

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

Guilherme Rodrigues Bonanni

**Análise das propriedades mecânicas de blocos de
concreto para alvenaria estrutural sob efeito de elevadas
temperaturas.**

Campinas
2019

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Guilherme Rodrigues Bonanni

**Análise das propriedades mecânicas de blocos de
concreto para alvenaria estrutural sob efeito de elevadas
temperaturas**

Trabalho Final de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do
título de **Bacharel em Engenharia Civil** à
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura
e Urbanismo da Universidade Estadual de
Campinas.

Orientador: Armando Lopes Moreno Junior

Campinas
2019

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Bonanni, Guilherme Rodrigues, 1995-

B64a Análise das propriedades mecânicas de blocos de concreto para alvenaria estrutural sob efeito de elevadas temperaturas / Guilherme Rodrigues Bonanni. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Armando Lopes Moreno Junior.

Trabalho final de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Blocos de concreto. 2. Incêndios. 3. Alvenaria estrutural. I. Moreno Junior, Armando Lopes, 1964-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Analysis of mechanical properties of concrete masonry blocks under high temperatures

Palavras-chave em inglês:

Concrete block

High temperatures

Structural masonry

Titulação: Engenheiro Civil

Banca examinadora:

Armando Lopes Moreno Junior [Orientador]

Carla Neves Costa

Leandro Mouta Trautwein

Data de entrega do trabalho definitivo: 12-12-2019

Análise das propriedades mecânicas de blocos de concreto para alvenaria estrutural sob efeito de elevadas temperaturas.

Guilherme Rodrigues Bonanni

BANCA EXAMINADORA

.....

Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior
Orientador

.....

Prof. Dr. Leandro Mouta Trautwein

.....

Prof^a. Dr^a. Carla Neves Costa

Aprovado em: _____

DEDICATÓRIA

À toda minha família: aos meus pais, Sergio e Rosemeire, por todo o conhecimento, sabedoria e carinho passado a todo instante; às minhas irmãs, Giovanna e Giulia, pela companhia diária que me fazem; e à minha cachorra Mel, por toda a alegria que me proporciona e por ser o ser mais incrível que já conheci.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível apenas com a ajuda de diversos profissionais, amigos e institutos de ensino da Unicamp. Gostaria de agradecer a todos que, ao menos, torceram e acreditaram em mim em algum momento. De maneira mais específica:

Ao Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Júnior, pelas ideias e orientações desde o início deste trabalho.

Ao Dr. Luciano Passos, que acompanhou praticamente todos meus ensaios e meu trabalho do início ao fim.

À M.^a Rafaela de Oliveira Amaral, integrante do grupo de pesquisa que me ajudou na organização e montagem do cronograma deste trabalho, além de compartilhar suas pesquisas e conhecimentos comigo sempre que necessário.

Ao Me. Wallison Angelim Medeiros, por compartilhar suas dicas e orientações durante as execuções dos ensaios e colaborar com toda a discussão dos resultados obtidos.

A TatuPremoldados, que forneceram os blocos de concreto tornando possível este trabalho.

A todos os profissionais do laboratório de estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, pela disposição em me ajudar nos momentos necessários.

À Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp e todos os profissionais que participaram e contribuíram diretamente e indiretamente para minha formação e crescimento pessoal.

RESUMO

Alvenaria estrutural é um sistema construtivo largamente utilizado no Brasil, em que as paredes têm função estrutural e, também, de vedação da estrutura. Frequentemente, as estruturas são atingidas por incêndios que provocam perdas de vidas e perdas econômicas. Apesar disso, ainda não há uma normalização nacional para estruturas em situação de incêndio no caso de alvenaria estrutural, uma vez que os conhecimentos e pesquisas são ainda escassos nessa área. Desse modo, este trabalho tem o intuito de avaliar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade residual de blocos de concreto submetidos a elevadas temperaturas, podendo fomentar novos estudos referentes à alvenaria estrutural em situação de incêndio e uma possível normalização desse sistema estrutural. Foram analisadas três variações de blocos de concreto: blocos com resistência nominal de 4,5 MPa e largura nominal de 14cm; resistência nominal de 10 MPa e largura de 14cm e resistência nominal de 4,5 MPa e largura de 19cm. A partir dos resultados obtidos, foi possível construir curvas de resistência residual para os três tipos de blocos de concreto. Nota-se que a classe de resistência dos blocos interfere apenas na resistência à compressão residual, mas não interfere no módulo de elasticidade residual. Por outro lado, a geometria interfere na resistência à compressão para temperaturas mais baixas do aquecimento e no módulo de elasticidade ao longo de todas as temperaturas

Palavras-chave: blocos de concreto, incêndio, alvenaria estrutural

ABSTRACT

Structural masonry is a construction system widely used in Brazil, where the walls have structural function and also sealing the structure. Often, structures are hit by fires that cause loss of life and economic loss. Nevertheless, there is still no national standardization for fire structures in the case of structural masonry, as knowledge and research is still scarce in this area. Thus, this work aims to evaluate the compressive strength and residual elastic modulus of concrete blocks subjected to high temperatures, and may promote further studies regarding the structural masonry in fire and a possible normalization of this structural system. Three variations of concrete blocks were analyzed: blocks with nominal resistance of 4.5 MPa and nominal width of 14cm; nominal resistance 10 MPa and width 14cm and nominal resistance 4.5 MPa and width 19cm. From the results obtained, it was possible to construct residual resistance curves for the three types of concrete blocks. Note that the block strength class only interferes with the residual compressive strength, but does not interfere with the residual modulus of elasticity. On the other hand, geometry interferes with compressive strength at lower heating temperatures and modulus of elasticity over all temperatures.

Keywords: concrete block, high temperatures, structural masonry

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Incêndio.....	13
2.2 Propriedades do concreto em elevadas temperaturas.....	16
2.3 Alvenaria estrutural.....	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Parâmetros de análise.....	22
3.2 Materiais.....	22
3.3 Equipamentos.....	23
3.4 Metodologia.....	23
3.4.1 Ensaio de resistência à compressão.....	25
3.4.2 Ensaio de módulo de elasticidade.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Resistência à compressão.....	28
4.2 Módulo de elasticidade.....	32
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXO A - Resumo dos resultados experimentais.....	38

1 INTRODUÇÃO

Incêndios têm grande potencial de causar mortes, além de proporcionarem perdas de propriedades devido aos danos às estruturas de concreto. Deve-se, portanto, evitar que estruturas ou partes destas entrem em colapso durante o incêndio por meio de estudos do comportamento do concreto e de seus materiais constituintes sob elevadas temperaturas.

As principais propriedades mecânicas do concreto que são afetadas por temperaturas elevadas são a resistência à compressão e seu módulo de deformação longitudinal. Fatores como a temperatura máxima, o tempo de exposição à temperatura máxima, o teor de umidade, a permeabilidade, dentre outros fatores, podem interferir na resistência mecânica do concreto quando aquecido.

Segundo estudo realizado por Ambrósio (2010), a resistência a compressão aos 300 °C é cerca de 80% a 70% em relação à temperatura ambiente dependendo do agregado utilizado. Para a temperatura de exposição de 600 °C, esses valores estão entre 50% e 40% em relação a temperatura ambiente.

Em seu mesmo estudo, Ambrósio salienta que o módulo de elasticidade sofre ainda mais interferência da temperatura. Aos 300 °C, os valores residuais de módulo de elasticidade observados foram de 65% para concreto preparado com argila expandida e de 50% para concreto preparado com calcário. Aos 600 °C, os valores residuais foram de 40% e 30% para concreto com argila expandida e calcário, respectivamente.

No entanto, essas interferências nas propriedades mecânicas referem-se a estudos com corpos de provas cilíndricos, e os trabalhos com blocos de concreto são ainda menos comuns. Tais informações comprovam a relevância da temperatura sob as propriedades mecânicas de blocos de concreto, justificando a necessidade de obtenção dos dados que este projeto pretende estudar.

Ayala (2010), em sua tese de doutorado, estudou as propriedades mecânicas residuais de blocos de concreto. Para a resistência à compressão, os valores residuais são de aproximadamente 63% para temperatura de aquecimentos de 200 °C e 55% para temperatura de 400 °C. Para o módulo de elasticidade, os valores residuais são de aproximadamente 54% para 200 °C e 45% para 400 °C.

