

Resistência residual de blocos cerâmicos e argamassas cimentícias submetidos a elevadas temperaturas e variadas condições de rompimento

Residual strength of ceramic blocks and cementitious mortars subjected to high temperatures and different breaking conditions

Resistencia residual de bloques cerámicos y morteros cementosos sometidos a altas temperaturas y diferentes condiciones de rotura

Recebido: 03/09/2022 | Revisado: 22/09/2022 | Aceitado: 24/09/2022 | Publicado: 01/10/2022

Geilson Márcio Albuquerque de Vasconcelos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6705-4826>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: geilson.vasconcelos@arapiraca.ufal.br

Tiago Ancelmo de Carvalho Pires

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4861-4944>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: tiago.poliveira@ufpe.br

José Jeferson do Rêgo Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7941-1061>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: jjrs@ufpe.br

Resumo

Os materiais de construção normalmente alteram suas propriedades quando são submetidos a altas temperaturas. Essa pesquisa analisou a resistência residual de blocos cerâmicos e de argamassas cimentícias submetidos a temperaturas de 200, 400, 600 e 800°C, em três condições de ensaio: rompimento à quente, rompimento após resfriamento brusco e rompimento após resfriamento lento. Ocorreu ganho de resistência à compressão para os blocos cerâmicos quando rompidos a quente para todas as temperaturas analisadas. Entretanto, para as argamassas cimentícias ocorreu ganho de resistência apenas à compressão para a temperatura de 200°C quando rompido à quente, porém para as demais condições de ensaio e temperaturas a resistência reduziu de forma significativa e apresentou queda em torno de 70% para o resfriamento brusco aos 600°C.

Palavras-chave: Incêndio; Análise experimental; Altas temperaturas; Argamassa; Bloco cerâmico.

Abstract

Building materials normally change their properties when they are affected by high temperatures. This research analyzed the residual strength of ceramic blocks and cementitious mortars subjected to temperatures of 200, 400, 600 and 800°C, in three test conditions: hot breakage, breakage after sudden cooling and breakage after slow cooling. There was a gain in compressive strength for the ceramic blocks when hot broken for all temperatures analyzed. However, for the cementitious mortars, there was a gain in strength only in compression for the temperature of 200°C when broken when hot, but for the other test conditions and temperatures, the strength was significantly reduced and showed a drop of around 70% for sudden cooling, at 600°C.

Keywords: Fire; Experimental analysis; High temperatures; Mortar; Ceramic block.

Resumen

Los materiales de construcción normalmente cambian sus propiedades cuando se ven afectados por altas temperaturas. Esta investigación analizó la resistencia residual de bloques cerámicos y morteros cementosos sometidos a temperaturas de 200, 400, 600 y 800°C, en tres condiciones de ensayo: rotura en caliente, rotura por enfriamiento brusco y rotura por enfriamiento lento. Hubo una ganancia en la resistencia a la compresión de los bloques cerámicos cuando se rompieron en caliente para todas las temperaturas analizadas. Sin embargo, para los morteros cementosos, hubo una ganancia de resistencia solo en compresión para la temperatura de 200°C de rotura en caliente, pero para las demás condiciones y temperaturas de ensayo, la resistencia se redujo significativamente y mostró una caída del orden del 70% por enfriamiento repentino, a 600°C.

Palabras clave: Fuego; Análisis experimental; Altas temperaturas; Mortero; Bloque de cerámica.

1. Introdução

A construção civil avançou bastante no desenvolvimento dos materiais nos vários segmentos de atuação e aplicabilidade, através dos inúmeros trabalhos desenvolvidos nos centros de pesquisas no Brasil e no mundo. O entendimento do comportamento dos materiais e das estruturas em condição ambiente está bastante consolidado, apesar da necessidade permanente de desenvolvimento de novas técnicas construtivas e novos materiais. Todavia, existe ainda uma lacuna na compreensão do desempenho e comportamento dos materiais sob altas temperaturas e/ou em situação de incêndio, apesar dos avanços tidos nos últimos anos e na dedicação de pesquisadores e dos inúmeros trabalhos realizados nesta área do conhecimento.

Os incêndios acometidos nos últimos tempos, tem mostrado a necessidade de compreensão do comportamento dos materiais e das estruturas durante e após sua ocorrência, bem como, buscar mecanismos para reduzi-los ou minimizar as causas e consequências provocados por eles.

A Região Metropolitana do Recife/PE (RMR/PE) possui um número bastante elevado de edificações construídas em alvenaria de vedação como função portante, denominada como “Prédio Caixaão”. Apesar deste sistema construtivo não ter amparo normativo em sua concepção e execução, é uma realidade vivida não apenas na RMR, mas em outras regiões, quando vê-se edificações executadas, mesmo de pequeno porte, com blocos cerâmicos de vedação assumindo a função estrutural. De acordo com Gusmão et al. (2009) estima-se que cerca de 250.000 pessoas da RMR habitam em edificações com estas características.

Em estudo, Corrêa et al. (2015) fizeram um mapeamento dos incêndios ocorridos na RMR e constataram que durante o período de 2011 à 2013, 32,7% dos atendimentos realizados pelo Corpo de Bombeiros do Estado de Pernambuco (CBM-PE) foram acometidos em edificações. Em uma análise pós incêndio de uma edificação de 4 pavimentos, com as características das edificações da RMR, Silva et al. (2015) confirmaram a preocupação com o desempenho ao fogo deste tipo de edificação, uma vez que, a mesma apresentava risco para a sua segurança estrutural. Desse modo, tornou-se necessário compreender o comportamento dos materiais aplicados na construção civil, como os blocos cerâmicos e argamassas, em situação de incêndio e/ou sob altas temperaturas.

