

COMPARAÇÃO DOS EFEITOS CAUSADOS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADITIVO QUANDO EXPOSTO A ALTAS TEMPERATURAS

PASSARELLO, Marcelo Ecker.¹

FORIGO, Camila.²

RESUMO

Toda edificação está sujeita a uma situação de incêndio em qualquer fase de sua vida útil, reduzindo assim as propriedades mecânicas do concreto, entre elas a resistência à compressão. Neste contexto estudos sobre alternativas para que o concreto resista um maior tempo possível à ação de elevadas temperaturas, evitando danos à estrutura, demonstram-se de extrema importância. Sendo assim, esse estudo busca encontrar uma alternativa para que o concreto apresente melhor desempenho frente a uma situação de incêndio, realizando ensaios destrutivos (ensaio de resistência à compressão) em corpos de prova com aditivo e sem aditivo nos seus 28 dias de idade após passarem por exposição a diferentes patamares de temperatura durante 30 minutos a uma taxa de aquecimento de 27,4°C/min. Obteve-se valores com os quais é possível afirmar que o aditivo plastificante pode ser eficiente em temperaturas menos elevadas, como a 200°C, em que o mesmo apresentou na resistência à compressão cerca de 12% a mais em comparação ao concreto sem aditivo. Em patamares mais altos, entretanto, como a 600°C e 1000°C, o mesmo não apresentou grande eficiência no aumento da resistência à compressão do concreto, pois ambos obtiveram valores próximos de resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Elevadas temperaturas, resistência à compressão, aditivo plastificante.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a ação de elevadas temperaturas em estruturas de concreto são realizados desde o início do século passado, tendo como foco principal o comportamento da resistência do concreto quando submetido a tais condições (LEMOS, 2011).

Atualmente esses estudos voltaram a ter visibilidade devido ao grande número de acidentes ocorridos em estruturas de concreto ocasionados por ação de incêndio, como o desabamento de um prédio em 2018 no centro da cidade de São Paulo - SP, que segundo a perícia ocorreu após um incêndio no quinto andar do mesmo e posteriormente espalhou-se por toda a edificação. Além de outros acidentes mais populares, onde é necessária análise da estrutura para a recuperação da edificação, como é o caso do incêndio ocorrido na Boate Kiss em Santa Maria - RS e o incêndio no Museu Nacional na cidade do Rio de Janeiro - RJ.

O aumento da temperatura nos elementos estruturais pode causar diversos danos à estrutura, sendo o mais preocupante a redução da resistência do concreto (SILVA, 2016). Isto ocorre devido à evaporação da água livre presente no interior do mesmo, fazendo com que perca

¹Acadêmico do 10º Período de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: marcelo-ecker@hotmail.com

²Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Civil do Curso Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. E-mail: camilaforigo@fag.edu.br

sua estrutura química (COSTA e SILVA, 2004). Silva (2004), afirma que a adição de um aditivo plastificante reduz a relação água/cimento, acarretando na diminuição de água livre presente e consequentemente no ganho de resistência do mesmo.

Contudo, o concreto por ser incombustível e não apresentar gases tóxicos tem um desempenho satisfatório quando em contato com o fogo por um longo período de tempo, podendo-se assim afirmar que o concreto possui boas características quando exposto a situações de elevadas temperaturas (NEVILLE, 1997).

No entanto, o concreto ao ser exposto a um brusco aumento de temperatura, como numa situação de incêndio, pode ocasionar o fenômeno de *spalling*, que se caracteriza pelo deslocamento da superfície do elemento que está sujeito a esse rápido acréscimo de temperatura (LIMA, 2005).

O concreto utilizado no atual estudo foi o concreto convencional, que segundo Lara (2013), é composto de Cimento Portland, areia, brita e água, em comparação com uma composição de Cimento Portland, areia, brita, água e aditivo plastificante. O aditivo plastificante quando adicionado ao concreto convencional tem a função de melhorar a plasticidade e aumentar a resistência à compressão, diminuindo a quantidade de água a ser utilizada (PETRUCCI, 1998).

