE, W. Study on high-performance concrete at high temperatures in China (2004–2016) - An updated overview. **Fire Safety Journal**, v. 95, 2018.

ZAGO, C. da S; JUNIOR, A. L. M; MARIN, M. C. Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré moldado em situação de incêndio. **Ambiente Construído**, v. 15, 2015.