Segundo Nguyen et al. (2009) as características mecânicas dos blocos cerâmicos dependem de vários parâmetros, como o modo de fabricação, composição do material, microestrutura, porosidade, temperatura e duração da queima. Assim, pode-se ter uma grande variabilidade do comportamento dos blocos cerâmicos produzidos nas várias regiões do Brasil.

De acordo com Ingham (2009), blocos cerâmicos podem suportar temperaturas na ordem de 1000 °C, ou mais sem apresentarem danos, entretanto, a superfície do bloco pode fundir mediante aquecimento muito severo e prolongado. A fragmentação pode ocorrer com alguns tipos de blocos, especialmente do tipo perfurado. O resfriamento provocado pela água de combate a incêndio pode ser um motivo do surgimento de fissuras nas alvenarias. Já para os materiais cimentícios, como é o caso da argamassa empregada neste trabalho, os estudos realizados mostram que seu comportamento sob altas temperaturas é bastante diferente dos blocos cerâmicos.

Conforme Naus (2005), o aumento da temperatura produz mudanças significativas na composição química e microestrutura da pasta de cimento Portland endurecida. Em temperatura ambiente, a água retida dos poros da pasta de cimento saturada representa de 30 a 60% do seu volume. Dado um período de exposição suficiente, a perda completa desta água ocorre em temperatura próxima 105°C. Em temperaturas acima de 105°C, a água fortemente absorvida e quimicamente combinada (água de hidratação) é gradualmente perdida dos hidratos da pasta de cimento, com a desidratação completa a 850 °C.

Karahan (2011) investigou a influência do método de resfriamento na resistência residual de argamassa para as temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C. Após o aquecimento utilizou três métodos de resfriamento: resfriamento com as amostras dentro do forno desligado durante 24 horas; resfriamento das amostras em temperatura ambiente do laboratório por

24 horas; resfriado com água corrente por 1 hora após aquecidos. Em seus resultados percebeu que a resistência residual para os dois tipos resfriamentos lento ocorreram redução na mesma proporção, chegando a 7,2%, 46,5%, 71,2% e 93,7% de redução da resistência para as temperaturas de 400, 600, 800 e 1.000 °C, respectivamente. Já para o resfriamento com água a perda foi bastante acentuada, chegando a 70,2% e 90,6% para as temperaturas de 600 e 800 °C.

Schafer (2015) analisou o comportamento em uma argamassa industrializada constituída por cimento Portland e areia natural. O autor percebeu que a resistência à tração pode aumentar quando a exposição é até 100 °C e, decair drasticamente com temperaturas superiores a isto, chegando a descolar-se completamente do substrato quando a exposição é igual ou superior à 700 °C.

Borges (2018) analisou também a resistência residual de argamassas industrial utilizadas no assentamento e revestimento de blocos cimentícios para as temperaturas de 200, 400, 600 e 800 °C. Determinou a resistência através de três processos de rompimento à compressão: corpos de prova ainda quentes; resfriamento brusco com água corrente e resfriamento lento, mantendo os corpos de prova no forno. As resistências residuais apresentaram menores reduções quando rompidos à quente. Entretanto, ocorreram maiores perdas de resistências quando as amostras foram rompidas ao resfriamento brusco e não apresentou resistência alguma quando ensaiado a temperatura de 800 °C.

Rigão et al. (2021), analisaram o comportamento de argamassas industrializadas para alvenaria estrutural, submetida as temperaturas de 400 e 900 °C. Os corpos de prova após atingirem as temperaturas de análise, foram removidas do forno e resfriado lentamente. A resistência residual das amostras exposta a temperatura de 400 °C apresentaram uma redução de 39% da resistência à tração e de 56,6% à compressão. Já para as argamassas exposta à temperatura de 900 °C, a resistência residual não foi significativa.

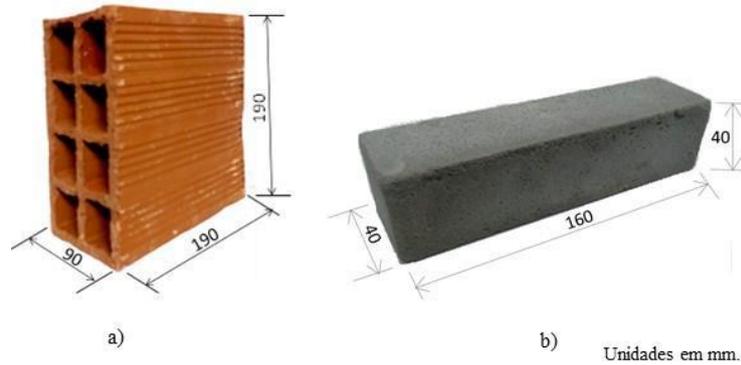
Em geral, a resistência mecânica residual de argamassas cimentícias pode aumentar até 400 °C, entretanto, diminui drasticamente com temperaturas superiores conforme percebido nas pesquisas de Yüzer et al. (2004), Morsy et al. (2008), Irshidat e Al-Saleh (2018) e Zemri e Bouiadjra (2020). Contudo, em alguns casos, este aumento pode não ocorrer segundo os estudos de Karahan (2011), Rigão (2012), Delhomme et al (2012) e Karatas et al (2019).