Sendo assim, este estudo busca demonstrar a importância de encontrar alternativas para que o concreto suporte temperaturas mais elevadas, assim gerando mais tempo para a ação das equipes de socorro e evitando também que o concreto perca sua resistência à compressão demasiadamente rápido, evitando possíveis danos à estrutura.

Pensando nisso, o estudo em questão tem por proposta comparar como os concretos com aditivo plastificante e sem aditivo resistem à tensão de compressão quando expostos a temperaturas de 200°C, 600°C e 1000°C, respectivamente.

Como citado anteriormente, a resistência do concreto quando exposto a incrementos de temperatura tende a ter um bom desempenho comparando-se com outros materiais, porém ainda poderia ser melhor, exceto em situações de temperaturas demasiadas altas, em que a resistência começa a decair bruscamente. Com este intuito o objetivo geral desta pesquisa experimental é analisar se o aditivo plastificante é capaz de melhorar a resistência à compressão do concreto quando exposto a elevadas temperaturas.

Assim, os objetivos específicos deste estudo são:

- a) Verificar a resistência à compressão do concreto convencional após exposição a vários patamares de temperaturas;

- b) Analisar o desempenho do aditivo na resistência à compressão do concreto após este ser exposto a vários patamares de temperaturas;
- c) Verificar o desempenho de ambos concretos quanto à ocorrência de *spalling*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão abordadas as definições de fogo e incêndio, sua propagação no ambiente, as propriedades dos agregados do concreto e as manifestações e consequências no concreto estrutural quando exposto a condições adversas de temperaturas.

2.1 O INCÊNDIO

Flores, Ornelas e Dias (p. 9, 2016), definem incêndio como “fogo que foge ao controle e consome aquilo a que não deveria consumir, podendo, pela ação das suas chamas, calor e/ou fumaça, proporcionar danos à vida, ao patrimônio e ao meio ambiente.”

Lorenzon (2014) diz que um incêndio ocorre em três fases: a combustão do fogo, o aquecimento da estrutura e o seu resfriamento.

Segundo Simiano e Baumel (2013), o fogo é uma reação química que libera luz e calor, composto por três elementos básicos: o combustível, responsável por queimar e alimentar a combustão, o comburente (oxigênio), responsável por ativar a combustão, e o calor, que é o responsável por propagar o fogo, esses elementos em combinação permitem que a combustão se auto mantenha.

De acordo com Flores, Ornelas e Dias (2016), a propagação do calor em um ambiente acontece de tal forma que se mantenha o equilíbrio, ou seja, acontece uma transferência de calor do objeto mais quente para o mais frio de forma que os dois tenham a mesma temperatura.

2.2 CONCRETO

Conforme Lima *et. al.* (2014), o concreto é um composto originado pela mistura dosada de cimento, água, brita e areia e eventualmente um aditivo, formando uma liga moldável de diversas aplicações e obtido pela hidratação do cimento com a água, e assim formando uma pasta que adere aos agregados.

Couto *et. al.* (2013), afirmam que a preparação do concreto pode ser feita manualmente ou em betoneira no canteiro de obras, como também pode ser feito em centrais dosadoras.

2.2.1 Cimento Portland

Segundo Petrucci (1998), o cimento Portland é um material constituído de silicatos e aluminatos de cálcio que, ao serem misturados com água, hidratam-se e provocam o endurecimento da massa, oferecendo assim elevada resistência mecânica. O autor demonstra a porcentagem de cada componente no cimento, conforme Tabela 1.

Quadro 1 – Componentes do cimento Portland

COMPONENTE	%
Cal	60 - 67
Sílica	17 - 25
Argila	3 - 8
Óxido de Ferro	0,5 - 6
Óxido Sulfúrico	0,1 - 3
Carbonato de magnésio	0,1 - 6,5

Fonte: PETRUCCI (1998).

2.2.2 Agregados (areias e britas)

Os agregados que compõem o concreto convencional influenciam diretamente nas propriedades físicas, químicas e mecânicas do mesmo, e devem ser escolhidos com muito cuidado de forma a terem grãos resistentes e inertes, ou seja, que não reajam quimicamente com a água (LARA, 2013).