No Brasil, as principais normas referentes às estruturas em situação de incêndio são a ABNT NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio; a ABNT NBR 14432:2000 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos e a ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Por sua vez, a alvenaria estrutural em situação de incêndio ainda não possui normalização específica. Desse modo, existe a recomendação do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, em sua Instrução Técnica 08/2011, de que seja empregado o *Eurocode 6* (2005) ou norma similar reconhecida internacionalmente.

O dimensionamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto é normalizado pela ABNT NBR15961:2011 “Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto”. No entanto, essa norma não considera a situação de incêndio, apenas especifica requisitos mínimos exigíveis para o projeto de estruturas de alvenaria de blocos de concreto, não incluindo requisitos exigíveis para evitar estados-limite gerados por ações do fogo.

Ainda não existe proposta metodológica nacional para a avaliação da resistência mecânica do concreto sob elevadas temperaturas. Internacionalmente, existe uma recomendação: a RILEM-MHT-129 (2000) “Mechanical Properties of Concrete at High Temperature”. Este trabalho pretende preencher parte desta lacuna nacional do conhecimento. O resultado final deste projeto fornecerá subsídios para futuros trabalhos que possam auxiliar em uma normalização referente a alvenaria estrutural em situação de incêndio.

1.1 JUSTIFICATIVA

Incêndios têm grande potencial de colocar vidas em riscos e causar perdas econômicas. Desse modo, o estudo das propriedades mecânicas de blocos de concretos submetidos a elevadas temperaturas é de grande importância para a segurança das edificações.

De acordo com a recomendação do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, em sua Instrução Técnica 08/2011, na inexistência de códigos normativos nacionais para estruturas em situação de incêndio, deve ser empregado o *Eurocode 6* (2005) ou norma similar reconhecida internacionalmente. No entanto, o *Eurocode*

6 foi desenvolvido a partir de materiais não utilizados no Brasil, o que pode diferenciar o comportamento das estruturas na situação de incêndio e não garantir a integridade das edificações.

Segundo o decreto estadual 63.911 (São Paulo-2018), O Serviço de Segurança contra Incêndio - SSCI é constituído pelo conjunto de Unidades do CBPMESP que têm por finalidade desenvolver as atividades relacionadas à prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco. Compete aos órgãos do SSCI realizar pesquisas em casos de incêndios e estabelecer normas complementares, regulamentando as medidas de segurança contra incêndio. Portanto, este trabalho poderá fornecer resultados que auxiliam no desenvolvimento da segurança das edificações contra incêndio.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho analisará as alterações nas propriedades mecânicas, especificamente na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, de blocos de concreto submetidos a elevadas temperaturas. Desse modo, busca-se construir curvas de resistência à compressão e do módulo de elasticidade em função da temperatura de aquecimento com o intuito de nortear futuros trabalhos referentes à alvenaria estrutural em situação de incêndio e contribuir com uma normalização desse sistema construtivo. Ademais, este trabalho analisará se a geometria e classe de resistência dos blocos de concreto interferem na resposta deste material submetido à altas temperaturas.

1.2.1 Objetivo Geral

- Verificar se existe interferência da classe de resistência nominal dos blocos de concreto em suas propriedades mecânicas residuais.
- Verificar se existe interferência da geometria dos blocos de concreto em suas propriedades mecânicas residuais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a resistência à compressão e módulo de elasticidade residual de blocos de concreto submetidos a diferentes temperaturas.
- Determinar a resistência à compressão e módulo de elasticidade dos blocos submetidos a elevadas temperaturas
- Construir curvas de resistência à compressão versus temperatura e módulo de deformação versus temperatura para cada tipo de blocos de concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Incêndio

A resistência ao incêndio de uma estrutura refere-se ao tempo em que esta continua exercendo sua função para qual foi projetada. De acordo com o Eurocode 6 Parte 1-2: 2005, os critérios de resistência da alvenaria são os seguintes:

- Isolamento térmico (I): considera a variação de temperatura na face não exposta ao fogo. É considerado atingido quando a variação é menor que 180 °C em qualquer ponto desta face, sendo ainda necessário que a variação de temperatura média seja menor que 140 °C entre a face exposta e a face não exposta ao fogo.
- Resistência mecânica (R): é satisfeito quando a estrutura mantém sua função de suporte de carga durante um determinado intervalo de tempo em exposição ao fogo.
- Estanqueidade (E): considera a capacidade do elemento em não permitir a passagem de chamas e gases. Assim, é satisfeito quando as aberturas causadas pelo fogo em um elemento não são capazes de permitir a passagem de chamas e gases.
- Impacto mecânico (M): quando um elemento de separação vertical resistir a uma carga concentrada horizontal especificada na EN 1363 Parte 2.

Cada critério acima possui sua importância para o dimensionamento das estruturas, sobretudo os três primeiros. No entanto, segundo Leite (2018), no Brasil é comum considerar apenas os critérios de estanqueidade e isolamento térmico para dimensionamento de alvenaria estrutural. A falta de normalização e informações sobre

a resistência mecânica em situação de incêndio colabora para que este critério seja muitas vezes desconsiderado.

Conforme a ABNT NBR 13860: 1997 “Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio”, o fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz. A partir de uma energia de ignição, para que o fogo continue ativo, é necessária a combinação de combustível, comburente e calor, caracterizando a teoria do Triângulo do Fogo.

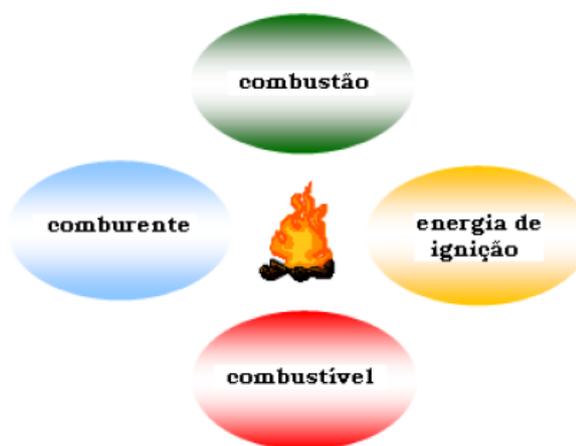


Figura 1: Agentes necessários para início de manutenção do fogo. (Fonte: Leite, 2018)

Por sua vez, incêndio é o fogo fora de controle. Uma fonte de calor aumenta a temperatura do ambiente e, a partir de radiação e convecção, as chamas são alastradas. (RIGÃO, 2012).

O incêndio pode ser dividido em quatro fases, sendo a primeira chamada de pré-ignição. Nesse momento, pode ocorrer desenvolvimento de chamas ou apenas uma combustão lenta, chamada de abrasamento. No entanto, há produção de fumaça e gases combustíveis. (SEITO, et al., 2008, p. 45).

A propagação do fogo para objetos próximos caracteriza a segunda fase do incêndio, quando ocorre o “flashover”, ocasionando uma inflamação generalizada e atingindo temperaturas mais altas.

A terceira fase representa o incêndio desenvolvido, em que todos os materiais combustíveis do ambiente entrarão em combustão. A duração desse estágio depende dos materiais e da carga de incêndio - soma das energias caloríficas que poderiam

ser liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis – do ambiente.

Finalmente, na quarta fase observa-se a diminuição da intensidade do incêndio até que este seja extinto. (SEITO et al., 2008, p. 46-47).

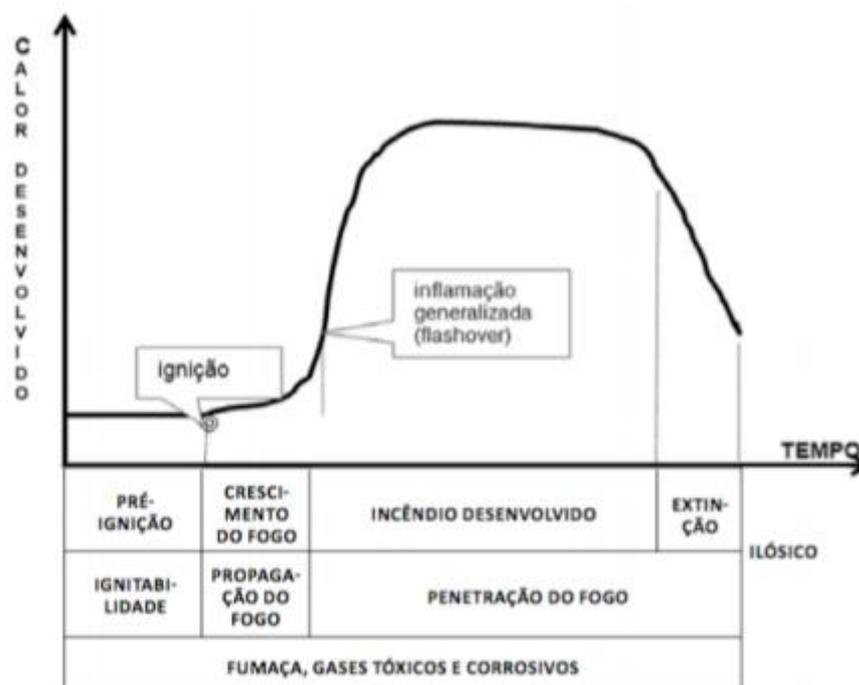


Figura 2: Curva de evolução do incêndio (fonte: SEITO et al., 2008, p. 44)

A resistência ao fogo está relacionada a quanto tempo um elemento da edificação continua cumprindo sua função para qual foi projetado em uma situação de incêndio. Essa função pode se referir ao suporte de carga como, por exemplo, vigas ou pilares, ou apenas a conter chamas, como paredes sem função estrutural.