2. Materiais, Equipamentos e Métodos

2.1 Materiais e equipamentos

Na análise dos blocos cerâmicos foram utilizadas 13 amostras para caracterização geométrica e mecânica, em temperatura ambiente, de acordo com os procedimentos prescritos na NBR 15270-2 (2017). Para análise dos blocos sob altas temperaturas foram utilizadas 11 amostras para cada condição de ensaio, em virtude da limitação do espaço disponível do forno elétrico, conforme descrito no item 2.4. Os blocos cerâmicos tinham dimensões de 190 x 190 x 90 mm, com 8 furos em sua seção transversal, Figura 1 (a).

Figura 1: Materiais empregados: a) bloco cerâmico e b) prisma de argamassa.



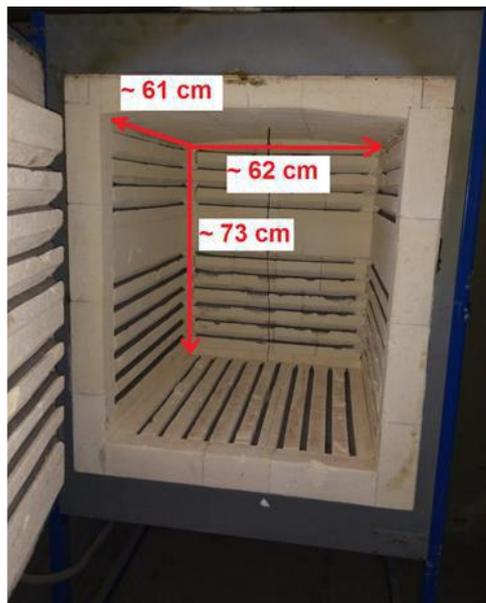
Fonte: Autores (2022).

Fez-se uso de argamassa cimentícia industrializada, visando a redução de várias à controlar, referente a proporção dos materiais com o estudo do traço de argamassa. Foi utilizada seis amostras prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, Figura 1 (b), para a avaliar o desempenho mecânico à tração e a compressão em temperatura ambiente. A resistência à tração foi realizada pelo procedimento de resistência à tração por flexão por três pontos e a resistência à compressão pelas partes deste prismas após este ensaio, conforme as prescrições normativas da NBR 13279 (2005).

Para os ensaios das argamassas sob altas temperaturas e para as três condições de ensaio utilizou-se a mesma quantidade de amostras de referências, conforme descrito no item 2.4.

O aquecimento das amostras de bloco cerâmico e argamassa foi realizado em forno elétrico composto por um único módulo com dimensões internas de 61 x 62 x 73 cm, conforme Figura 2.

Figura 2: Forno elétrico empregado.



Fonte: Autores (2022).

As quatro faces laterais e o fundo do forno têm espirais de resistência elétrica para aquecimento até a temperatura máxima de operação de 1.340°C. As paredes do forno são isoladas com placas de fibras cerâmicas e tem uma taxa de resfriamento de 5°C/min.

As especificações técnicas do forno permitem a sua utilização tanto na análise de amostras no estado transiente de

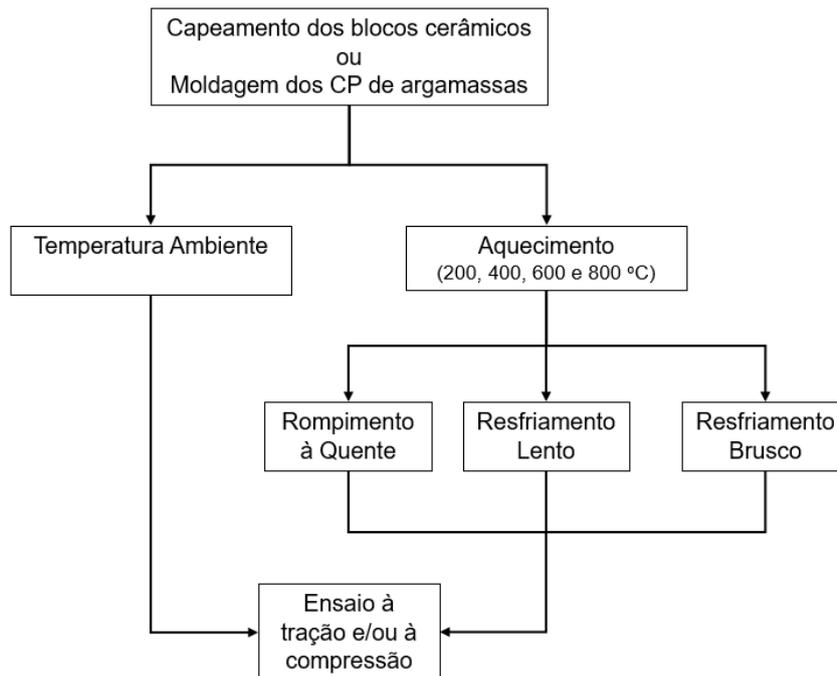
temperatura como no estado estacionário. O forno dispõe de um controlador que permite a programação de até duas taxas de aquecimento e um patamar de temperatura que pode manter a temperatura desejada constante durante um tempo determinado.

2.2 Método de ensaio

A metodologia de ensaio foi similar aos estudos realizados por Borges (2018). As amostras foram aquecidas colocadas no forno e aquecidas as temperaturas de 200, 400, 600 e 800 °C a uma taxa de 5°C/min. Ao atingir a temperatura de ensaio, mantinha-se esta temperatura durante uma hora para uniformizar a temperatura interna das amostras e posteriormente realizava-se o procedimento de rompimento à quente ou resfriamento dos corpos de prova.