Segundo Neville (1997), os agregados, por custarem menos que o cimento, ocupam cerca de três quartos do concreto, tornando assim a qualidade deste de considerável importância, pois influencia diretamente na performance do concreto. Além do aspecto econômico o autor explica que o uso do agregado confere algumas vantagens ao concreto, passando o mesmo a ter maior estabilidade dimensional e maior durabilidade que a pasta de cimento pura.

2.2.3 Água de amassamento

De acordo com Petrucci (1998), variações quanto às impurezas da água são toleráveis, sendo que para uma maior segurança e para um produto com qualidade desejada deve-se utilizar uma água com PH entre 6 e 8, com uma concentração de silte menor que 0,2%.

Neville e Brooks (2013) explicam ainda que o teor de sódio e potássio influenciam na relação álcali-agregado, assim demonstrando que a verificação da qualidade da água é importante para que o concreto tenha um desempenho desejado.

2.2.4 Aditivo plastificante

Segundo Petrucci (1998), aditivos são substâncias adicionadas ao concreto com a finalidade de melhorar suas características, facilitando seu preparo e utilização.

A ABNT NBR 11768:2011 (p. 2, 2011) define o aditivo plastificante como sendo “aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite elevada redução no conteúdo de água de um concreto”.

Para Neville (1997), a função do aditivo plastificante é reduzir o teor de água na mistura de concreto em 5 a 10%, assim reduzindo a relação água/cimento, ou mantendo a mesma relação de água/cimento, dando uma maior trabalhabilidade ao concreto.

De acordo com Fernandes e Silva (2011), a resistência à compressão do concreto está diretamente ligada à quantidade de água adicionada no mesmo, por isso a importância da adição de um aditivo plastificante, de forma a reduzir o uso de água e ter um melhor controle sobre sua qualidade.

2.2.5 Resistência à compressão

Para Mehta e Monteiro (1994), a resistência é a capacidade de o material resistir a uma tensão nele exercida sem se romper. Os autores explicam que no ensaio de resistência à compressão o corpo de prova é considerado rompido mesmo sem apresentar fratura externa visível, porém internamente a fissuração já está avançada, sendo o corpo de prova incapaz de suportar uma carga maior sem fraturar-se.

Segundo Oliveira *et. al.* (2016), a resistência à compressão do concreto consiste na capacidade do mesmo de resistir a tensões de compressão axial, havendo diversos fatores que podem influenciar na resistência, como a relação água/cimento, o grau de hidratação, as adições, o transporte, a cura, o lançamento e o adensamento do concreto.

2.3 CURA ÚMIDA DO CONCRETO

De acordo com Beserra (2005), a cura úmida consiste em encharcar o concreto com água, através de espalhamento contínuo ou mantendo uma lâmina de água sobre ele.

Para Helene e Levy (2013), a cura úmida do concreto busca:

- a) Impedir perda de água precocemente;
- b) Controlar a temperatura do concreto de forma a atingir a resistência adequada;
- c) E raramente fornecer um suplemento adicional de água para as reações de hidratação;

Para Petrucci (1998), a cura úmida é um conjunto de medidas que buscam manter a hidratação do concreto, atendendo às suas condições de temperatura e umidade, que são de extrema importância, principalmente durante as primeiras idades do concreto.

2.4 EFEITOS DA TEMPERATURA NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Conforme Neville (1997), a resistência à compressão do concreto, após completar 28 dias de vida, não demonstra uma perda muito significativa em temperaturas de até 600°C. O autor explica que quando o concreto é exposto a uma temperatura de 800°C o mesmo apresenta uma perda de até 80% na sua resistência.

Souza e Moreno Jr (2010), em seus estudos, apresentam valores condizentes com os citados acima, em que em testes realizados com concreto estrutural ao completar 28 dias de vida apresentaram grandes perdas de resistência a partir dos 600°C, chegando a ter uma perda de resistência de 92% a uma temperatura de 900°C.

Morales, Campos e Faganello (2011), realizaram estudos com amostras após o 7º dia de vida, que foram mantidas por 4 horas em temperaturas entre 300°C e 750°C, apresentando a 450°C perdas médias de 64% em sua resistência, já a uma temperatura de 750°C houve uma perda de 100% da resistência a compressão, não sendo possível nem realizar o ensaio.