A consideração do incêndio já na fase de projeto de uma estrutura em concreto armado ou em alvenaria estrutural colabora para que a segurança a incêndio seja atingida. Portanto, conhecer as propriedades frente a elevadas temperaturas do concreto é essencial.

2.2 Propriedades do concreto em elevadas temperaturas

Os trabalhos apresentados nesta seção são referentes ao material concreto, e não especificamente de estudos com blocos de concreto. Deve-se salientar que normalmente os blocos de concreto são fabricados com uma granulometria, traço e tipo de cimento diferentes das estruturas em concreto armado. Essa diferença pode interferir nas propriedades mecânicas residuais em uma situação de incêndio. No entanto, os estudos feitos a partir de corpos de prova cilíndricos é interessante para evidenciar as semelhanças e as diferenças existentes no comportamento entre estudos realizados com concreto e blocos de concreto.

O concreto em geral é conhecido por possuir uma alta resistência a elevadas temperaturas uma vez que este não é um material combustível e tem baixa condutividade térmica, além de não emitir gases tóxicos ao ser aquecido. Por ser uma mistura heterogênea, sua resistência frente ao fogo está estritamente ligada às diferentes características dos materiais que o compõem.

Além do traço do concreto, a mudança das propriedades devido às altas temperaturas depende do tipo de agregado usado. Agregados utilizados em concreto podem ser classificados em três tipos: carbonato, silicoso e leve. Agregados de carbonato incluem calcário e dolomita. Já os silicosos incluem granito e arenito. Os agregados leves são geralmente fabricados pelo aquecimento de xisto, ardósia ou argila (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 2008). Os agregados podem representar entre 60 e 80% do total de volume do concreto e, portanto, a escolha do agregado impacta diretamente na resistência do concreto frente ao fogo. A figura 3 mostra a relação entre resistência e temperatura para agregados de calcário e silicosos.

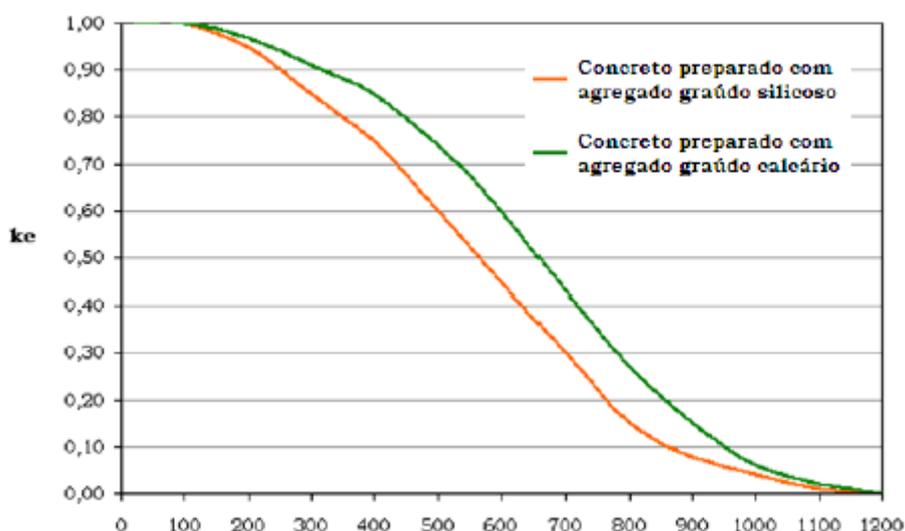


Figura 3: Fator de redução da resistência à compressão do concreto em função da temperatura (Fonte: Souza,2010)

Apesar de ambos os agregados chegarem à resistência à compressão consideravelmente nula a partir dos 1100 °C, nota-se que os que utilizam agregado silicoso possuem uma perda de resistência mais precoce. Essa diferença da perda de resistência para concretos com agregados distintos está relacionada, entre outros fatores, com a condutividade térmica de cada material.

A condutividade térmica é definida como a quantidade de calor transmitida através de uma espessura de material numa direção normal a superfície devido ao aumento de temperatura, sendo dependente da temperatura do material e medida em W/m.k. Portanto, quanto menor a condutividade térmica, menor será o aumento da temperatura do concreto quando exposto ao fogo (SPOHR,2016).

Dentre as alterações físico-químicas que ocorrem no concreto sob temperaturas elevadas, algumas são reversíveis após o resfriamento, outras são irreversíveis e podem reduzir a capacidade resistente da estrutura após o incêndio (JÚNIOR, 2011, p. 46). Segundo Khoury (1992, apud JÚNIOR, 2011), as alterações experimentadas pelo concreto sob temperaturas elevadas são:

- a) 20°C a 80°C: aumento da hidratação do cimento, perda lenta de água nos capilares e redução das forças de coesão;
- b) 100°C: aumento significativo da permeabilidade;
- c) 80°C a 200°C: aumento da taxa de perda de água capilar e água livre;
- d) 80°C a 850°C: perda da água unida quimicamente;

- e) 150°C: pico do primeiro estágio de decomposição dos hidratos de silicato de cálcio (CSH);
- f) 300°C e acima: aumento significativo da porosidade e microfissuração;
- g) 350°C: ruptura de alguns agregados do tipo seixo de rio;
- h) 374°C: temperatura crítica para a qual não é possível haver água livre;
- i) 400°C a 600°C: dissociação do Ca(OH)_2 em CaO e água;
- j) 573°C: os agregados silicosos (à base de quartzo) expandem;
- k) 700°C e acima: dissociação do CaCO_3 em CaO e CO_2 ;
- l) 720°C: segundo pico da decomposição do CSH;
- m) 800°C: os agregados calcários se decompõem;
- n) 1060°C: início da fusão de alguns constituintes do concreto.

Além das alterações físico-químicas, as interações entre os materiais também interferem nas propriedades mecânicas. Lea (1920) & Stradling (1922) *apud* Khoury (1992) estudaram fatores que podem influenciar a resistência à compressão do concreto em temperaturas elevadas. Em seus trabalhos, evidenciou-se a existência de incompatibilidade térmica entre o agregado graúdo e a pasta de cimento devido à diferença entre os coeficientes de expansão térmica dos materiais, podendo originar tensões que contribuem para o aparecimento de microfissuras na pasta de cimento, diminuindo a resistência do concreto.

Outra propriedade importante do concreto que sofre interferência da temperatura é o módulo de elasticidade. Nas temperaturas abaixo de 250 °C, a sua diminuição é proporcional à diminuição sofrida pela resistência a compressão. No entanto, segundo Landi (1986) *apud* Souza (2010), para temperaturas de 500 °C, a redução do módulo de elasticidade é de aproximadamente 50%.

Já em outros trabalhos, como no realizado por DIEDERICHS, JUMPPANEN & PENTTALA (1989), os resultados da temperatura são ainda mais intensos para o módulo de elasticidade. De acordo com a figura 4, para 500 °C o módulo de elasticidade é equivalente a 20% em relação à temperatura ambiente. Essa diferença entre os resultados encontrados por trabalhos referentes às propriedades mecânicas em altas temperaturas deve-se às diferenças nas metodologias adotadas como, por exemplo, a taxa de aquecimento, taxa de resfriamento, traços e tipos de agregados utilizados.