As amostras foram ensaiadas em três condições de ensaio diferentes para cada temperatura de análise (200, 400, 600 e 800 °C): ensaio à quente (RQuente) – as amostras eram retiradas do forno e levadas à prensa para rompimento; ensaio com resfriamento brusco (RBrusco) – retiravam-se os corpos de prova do forno e submetia-os a jatos d'água durante 10 minutos e após 24 horas eram rompidos e, ensaio com resfriamento lento (RLento), permanecia com as amostras no interior do forno desligado durante 24 horas e rompia-os posteriormente. A Figura 3 apresenta um fluxograma de procedimento dos ensaios realizados.

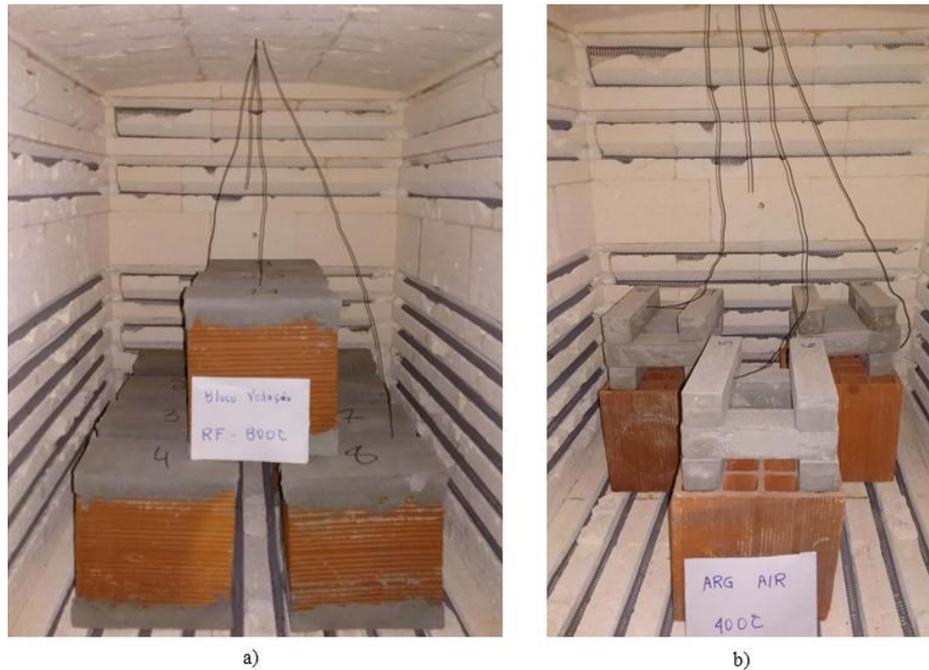
Figura 3: Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 4 mostra o esquema de disposição das amostras de bloco cerâmico e argamassa cimentícia no forno elétrico.

Figura 4: Esquema da disposição dos materiais no forno: a) bloco cerâmico e b) argamassa.



Fonte: Autores (2022).

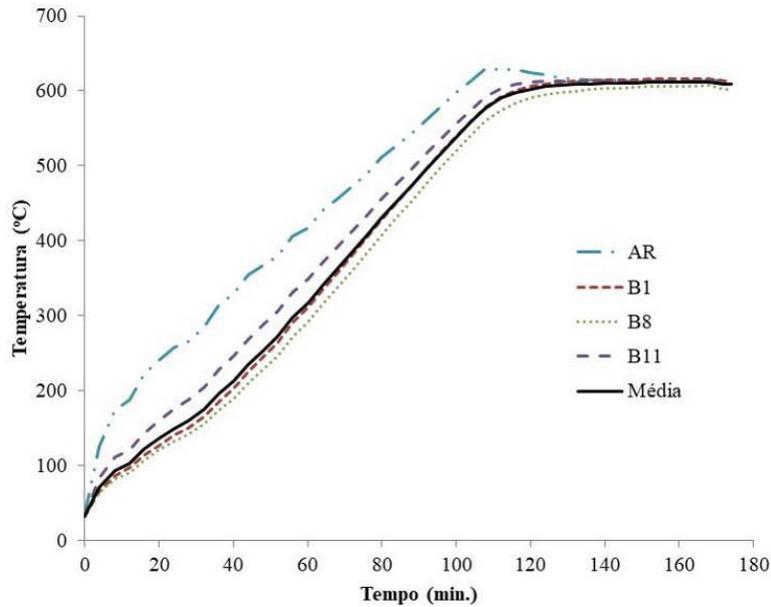
Foi colocado no forno elétrico 11 cp de blocos cerâmicos para cada procedimento de ensaio (RQuente, RBrusco e RLento) conforme a Figura 4a, espaçados entre si, para que a temperatura atingisse todos as amostras de forma equivalente. Desse modo, o forno foi acionado 12 vezes para poder fazer todos os tipos de rompimento para as quatro temperaturas de estudo. Já os cp de argamassa foram dispostos em forma de fogueira, como mostra a Figura 4b, de modo a ter uma maior uniformização da temperatura nas amostras. Foram colocadas 18 amostras de prismas para cada temperatura de estudo, dispostos em três grupos, cada grupo com seis prismas para cada tipo de procedimento de ensaio, assim, o forno na análise das argamassas foi acionado quatro vezes. Para acompanhar a evolução da temperatura foram colocados quatro termopares, sendo 3 nas amostras e um na parte interna no forno para medir a temperatura dos gases.

3. Resultados e Discussão

3.1 Bloco cerâmico

O forno nas quatro temperaturas analisadas (200, 400, 600 e 800 °C) apresentou comportamento satisfatório, mostrando de forma bem definida a taxa de aquecimento e o patamar de temperatura. Todos os ensaios tiveram suas temperaturas monitorados, no entanto será mostrada neste trabalho, por questão de espaço e relevância, apenas o registro do ensaio de resfriamento brusco à temperatura de 600 °C, Figura 5.