2.5 SPALLING DO CONCRETO

De acordo com Casonato *et. al.* (2003), o deslocamento ou *spalling* do concreto acontece pela perda de coesão do mesmo, provocada pela desidratação da peça quando exposta a altas temperaturas, essa situação térmica gera tensões internas no concreto que superam a resistência do mesmo.

Fonseca (2011), explica que o *spalling* ocorre devido ao aumento brusco da temperatura no concreto, provocando pressões na peça, ocasionado pela passagem rápida da água do estado líquido para o gasoso, provocando uma grande variação no seu volume.

Conforme Costa e Silva (2004), o risco de *spalling* aumenta quando o concreto enfraquece, ocasionado por uma desidratação. A água livre presente nos poros do concreto evapora-se conforme a temperatura aumenta, então a pressão desse vapor pode chegar a tal ponto que ultrapassa a capacidade de liberação de vapores do concreto, causando assim pressões internas de vapor.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa experimental, que busca, a partir de ensaios, analisar dados de resistência à compressão no concreto com aditivo em comparação com o concreto sem aditivo, quando estes forem expostos a elevados patamares de temperatura.

Sendo assim, os experimentos foram realizados nos laboratórios de construção civil e química do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz.

A pesquisa foi realizada pelo método experimental. A partir da coleta dos dados, foi analisado se o aditivo plastificante foi capaz de melhorar a resistência do concreto após exposição a diferentes patamares de temperatura.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

Para o experimento foi utilizado o mesmo traço que Oliveira e Passades (2013), sendo a dosagem de 1:2:4 (cimento, areia média e brita 1) e relação a/c de 0,60, a adição do aditivo

plastificante foi de 1,5% em cima do kg do cimento e diminuindo assim a relação a/c em 10% passando a mesma para 0,54, para então se obter o concreto com resistência à compressão de 20 Mpa.

O cimento utilizado foi o cimento Portland tipo obras estruturais da marca Votorantim. O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica denominado brita 1 (9,5 a 19 mm). O agregado miúdo utilizado neste trabalho é denominado areia média. A água empregada para fabricação dos concretos foi a fornecida pela rede de abastecimento.

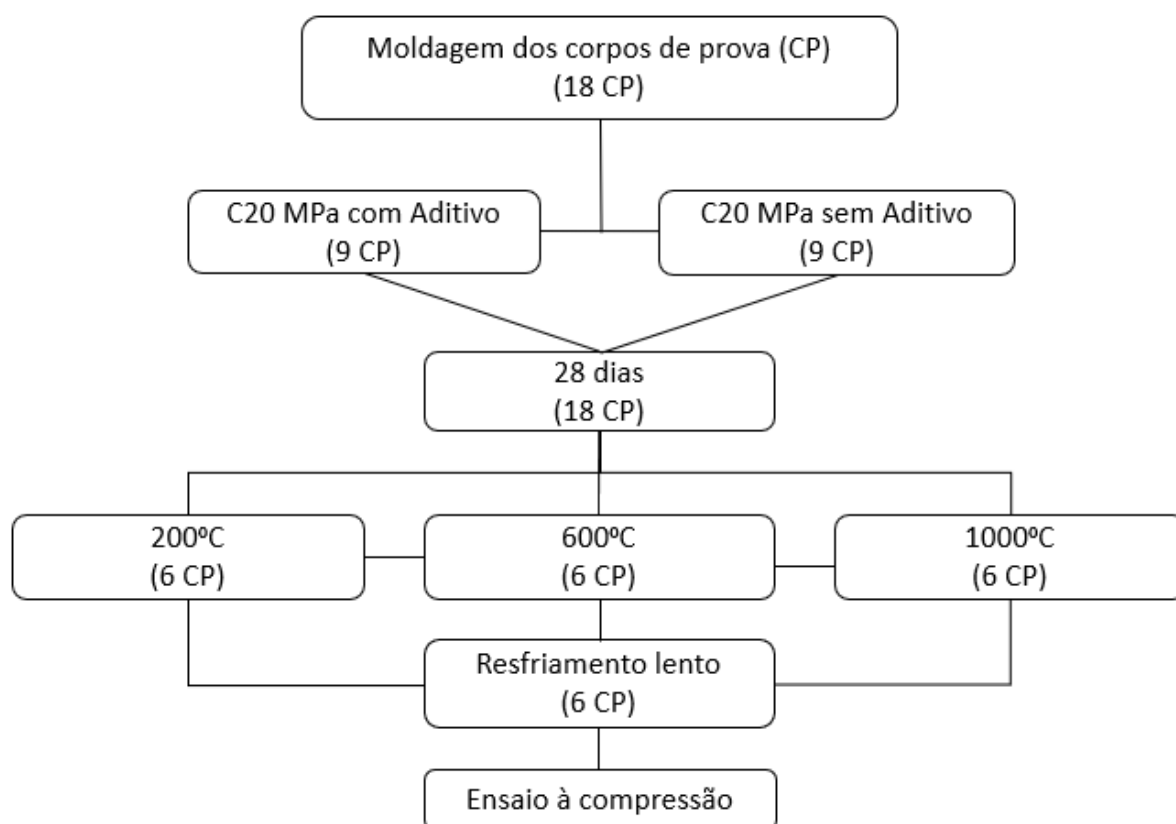
O aditivo utilizado foi o Sika Concreto Forte, que segundo suas especificações, é um aditivo plastificante líquido que propicia a redução de água na composição do concreto, sem que se altere o tempo de pega e ainda aumenta a resistência do mesmo.