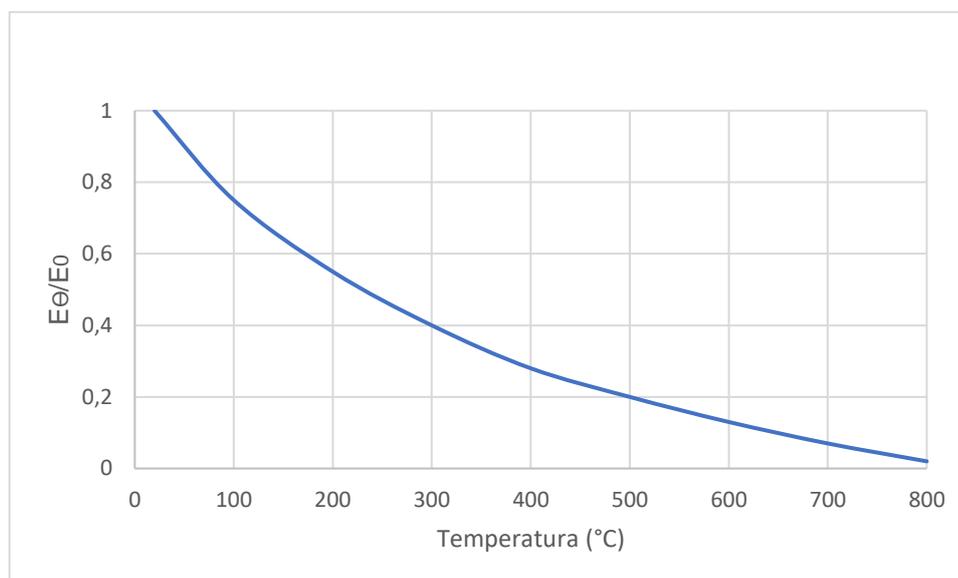


Figura 4: Módulo de elasticidade residual do concreto em temperaturas elevadas (Fonte: adap. de DIEDERICHS, JUMPPANEN & PENTTALA, 1989)

2.3 Alvenaria estrutural

De acordo com Carvalho (2019), a alvenaria estrutural foi um dos primeiros sistemas construtivos utilizados pela humanidade, sendo empregada em diversas cidades gregas, romanas e do Oriente Médio. Rosseman (2011) lembra que, com a introdução do bloco vazado de concreto, iniciaram-se a construção de pequenos edifícios com base em normas norte-americanas no Brasil a partir da década de 60. Posteriormente, a propagação desse sistema construtivo no país aconteceu de maneira bastante lenta, visto a carência das técnicas de construção e maior consagração do concreto armado.

Atualmente, fatores como rapidez de execução, qualidade e custos permitem a alvenaria estrutural ser, em muitos casos, uma metodologia viável para edificações populares e também de padrões mais elevados.

Nas construções em alvenaria estrutural, pode ser utilizado uma variedade de blocos, que possuem a função de transmitir os esforços e atenderem as especificações técnicas da edificação. Os blocos de concreto são unidades estruturais vazadas e produzidas por indústrias de pré-fabricação de concreto. Atualmente, os

blocos possuem variedade de classe de resistência e geometria no mercado nacional. A espessura das faces dos blocos também é diversificada no mercado. Neste trabalho, os blocos de geometria da figura 5 possuem espessura de 2,5 cm na parte superior e 3,0 cm na parte inferior em todas as faces. Os blocos de geometria da figura 6 possuem espessura de 3,0 cm na parte superior e 3,5 cm na parte inferior em todas as faces.

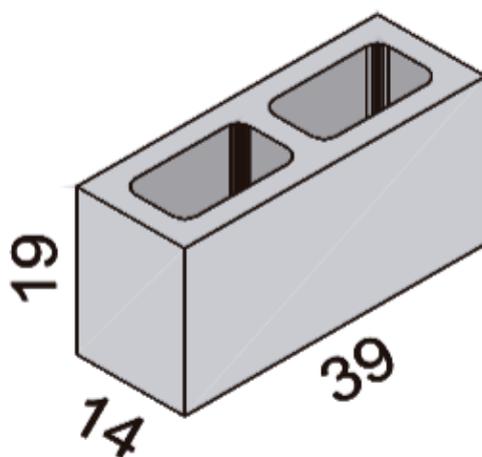


Figura 5: bloco de concreto 14x19x39 cm (Fonte: Linha de blocos Tatu PreMoldados.
Disponível em: http://www.tatu.com.br/pdf_novo/linha_de_blocos.pdf)

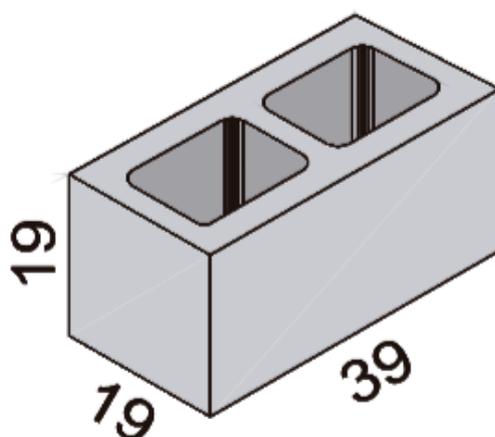


Figura 6: bloco de concreto 19x19x39 cm (Fonte: Linha de blocos Tatu PreMoldados.
Disponível em: http://www.tatu.com.br/pdf_novo/linha_de_blocos.pdf)

Além dos blocos, a alvenaria estrutural é composta pela argamassa de assentamento e eventual armadura de aço. A resistência ao fogo das estruturas em alvenaria estrutural é, portanto, dependente do comportamento de cada um destes componentes separados e em conjunto.

Ayala (2010) estudou diversos parâmetros que influenciam a resistência ao fogo de paredes de alvenaria compostas por blocos de concreto de agregados leves. Ayala destaca que o comportamento das paredes de alvenaria em situação de incêndio é influenciado pelas propriedades mecânicas e térmicas dos diversos elementos que compõem a alvenaria.

No Brasil, o dimensionamento de alvenaria estrutural em situação de incêndio muitas vezes segue algumas referências tradicionais, visto a falta de um código a ser utilizado. O Manual Técnico de Alvenaria (1990) é uma dessas referências, em que as paredes de alvenaria podem ser categorizadas em corta-fogo (enquanto atenderem aos requisitos de estanqueidade e isolamento térmico), para-chamas (enquanto atenderem aos requisitos de estanqueidade). A tabela 1 apresenta os valores requeridos para essa categorização para diferentes tipos de blocos.

Tabela 1 - Resistência ao fogo de blocos de concreto e cerâmico de acordo com o Manual Técnico de Alvenaria

Bloco	Espessura (cm)	Revestimento	Características		
			Corta-fogo	Para chamas	Estável ao fogo
Concreto vedação	19	Argamassa 2 cm na face exposta ao fogo	4 h	-	-
Concreto estrutural	14	-	1 h	4 h	4 h
Cerâmico vedação	9	1,5 em cada face	1,5 h	2 h	2 h
Cerâmico estrutural	14	Gesso 3 mm na face exposta ao fogo	2 h	4 h	4 h
Cerâmico estrutural	14	-	1,5 h	2 h	2 h
Cerâmico estrutural	14	1,5 cm em cada face	2 h	3 h	3 h

Fonte: Leite,2018

O Eurocode 6 EN 1996 (2005) também apresenta o tempo requerido para alvenaria estrutural resistir a uma situação de incêndio para cada critério de resistência. No entanto, esse tempo é função do agregado utilizado e da classe de resistência do bloco. A utilização dos valores apresentados no Eurocode 6 pode não garantir a segurança das estruturas nacionais em alvenaria estrutural devido às diferenças dos materiais utilizados, como geometria do bloco, e do controle de qualidade existente.

Sobre as propriedades dos materiais que compõem uma parede de alvenaria, Russo e Sciarretta (2013) salientam que as principais informações a serem estudadas em estruturas em situação de incêndio são a resistência a compressão e o módulo de deformação. Além disso, os autores lembram que a condição do material após a exposição a altas temperaturas é afetada por diversas variáveis do incêndio como, por exemplo, a temperatura máxima atingida, a taxa de aquecimento, a duração do incêndio e também o resfriamento do material.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Parâmetros de análise

Neste trabalho, foram definidas como parâmetros a serem analisados a temperatura máxima de aquecimento, a classe de resistência e a geometria dos blocos. A taxa de aquecimento, a taxa de resfriamento e o tempo de exposição à temperatura máxima foram definidas como parâmetros constantes em todos os ensaios.