Figura 5: Temperatura de ensaio de bloco cerâmico (RBrusco 600°C).



Fonte: Autores (2022).

Percebe-se que a temperatura dos gases apresentou uma taxa de aquecimento um pouco maior no início do ensaio, até os 50 minutos, posteriormente, apesar de estar com a temperatura maior a taxa foi equivalente 5°C/min. As temperaturas medidas nos blocos (B1, B8 e B11) foram praticamente iguais entre si. Entretanto, no patamar as temperaturas convergiram e foram iguais, demonstrando assim que a temperatura apresentou uma uniformização tanto na temperatura do ar quanto na face dos blocos.

Os blocos cerâmicos atenderam aos parâmetros normativos de caracterização geométrica e física, conforme prescrito na NBR 15270-2 (2017). A resistência características à compressão em temperatura ambiente do bloco (F_{bk}) foi de 2,01 MPa, valor 34,0% maior que o exigido por norma (1,5 MPa). A Tabela 1 mostra a resistência à compressão média (F_{bm}) e a resistência característica (F_{bk}) dos blocos cerâmicos em temperatura ambiente e as respectivas resistências residuais das quatro temperaturas analisadas.

Tabela 1: Resistência à compressão dos blocos cerâmicos em temperatura ambiente e sob altas temperaturas.

Temperatura °C	Ambiente		RQuente		RFrio		RBrusco	
	F_{bm}	F_{bk}	F_{bm}	F_{bk}	F_{bm}	F_{bk}	F_{bm}	F_{bk}
Ambiente	2,84	2,01	-	-	-	-	-	-
200	-	-	3,83	2,53	2,87	1,92	2,95	2,19
400	-	-	5,20	4,23	3,97	2,74	3,09	2,46
600	-	-	4,86	2,98	3,23	1,83	2,98	2,06
800	-	-	4,17	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2022).

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

Percebe-se na Tabela 1 que resistência residual média foi maior que a resistência em temperatura ambiente em todos os critérios de rompimento, sendo maior quando o rompimento ocorre ainda com os blocos quentes. Para melhor compreensão e entendimento da tabela acima foi denominada a Equação 1 que é uma relação entre as resistências residuais e a resistência em temperatura ambiente, neste caso considerando as resistências características, por ser o parâmetro indicado para avaliar a resistência de blocos.

$$k_{bk} = \frac{F_{bk,T}}{F_{bk}} \quad (\text{Equação 1})$$

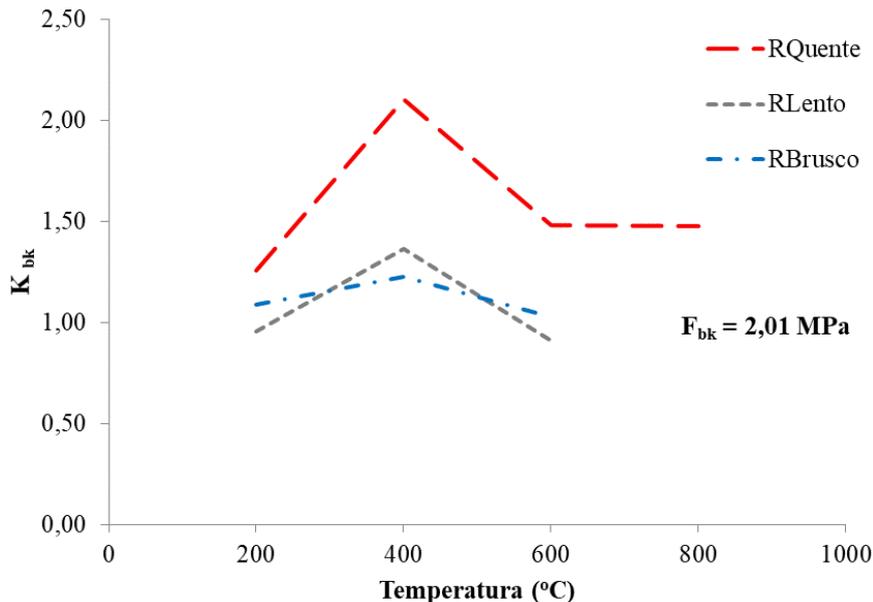
Onde:

$F_{bk,T}$ = resistência residual característica à compressão na temperatura de ensaio;

F_{bk} = resistência característica à compressão em temperatura ambiente.

A Figura 6 mostra o comportamento da resistência residual dos blocos cerâmicos sob várias altas temperaturas e condições de rompimento.

Figura 6: Comportamento da resistência residuais característica à compressão dos blocos cerâmicos.



Fonte: Autores (2022).

As resistências residuais para temperatura de 200 °C foram bastante próximas da temperatura ambiente para o Resfriamento a Frio (RFrio) e Resfriamento Brusco (RBrusco), com valor de 35% maior para o ensaio com Rompimento à Quente (RQuente), Figura 6. Já para temperatura de 400 °C a resistência residual com RQuente foi 110% maior que a temperatura ambiente, enquanto para as demais condições de ensaio ocorreu um aumento em 35% para RLento e 29% para RBrusco. Para a temperatura de 600 °C as resistências para as condições de ensaio com resfriamento lento e brusco foram equivalentes ao da temperatura ambiente, enquanto para o rompimento à quente apresentou um aumento de 50 % tanto para a temperatura de 600 °C quanto para de 800 °C.