3.2 Materiais

Os blocos de concreto foram fornecidos pela empresa Tatu PreMoldados, com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento) e 19 x 19 x 39 cm. Os blocos de 14 x 19 x 39 cm possuem resistência nominal de 4,5 MPa e 10 MPa; enquanto que os blocos de 19 x 19 x 39 cm possuem apenas resistência de 4,5 MPa.

3.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para realização dos ensaios foram:

- Forno elétrico;
- Termopares;
- Extensômetro;
- Aquisitor de dados;
- Prensa mecânica.

3.4 Metodologia

A figura 7 representa um fluxograma da metodologia de ensaios utilizado neste trabalho.



Figura 7: Fluxograma da metodologia de ensaios

Para cada temperatura de aquecimento (100 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C, 900 °C e temperatura ambiente de referência) mede-se resistência à compressão e o módulo de elasticidade do bloco a fim de se obter as curvas de relação dessas propriedades mecânicas com a evolução da temperatura.

Os blocos são colocados no forno elétrico, como demonstrado na figura 8, onde são aquecidos a uma taxa de 1 °C/min – taxa recomendada pela RILEM-MHT-129 (2000) - até a temperatura desejada, na qual ficam submetidos por 1 hora, e resfriados na mesma taxa de 1 °C/min. A figura 9 representa um exemplo do aquecimento do forno elétrico para a temperatura de 900 °C.



Figura 8: Blocos de concreto dispostos no forno elétrico (Fonte: Autor)

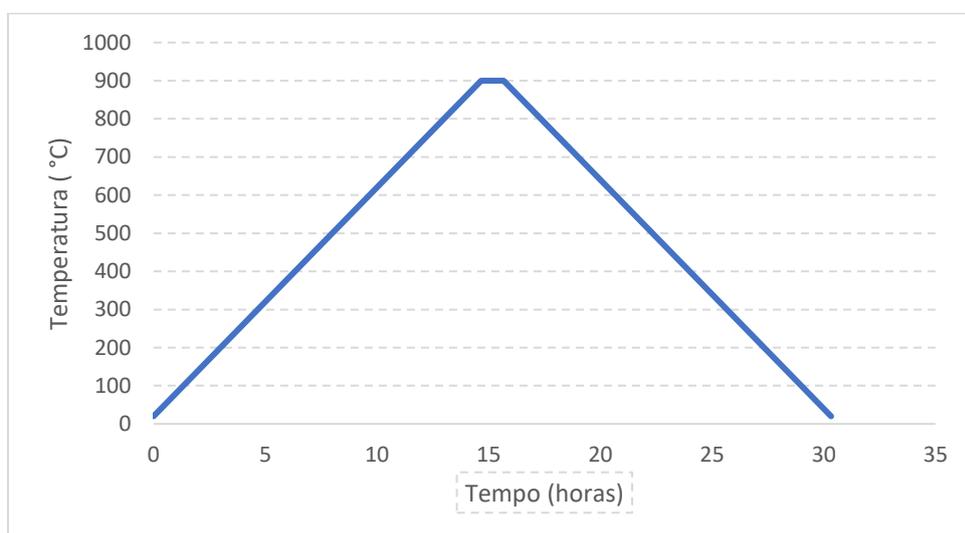


Figura 9: Exemplificação da taxa de aquecimento do forno para temperatura de 900 °C.

Após o aquecimento, os blocos são armazenados em sacos plásticos para evitar alterações em sua umidade antes dos ensaios.



Figura 10: Blocos armazenados após o aquecimento (Fonte: Autor)

3.4.1 Ensaios de resistência à compressão:

Posteriormente ao resfriamento, os blocos são submetidos aos ensaios de compressão e módulo de elasticidade. As temperaturas analisadas foram, 20°C, 100°C; 300°C; 500°C; 700°C e 900°C. Nota-se que a temperatura de 20°C refere-se aos blocos de controle na temperatura ambiente e, portanto, não são aquecidos.

Para cada temperatura de análise, são utilizados cinco blocos de concreto, sendo que dois deles são utilizados apenas no ensaio de resistência à compressão e os outros três são utilizados tanto para resistência a compressão como também para o módulo de deformação. A utilização de dois blocos exclusivamente para o ensaio de resistência à compressão deve-se a necessidade de estimar a resistência média dos blocos, parâmetro usado durante o ensaio de módulo de deformação.



Figura 10: Ensaio de resistência à compressão em bloco de concreto (Fonte: Autor)

Os ensaios a compressão seguiram as exigências da ABNT NBR 12118: 2013 “Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Métodos de ensaio”. Durante o carregamento do corpo de prova, a tensão aplicada pela prensa, sempre em relação a área bruta, seguiu as seguintes orientações:

- Para blocos com resistência característica especificada superior ou igual a 8MPa, a tensão deve aumentar progressivamente no valor de $(1,5 \pm 0,3)$ kgf/cm².s
- Para blocos com resistência característica especificada inferior a 8 MPa, a tensão deve aumentar progressivamente no valor de $(0,5 \pm 0,1)$ kgf/cm².s

Assim, os blocos de resistência nominal de 4,5 MPa e geometria de 14x19x39 cm foram carregados com uma velocidade de $(0,3 \pm 0,1)$ tf/s. Os blocos de resistência

nominal de 4,5 MPa e geometria de 19x19x39 cm foram carregados com uma velocidade de $(0,4 \pm 0,1)$ tf/s. Os blocos de resistência nominal de 10 MPa e geometria de 14x19x39 cm foram carregados com uma velocidade de $(0,8 \pm 0,2)$ tf/s.

Os valores da resistência a compressão serão apresentados na seção “4- Resultados e Discussão” utilizando as médias dos resultados (f_{bm}) e também com os valores característicos (f_{bk}) calculados a partir da equação (1) conforme a NBR 6136:2016 “Blocos vazados de concreto simples para alvenaria-Requisitos”.

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

sendo

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

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar;

onde

f_{bk} é a resistência característica estimada da amostra;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ 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, isto é, igual a 5 neste trabalho.

3.4.2 Ensaios de módulo de elasticidade

Os ensaios de módulo de elasticidade seguiram as metodologias apresentadas na NBR 8522:2017 “Concreto-Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão”, que se refere a corpos de prova cilíndricos, e na ABNT NBR 15961: 2011 “Alvenaria estrutural-Bloco de concreto”, que se refere a prisma e pequenas paredes. Os resultados de módulo de elasticidade deste trabalho referem-se ao módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}).

E_{ci} = módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial, considerado equivalente ao módulo de deformação secante ou cordal entre σ_a , equivalente a 0,5 MPa, e 30% de f_c . (ABNT NBR 8522,2017)

F_c = é a resistência média à compressão de pelo menos dois corpos de prova similares aos destinados à determinação do módulo de elasticidade ou deformação. (ABNT NBR 8522,2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência à compressão

Os blocos de resistência nominal de 4,5 MPa apresentaram resistência média de 7,7 MPa (blocos com largura de 14 cm) com desvio padrão de 0,9 MPa e 5,8 MPa (blocos com largura de 19 cm) com desvio padrão de 0,6 MPa à temperatura ambiente, isto é, sem serem aquecidos anteriormente. Já os blocos de resistência nominal de 10 MPa apresentaram resistência média de 22,4 MPa com desvio padrão de 2,8 MPa. Esse fato está relacionado à necessidade das empresas de estocar blocos por pouco tempo, isto é, os blocos são dosados para que atinjam resistência nominal mais rapidamente e, ao longo do tempo, a resistência final atingida é muito maior que a nominal.

De acordo com a figura 11, nota-se a queda de resistência diferenciada entre as classes de resistência nominal 4,5 MPa e 10 MPa de mesma geometria. Os blocos de 10 MPa não sofrem uma queda de resistência para temperatura de 100 °C.

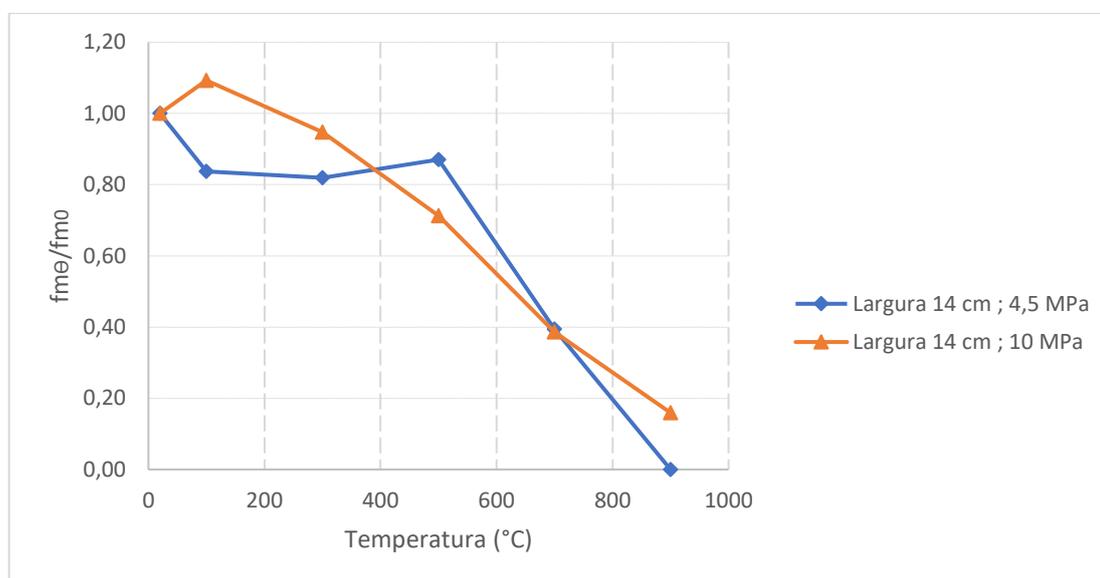


Figura 11: Resistência residual média à compressão de blocos de concreto em função da temperatura.

Com o aquecimento do concreto, ocorre inicialmente perda de água capilar, originando pequenas tensões, e aumento da hidratação do cimento em temperaturas baixas, isto é, até 100 °C. Assim, pelo fato dos blocos de resistência nominal de 10 MPa ter um traço diferente com, possivelmente, menor relação água/cimento, as tensões originadas inicialmente são menores e os efeitos da hidratação do cimento são mais significativos, tornando inexistente a perda de resistência nas temperaturas baixas.

Ademais, para temperaturas de 900 °C, os blocos de 4,5 MPa tiveram resistência residual nula, deteriorando-se ao manuseá-los e ao retirá-los do forno. Os blocos de 10 MPa, por sua vez, tiveram uma resistência residual considerável mesmo após o aquecimento a 900 °C, demonstrando que podem ser mais adequados em um projeto de alvenaria estrutural com considerações a incêndio.

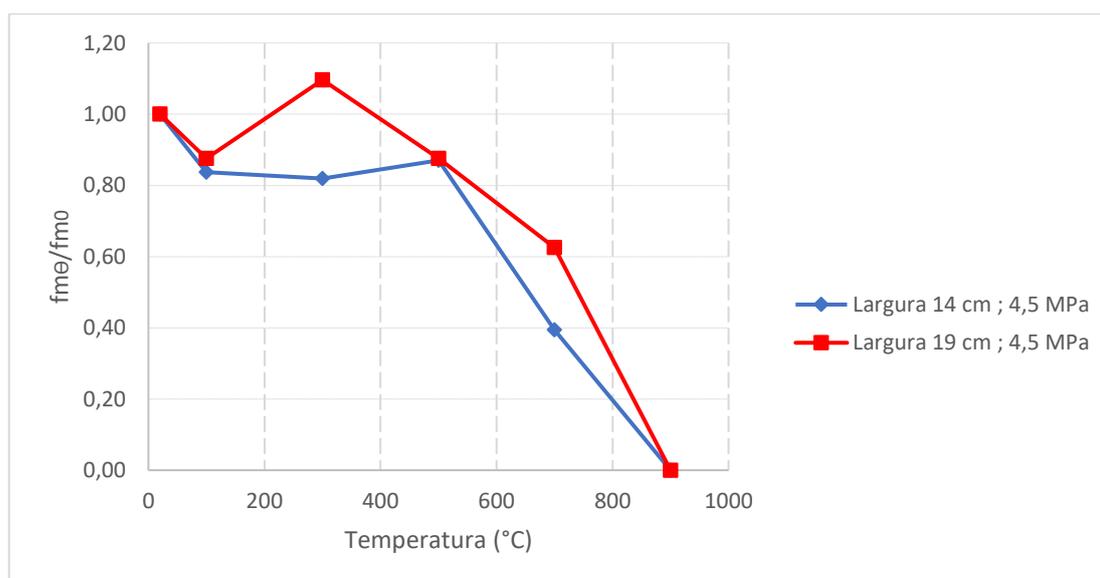


Figura 12: Resistência residual média à compressão de blocos de concreto em função da temperatura.

A partir da figura 12, nota-se que os blocos de resistência nominal de 4,5 MPa sofrem uma perda de resistência para temperaturas de 100 °C, seguido de um ganho de resistência para temperatura de 500 °C. A partir dos 500 °C, a queda da resistência residual é muito parecida para as duas geometrias em questão. Dessa maneira, para uma situação de incêndio – em que as temperaturas são elevadas – a largura dos blocos não mostrou diferenças significativas na resistência residual a compressão.

Os resultados da resistência residual à compressão característica podem ser comparados com os valores propostos pela ABNT NBR 15200:2012 “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento”. Esses valores propostos não se referem especificadamente a blocos de concreto, mas são os únicos disponíveis na normalização nacional. Para a construção da curva de resistência residual da figura 9, utilizou-se os valores da ABNT NBR 15200:2012 para agregado silicoso, o mesmo utilizado nos blocos de concreto deste estudo. Os valores característicos foram calculados a partir da equação (1) demonstrada na sessão “3 Materiais e métodos” deste trabalho.

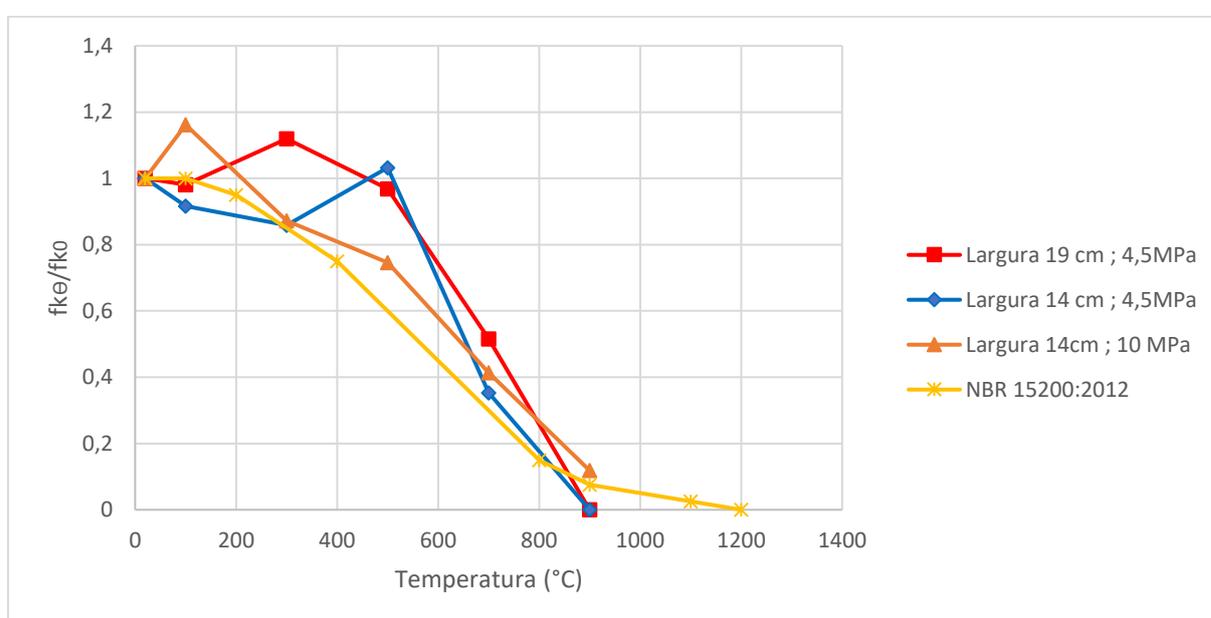


Figura 13: Resistência residual característica à compressão de blocos de concreto e fator de redução dado pela NBR15200 em função da temperatura.