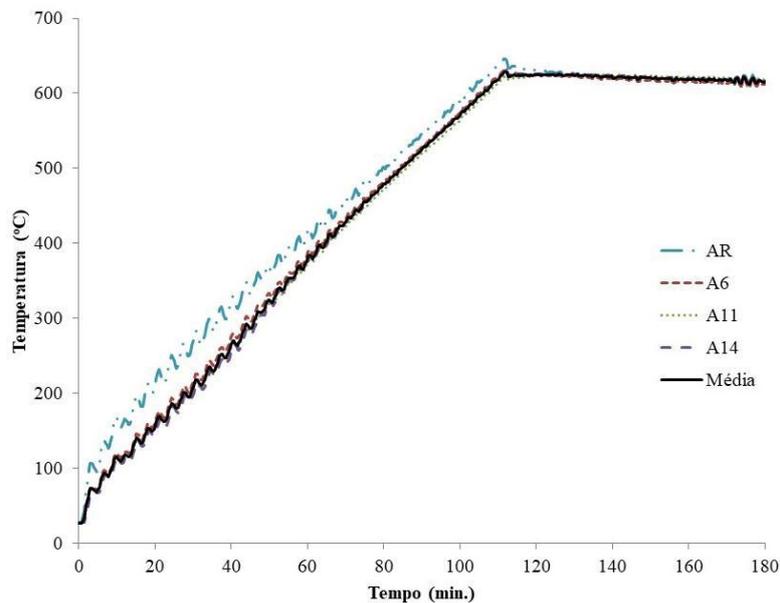
Como percebido por Ingham (2009) em que os blocos cerâmicos não sofrem alteração quando aquecidos até a temperatura de 1000 °C, a resistência à compressão dos blocos cerâmicos deste não sofreu redução em nenhuma das condições

de análise, mesmo fazendo o resfriamento brusco de sua temperatura. Aliás, percebe-se que ocorreu ganho de resistência quando os blocos foram rompidos ainda quentes. Desse modo, pode-se concluir também que os blocos ao serem aquecidos retomam o processo de calcinação ocorrido no momento de sua queima na indústria cerâmica.

3.2 Argamassa

O aquecimento das amostras de argamassas nas quatro temperaturas (200, 400, 600 e 800 °C) também se comportou de forma satisfatório, apresentando bem definido a taxa de aquecimento e patamar de temperatura. Os ensaios tiveram todas suas curvas de temperaturas monitoradas, porém a Figura 7 mostra a curva do aquecimento das argamassas à temperaturas de 600 °C.

Figura 7: Temperatura de ensaio de argamassa (600°C).



Fonte: Autores (2022).

Percebe-se também que a temperatura dos gases apresentou uma taxa de aquecimento um pouco maior no início do ensaio, até os 60 minutos, e posteriormente ocorreu uma convergência da temperatura para temperatura ocorrida na face externa dos cp de argamassa. (A6, A11 e A14). O patamar de temperatura ficou bem definido na temperatura de análise (600°C) durante 1 hora, conforme definido no item 2.2 – método de ensaio.

As resistências médias à tração e à compressão das amostras das argamassas ensaiadas em temperatura ambiente e sob altas temperaturas estão na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à tração e à compressão das argamassas.

Temperatura °C	Resistência média à tração (MPa)				Resistência média à compressão (MPa)			
	Ambiente	RQuente	RFrio	RBrusco	Ambiente	RQuente	RFrio	RBrusco
Ambiente	0,78	-	-	-	1,78	-	-	-
200	-	0,46	0,62	0,34	-	2,58	1,81	1,32
400	-	0,27	0,38	0,21	-	1,29	0,95	0,92
600	-	0,15	0,14	0,11	-	0,88	0,69	0,50
800	-	0,00	0,00	0,00	-	0,32	0,00	0,00

Fonte: Autores (2022).

Percebe-se que a resistência a tração em todas as temperaturas de análise e condições de rompimento foram menores que resistência em temperatura ambiente. Já para a resistência à compressão ocorreu um aumento na resistência residual quando rompido á quente, para a temperatura de 200 °C. Para melhor entendimento da evolução das resistências residuais das argamassas nas várias condições de temperatura e modo de rompimento, foi criado a Equação 2 e Equação 3, que mostra a relação entre a resistência residual média à tração e à compressão na temperatura de análise e em temperatura ambiente, respectivamente.

$$k_t = \frac{R_{t,T}}{R_t} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$k_c = \frac{R_{c,T}}{R_c} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$R_{t,T}$ = resistência residual média à tração na temperatura de ensaio;

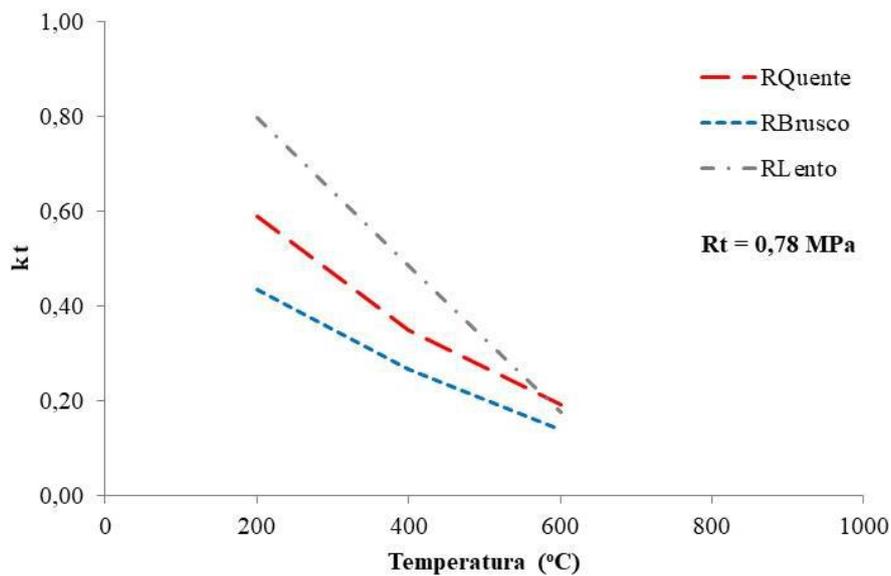
R_t = resistência média à tração em temperatura ambiente;

$R_{c,T}$ = resistência residual média à compressão na temperatura de ensaio;

R_c = resistência média à compressão em temperatura ambiente;

A Figura 8 mostra o comportamento da resistência residual à tração das amostras das argamassas nas quatro temperaturas de análise e condição de rompimento.