A partir da figura 13, é possível notar que os resultados obtidos para blocos de 10 MPa estão próximos aos valores propostos na ABNT NBR15200:2012 (valores para estruturas de concreto, isto é, não são específicos para blocos de concreto), tendo uma resistência residual um pouco mais elevada em todas as temperaturas. Por outro lado, os resultados dos blocos de 4,5 MPa se diferem aos valores propostos na ABNT NBR15200 em temperaturas inferiores a 600 °C. Assim, para temperaturas de 500°C por exemplo, podemos observar que os valores residuais da resistência à compressão dos blocos de 4,5 MPa são de 103% (blocos com largura de 14 cm) e 97

% (blocos com largura de 19 cm), enquanto que a NBR 15200 propõe um valor de 60%.

Outro fato notável é que, para temperaturas de 900 °C, os blocos de concreto de 4,5 MPa possuem resistência residual nula, enquanto que nos valores fornecidos pela ABNT NBR15200:2012 isso ocorre apenas a 1200 °C. Assim, de maneira geral, os dados normativos existentes não são próximos aos valores obtidos para blocos de concreto, contribuindo para a ideia de que o sistema construtivo do tipo alvenaria estrutural necessita de estudos específicos para a situação de incêndio.

Os três tipos de blocos apresentaram alguma recuperação de resistência com o aquecimento em diferentes temperaturas. Isso pode estar relacionado com o surgimento de reações químicas que contribuam para o aumento de resistência; ou até mesmo com o surgimento de vazios internos que colaboram com o alívio de tensões internas, uma vez que funcionam como caminho para passagem de vapor de água. Por não ser o foco específico deste trabalho, um estudo mais voltado para essa questão pode ser feito futuramente.

Durante os ensaios, o ganho ou recuperação de resistência para temperaturas entre 100 °C e 300 °C foi significativo, sendo necessário uma pesquisa bibliográfica específica para esse fato observado. Assim como demonstrado no trabalho de Russo e Sciarretta (2013), blocos de concreto maciços com agregado leve podem ganhar entre 10% a 40% da resistência a compressão a 300 °C em relação a temperatura ambiente, enquanto que para 500°C esses valores podem chegar a 50%. Hager (2013) estudou a resistência residual de corpos de prova cilíndricos em função da temperatura para diferentes relações de água/cimento (a/c), sendo possível notar uma recuperação de resistência à compressão aos 250 °C para relações a/c maiores. Tal fato é condizente com os resultados obtidos neste trabalho, visto que esse fenômeno aconteceu para os blocos de menor resistência que, possivelmente, possuem maior relação a/c em sua fabricação.

4.2 Módulo de elasticidade

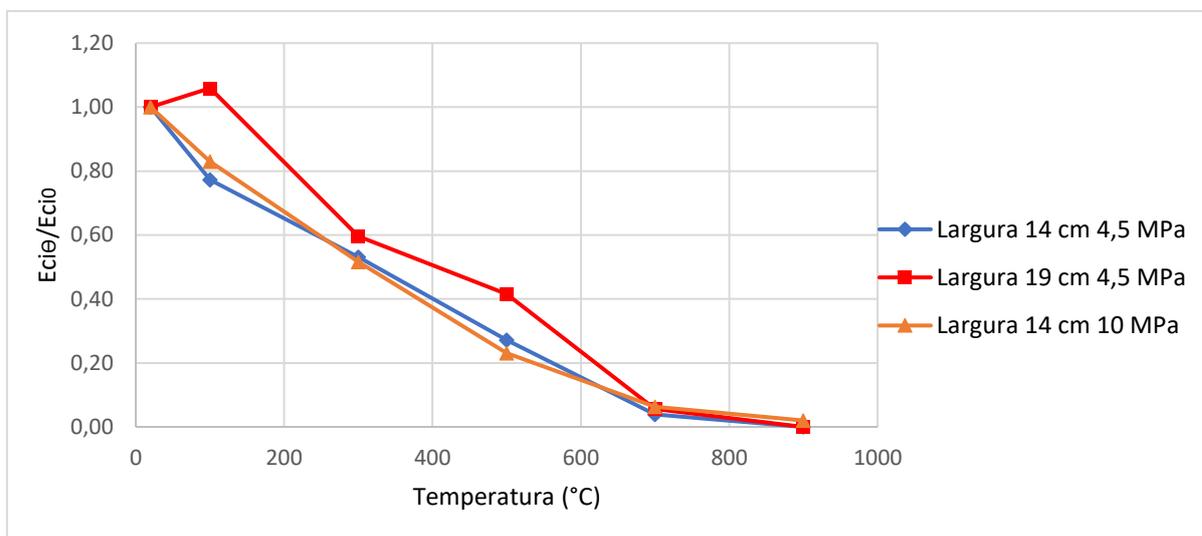


Figura 14: Módulo de elasticidade residual em função da temperatura para blocos de concreto

O módulo de elasticidade apresentou-se mais suscetível à temperatura, sendo que ocorre sua diminuição para aproximadamente 55% do valor de referência a 300 °C. Os resultados obtidos para blocos de mesma largura (14cm) e classe de resistência diferente são praticamente idênticos; enquanto que os resultados para blocos de largura de 19 cm se distanciam dos demais. Isso demonstra que, para o efeito do módulo de elasticidade, a geometria do bloco possui interferência em uma situação de incêndio, sendo que blocos mais largos possuem maiores valores residuais, enquanto que para a classe de resistência não há interferências significativas.

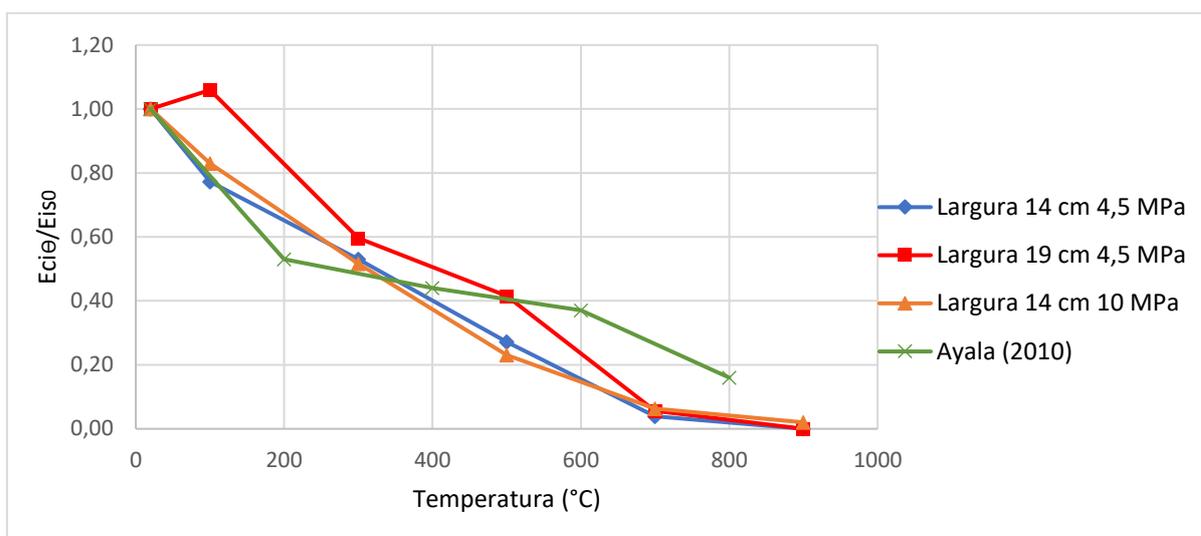


Figura 15: Comparação entre módulo de elasticidade residual obtidos para blocos de concreto e estudos da literatura

Os dados existentes na literatura para blocos de concretos são escassos, sobretudo para módulo de elasticidade. Alguns autores, como Ayala (2010), estudaram a influência da temperatura para blocos de concreto e pequenas paredes. No entanto, estes trabalhos utilizam geometria de blocos e composições não usuais no Brasil. Ayala (2010) utilizou blocos de concretos maciços de 100x215x440 mm (largura x altura x comprimento) com resistência nominal de 7,3 MPa composto de agregado leve.

De acordo com a figura 11, pode-se notar maior influência da temperatura para os blocos utilizados neste trabalho em relação aos blocos maciços nas temperaturas elevadas. Isso pode ser resultado da diferença de geometria e agregados dos estudos, uma vez que os blocos com agregado silicoso tem maior perda de resistência entre os 500 °C e 700°C, faixa de temperatura na qual ocorre a expansão do quartzo devido a uma transformação polimórfica (573 °C), contribuindo para o aumento de tensões internas e trincas do material. Por sua vez, os agregados leves utilizados no estudo de Ayala possuem condutividade térmica menor em relação ao agregado silicoso. Dessa maneira, a comparação desses resultados evidencia a importância de estudos com materiais utilizados nacionalmente.