Figura 8: Comportamento da resistência residual à tração das argamassas.



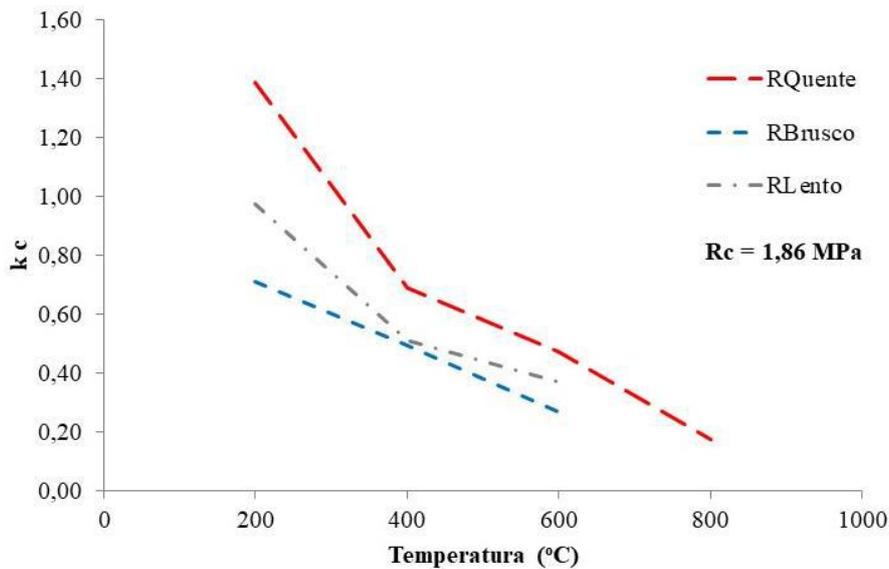
Fonte: Autores (2022).

Na Figura 8 nota-se que ocorreu uma queda da resistência residual à medida que aumentou a temperatura de análise em todas as condições de rompimento. A resistência residual à tração foi menor que a de referência em todas as condições de ensaio e temperaturas analisadas, ocorrendo redução de mais 80% para a temperatura de 600 $^{\circ}\text{C}$. Para temperatura de 200 $^{\circ}\text{C}$ já apresentou uma resistência menor que a de referência, porém em alguns estudos como de Karahan (2011) a redução para o resfriamento lento foi da ordem de apenas 7,2% quando a temperatura foi de 400 $^{\circ}\text{C}$. Entretanto, Rigão (2021) a redução para o resfriamento lento foi de 39%, também menor do que o deste estudo.

Desse modo, torna-se claro que o aumento da temperatura reduz de forma significativa a resistência à tração das argamassas cimentícias, consoante a estudos de outros pesquisadores. Observa-se também que para todas as temperaturas, a resistência residual à tração foi sempre menor quando a argamassa é resfriada bruscamente com água, conforme observado também Borges (2018) e Rigão (2021).

A Figura 9 mostra o comportamento da resistência residual à compressão das amostras de argamassas nas quatro temperaturas de análise e condição de rompimento.

Figura 9: Comportamento da resistência residual à compressão das argamassas.



Fonte: Autores (2022).

Ao analisar a Figura 9, percebe-se que a resistência residual à compressão das argamassas à temperatura de 200 °C apresentou um ganho de 40% para a condição de ensaio quando rompido à quente (RQuente), uma redução de apenas 3% para o ensaio com resfriamento à lento (RLento), entretanto um decréscimo de 30% para o resfriamento brusco (RBrusco). Já para as temperaturas de 400 e 600 °C as resistências reduziram para todas as condições de ensaio, apresentado maiores quedas com resfriamento brusco e lento.

As resistências residuais à tração foram percentualmente menores que as de compressão para a mesma temperatura de análise. Tal efeito foi observado também nos trabalhos de Karahan (2011) e Borges (2018) justificado pelo surgimento de microfissuras nos corpos de prova durante o processo de aquecimento, comprometendo, portanto, a resistência a tração. No entanto, ao realizar o ensaio à compressão estas microfissuras são minimizadas ou trazendo pouca influência durante o ensaio, conduzindo a uma menor perda percentual quando comparada entre si.

Não foi possível determinar a resistência residual à tração das argamassas para as temperaturas de 800 °C dos três modos de rompimentos, pois os CP se desintegravam ao serem retirados do forno ou durante o transporte para a realização dos ensaios. Contudo, foi possível utilizar apenas 5 amostras para o ensaio de resistência residual à compressão à quente, que apresentou uma resistência residual de apenas 17,0% da resistência em temperatura ambiente.

4. Conclusão

O estudo analisou a resistência residual de blocos cerâmicos de vedação e argamassa cimentícia industrializada, submetidos a altas temperaturas e três condições de ensaio diferentes. Como resultados, pode-se concluir:

- A resistência residual dos blocos cerâmicos para todas as temperaturas analisadas foi maior quando rompidos a quente, mostrando com isso que os materiais cerâmicos apresentaram ganho de resistência quando estão sob altas temperaturas até 800 °C;
- A resistência residual dos blocos cerâmicos quando rompidos após passarem pelo resfriamento lento ou brusco foram equivalentes entre si e iguais a resistência em temperatura ambiente, portanto, em caso de incêndio, os materiais terão as mesmas resistências durante o combate ao incêndio seja por jato d'água ou deixando os blocos resfriando lentamente;

- A resistência residual à tração da argamassa cimentícia foi menor para todas as temperaturas e condições de ensaio realizados, ocorrendo maiores quedas para a condição de resfriamento brusco e menor quando resfriado lentamente;
- A resistência residual à compressão da argamassa foi maior apenas para a temperatura de 200 °C quando rompido à quente, apresentando um ganho de 30% da resistência quando comparado à temperatura ambiente;
- Para as temperaturas maiores que 200 °C as resistências residuais à compressão das argamassas apresentaram severas reduções para todos as condições de ensaio analisadas, sendo ainda mais acentuado para resfriamento brusco e lento;
- Diante do estudo, percebe-se que os materiais que compõem as paredes de alvenaria, blocos cerâmicos e argamassas cimentícias, apresentam comportamentos bastantes distintos frente as altas temperaturas, desse modo, em situação de incêndio, devem-se ter bastante cautela, pois as paredes são compostas conjuntamente desses dois materiais. Assim, sugere-se como trabalhos futuros, que sejam analisadas paredes compostas por estes materiais ou similares, submetidos ao fogo, levando em consideração também níveis de carregamentos diferentes, para torna-se mais próximo da situação real possível das várias situações das construções existentes no país. Como sugestão de pesquisa fazer as análises feitas neste trabalho, porém o aquecimento ser apenas em um das faces dos materiais, para também tornar uma situação mais próxima das situação de um incêndio.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa. Ao Departamento de Engenharia de Estruturas do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco pelo uso de sua infraestrutura. As empresas pelo fornecimento dos blocos cerâmicos e argamassas cimentícias necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2 ed. Rio de Janeiro. 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017) NBR 15270-1: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. (2a ed.), 32 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017) NBR 15270-2: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. 2 ed. Rio de Janeiro. 35 p.
- Borges, I. A. (2018). *Alvenaria de vedação em blocos de concreto simples submetida a elevadas temperaturas características de processos de incêndio*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.
- Corrêa, C., Silva, J. J. R., Pires, T. A. C. & Braga, G. C. (2015). Mapeamento de incêndio em edifícios em edificações: um estudo de caso na cidade do Recife. *Revista de Engenharia Civil IMED*. 2(3): 15-34, ISSN 2358-6508. <http://10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n3p15-34>
- Delhomme, F., Ambroise, J. & Limam, A. (2012). Effects of high temperatures on mortar specimens containing Portland cement and GGBFS. *Materials and Structures*. 45, 1685-92. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9865-7>
- Gusmão, A. D., Calado, C. F. A., Nogueira, C. L., Silva, F. A. N., Oliveira, R. A. & Cerqueira, S. O. (2009) *Diretrizes para solução dos problemas relacionados aos prédios construídos em alvenaria resistente na Região Metropolitana do Recife*. Recife: EDUPE.
- Ingham, J. (2009) *Forensic engineering of fire-damaged structures*. Proceedings of ICE (Institution of Civil Engineers).
- Irshidat M. R. & Al-Saleh M. H. (2018) Thermal performance and fire resistance of nanoclay modified cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 159, 213-219. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.127>
- Karahan, O. (2011) Residual compressive strength of fire-damaged mortar after post-fire-air-curing. *Fire and Materials*, 35, 561-567. <https://doi.org/10.1002/fam.1074>

- Karatas, M., Benli, A. & Toprak, H. A. (2019) Effect of incorporation of raw vermiculite as partial sand replacement on the properties of self-compacting mortars at elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 221, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.077>>
- Morsy, M. S., Rashad, A. M. & Shebl, S. S. (2008) Effect of elevated temperature on compressive strength of blended cement mortar. *Building Research Journal*, 56, (2-3). Doi: <https://doi.org/10.12989/sem.2009.31.1.001>
- Naus, D. J. (2005) *The effect of elevated temperature on concrete materials and structures – A Literature Review*. Oak Ridge: Ut-battelle, Llc.
- Nguyen, T. D., Meftah, F., Chammas, R. & Mebarki, A. (2009) The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. *Fire Safety Journal*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.12.006>
- Rigão, A. O. (2012) *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7809>
- Rigão, A. O., Fagundes, R. M. C., Grotto, L. G. & Visintainer, M. R. M. (2021) Comportamento mecânico de alvenaria estrutural e seus componentes em temperatura elevadas. *Brazilian Journal of Development*, 7 (3), 22402 – 22415. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-113>
- Schafer, M. (2015) *Análise da influência de elevadas temperaturas em revestimento de argamassa*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5166>.
- Silva, M. L., Corrêa, C. & Oliveira, R. A. de (2015) Risco de colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente do tipo “prédio caixaão”. *Revista Flammae*. Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco. 1 (2). <http://dx.doi.org/10.21628/2359-4837/flammae.v1n2p28-54>
- Yüzer, N., Aköza, F. & Öztütük, L. D. (2004) Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature. *Cement and Concrete Research*, 34, 1803-1807. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.015>
- Zemri, C. & Bouiadjra, M. B. (2020) Comparison between physical–mechanical properties of mortar made with Portland cement (CEMI) and slag cement (CEMIII) subjected to elevated temperature. *Case Studies in Construction Materials*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00339>