Este estudo teve como proposta analisar a influência da temperatura nas propriedades mecânicas de blocos de concreto, isto é, teve como foco principal a questão estrutural de resistência ao fogo. O tema é de grande importância para a área

de segurança das estruturas em situação de incêndio devido a popularização do sistema construtivo de alvenaria estrutural e as particularidades dos materiais utilizados no Brasil, bem como geometria dos blocos utilizados e composição dos materiais.

Diante da inexistência de um código normativo nacional com recomendações para a alvenaria estrutural em situação de incêndio, justifica-se o incentivo aos estudos desse tema, uma vez que a utilização de códigos internacionais ou de códigos nacionais não específicos para alvenaria estrutural não garantem a segurança devido as diferenças construtivas e das composições dos materiais.

Uma das principais dificuldades enfrentadas para a realização dos ensaios foi devido à resistência real dos blocos de concreto serem maior que a resistência nominal especificada pelo fabricante. Assim, não foi possível realizar os ensaios dos blocos de 10 MPa, cuja resistência a temperatura ambiente atingiu a média de 22,4 MPa, no laboratório de Engenharia Civil da Unicamp devido a limitação da prensa disponível. Esses blocos foram então ensaiados no laboratório de ensaios dinâmicos LabEDin da faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, onde há uma prensa com maior capacidade de carga.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados deste trabalho, podemos notar a diferença da resposta às altas temperaturas entre a resistência à compressão e do módulo de elasticidade. Esta última propriedade, desde as menores temperaturas de aquecimento, sofreu resultados expressivos em sua diminuição, sendo que em uma situação de incêndio real as deformações poderiam se tornar significativas para o surgimento de carregamentos excêntricos logo no início do incêndio, favorecendo o colapso da estrutura.

Os resultados deste trabalho também demonstram que a classe de resistência dos blocos interfere na resistência a compressão, mas não interfere no módulo de elasticidade. Por outro lado, comparando os resultados dos blocos de geometria diferentes, nota-se que a resistência à compressão para temperaturas de até 300 °C e o módulo de elasticidade ao longo de todas as temperaturas seguem tendências

diferentes, podendo indicar a interferência da geometria nas propriedades mecânicas de blocos submetidos às altas temperaturas.

A geometria do bloco pode interferir nas resistências residuais devido a espessura das faces serem maior, dificultando o aquecimento nas partes mais internas das faces. No entanto, deve-se fazer uma ressalva nesta análise: não se sabe quais fatores o fabricante dos blocos altera entre os que possuem largura de 14 cm ou 19 cm. Alterações na granulometria do agregado e do traço do concreto, por exemplo, podem também influenciar nas resistências residuais.

Diante das considerações observadas em toda a pesquisa, é possível fazer algumas sugestões para futuros trabalhos que possam contribuir para o conhecimento referente a alvenaria estrutural em situação de incêndio:

- Ensaiai pequenas paredes compostas de blocos de concreto e argamassa para verificar a validade dos dados obtidos de blocos isolados em uma estrutura real

- Ensaiai blocos de concreto com histórico de carga e com carregamento durante o aquecimento

- Ensaiai blocos de concreto preenchidos com graute para verificar se existe interferência deste preenchimento nas propriedades mecânicas, visto que a eliminação dos vazios internos dos blocos pode ser prejudicial para a resistência mecânica devido à dificuldade da liberação de vapor d'água.

- Realizar estudos com blocos de concreto com traço conhecido para identificar quais variáveis influenciam no ganho ou recuperação de resistência durante o aquecimento em temperaturas inferiores à 500 °C

REFERÊNCIAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo, SP: A Associação, Projeto Editores Associados, 1990. 275 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961:1** Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 1: Projeto, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961:2** Alvenaria estrutural — Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, 2012.

AYALA, F. R. R. **Mechanical Properties and Structural Behaviour of Masonry at Elevated Temperatures**. 2010. 294p. Tese de Doutorado (Engenharia e Ciências Físicas) - University of Manchester, 2010.

Carvalho, Paulo Roberto de Oliveira. **Análise numérica de pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto em situação de incêndio: ênfase no comportamento térmico e termoestrutural**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

DIEDERICHS, U.; JUMPPANEN, U.M.; PENTALA, V. – **Behaviour of High Strength Concrete at High Temperatures**. Espoo, 1989. Report 92.

Hager. Behaviour of cement concrete at high temperature. **Bulletin of the Polish Academy of Sciences**, v. 61, No. 1, 2013

JÚNIOR, O. K. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos a flexão normal composta**. 2011. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KHOURY, G. A. **Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment.** Magazine of Concrete Research, 44, No. 161, pp. 291-309, Dez.1992.

Leite, Helena Arias Lara, 1990- **Alvenaria estrutural em situação de incêndio - Proposta de avaliação com vistas à normatização.** 2018 / Helena Arias Lara Leite. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

PAULON, V.A. – **Durabilidade do Concreto – Avanços da Tecnologia.** In: 7ºSIMPATCON – Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto. Campinas, 1984.

Ramalho, M. A.; Corrêa, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** São Paulo, PINI, 2003.

RIGÃO, A. O. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas.** 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Russo, S.; Sciarretta, F. Experimental and Theoretical Investigation on Masonry after High Temperature Exposure. **Experimental Mechanics**, v. 52, 341 – 359, 2012.

Russo, S.; Sciarretta, F. Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties – An overview. **Fire Safety Journal**, v. 55, 69 – 86, 2013.

SEITO, A.I.; GILL, A.A.; PANNONI, F.D.; ONO, R.; SILVA, S.B.; DEL CARLO, U.; SILVA, V.P. – **A Segurança contra Incêndio no Brasil.** Projeto Editora. São Paulo, SP. 2008.

Souza, Adriana Aparecida Ambrosio de. **Procedimento de ensaio para verificação em laboratório da tendência ao lascamento do concreto em situação de incêndio** / Adriana Aparecida Ambrosio de Souza. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

SPOHR, J. A. **Simulação computacional de paredes de alvenaria estrutural em situação de incêndio: estudo de caso.** 2016. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANEXO A – Resumo dos resultados experimentais

As médias dos resultados experimentais são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela A.1: Resultados dos ensaios referentes à resistência à compressão

Resistência à Compressão (MPa)						
Temperatura (°C)	Bloco de largura 14 cm ; 4,5 MPa		Bloco de largura 19 cm ; 4,5 MPa		Bloco de largura 14 cm ; 10 MPa	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Ambiente	7,7	0,9	5,9	0,6	22,4	2,8
100	6,4	0,7	5,1	0,4	24,5	1,7
300	6,3	0,8	6,4	0,4	21,2	1,4
500	6,7	0,4	5,1	0,4	16,0	1,4
700	3,5	1,2	3,8	0,7	8,7	0,9
900	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,9

Tabela A.2: Resultados residuais da resistência à compressão

Resistência residual à Compressão (%)			
Temperatura (°C)	Bloco de largura 14 cm ; 4,5 MPa	Bloco de largura 19 cm ; 4,5 MPa	Bloco de largura 14 cm ; 10 MPa
Ambiente	100	100	100
100	84	88	109
300	82	110	95
500	87	88	71
700	46	65	39
900	0	0	16

Tabela A.3: Resultados dos ensaios referentes ao módulo de elasticidade

Módulo de elasticidade (GPa)						
Temperatura (°C)	Bloco de largura 14 cm ; 4,5 MPa		Bloco de largura 19 cm ; 4,5 MPa		Bloco de largura 14 cm ; 10 MPa	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Ambiente	31,6	1,3	18,8	2,8	36,3	3,6
100	24,4	5,5	19,9	1,8	30,1	5,1
300	16,8	4,2	11,2	2,9	18,7	3,4
500	8,6	2,1	7,8	2,9	8,4	2,0
700	1,1	0,5	1,1	0,2	2,3	1,1
900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2

Tabela A.4: Resultados residuais do módulo de elasticidade

Módulo de elasticidade residual (%)			
Temperatura (°C)	Bloco de largura 14 cm ; 4,5 MPa	Bloco de largura 19 cm ; 4,5 MPa	Bloco de largura 14 cm ; 10 MPa
Ambiente	100	100	100
100	77	106	83
300	53	60	52
500	27	41	23
700	3	6	6
900	0	0	2