3.3 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

3.3.1 Moldagem e cura dos corpos de provas

Para a realização do atual experimento foram moldados 3 corpos de provas para cada tipo de concreto, para cada patamar de temperatura, totalizando assim 18 corpos de prova, conforme Figura 1.

As amostras foram moldadas de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, em formato cilíndrico com 10 cm de diâmetro, por 20 cm de altura, respeitando as duas camadas e 12 golpes em cada, para o correto adensamento. Após 24 horas de cura inicial o concreto foi desmoldado e levado para câmara úmida, onde ocorreu a cura até o momento do ensaio.

Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa

Fonte: Autor (2019).

3.3.2 Ensaio de temperatura

Após o período de 28 dias de cura, os corpos de provas foram levados ao forno mufla da marca JUNG e temperatura máxima de aquecimento de 1000°C de modo a que sejam submetidos à exposição em patamares de temperatura (200°C, 600°C e 1000°C) a uma taxa de aquecimento de 27,4°C/min estipulado pela ISO 834. Após atingido a temperatura, as amostras ficaram em exposição por mais 30 minutos, para em seguida serem resfriadas lentamente (temperatura ambiente).

3.3.3 Ensaio de resistência à compressão

Após o resfriamento das peças por 24 horas, atendendo à tolerância imposta pela ABNT NBR 5739:2007, os corpos de provas foram colocados em uma prensa hidráulica da marca

Contenco, onde foram realizados os testes de compressão. As amostras sofreram incrementos constantes de carregamento com uma taxa estipulada pela ABNT NBR 5739:2007 de 0,5 MPa/s, até o seu rompimento.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram armazenados por meio de uma planilha em Excel (Quadro 2), para que posteriormente fosse traçado um gráfico do tipo linha comparando as resistências à compressão dos concretos utilizados com suas respectivas temperaturas, de forma a obter o concreto que teve o melhor desempenho a exposição de diferentes temperaturas.

A análise foi feita a olho nu e posteriormente tabulada em uma planilha específica no Excel (Quadro 3), de forma a ter uma temperatura média na qual comece sua ocorrência.

Quadro 2 - Dados de resistência à compressão

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO					
TEMPERATURA	ADITIVO	CP1 (Mpa)	CP2 (Mpa)	CP3 (Mpa)	MÉDIA (Mpa)
200 °C	SIM				
	NÃO				
600 °C	SIM				
	NÃO				
1000 °C	SIM				
	NÃO				

Fonte: Autor (2019).

Quadro 3 - Dados da ocorrência de *spalling*

OCORREU SPALLING?					
TEMPERATURA	ADITIVO	CP1 (N/S)	CP2 (N/S)	CP3 (N/S)	MAIOR FREQ. (N/S)
200 °C	NÃO				
	SIM				
600 °C	NÃO				
	SIM				
1000 °C	NÃO				
	SIM				

Fonte: Autor (2019).

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

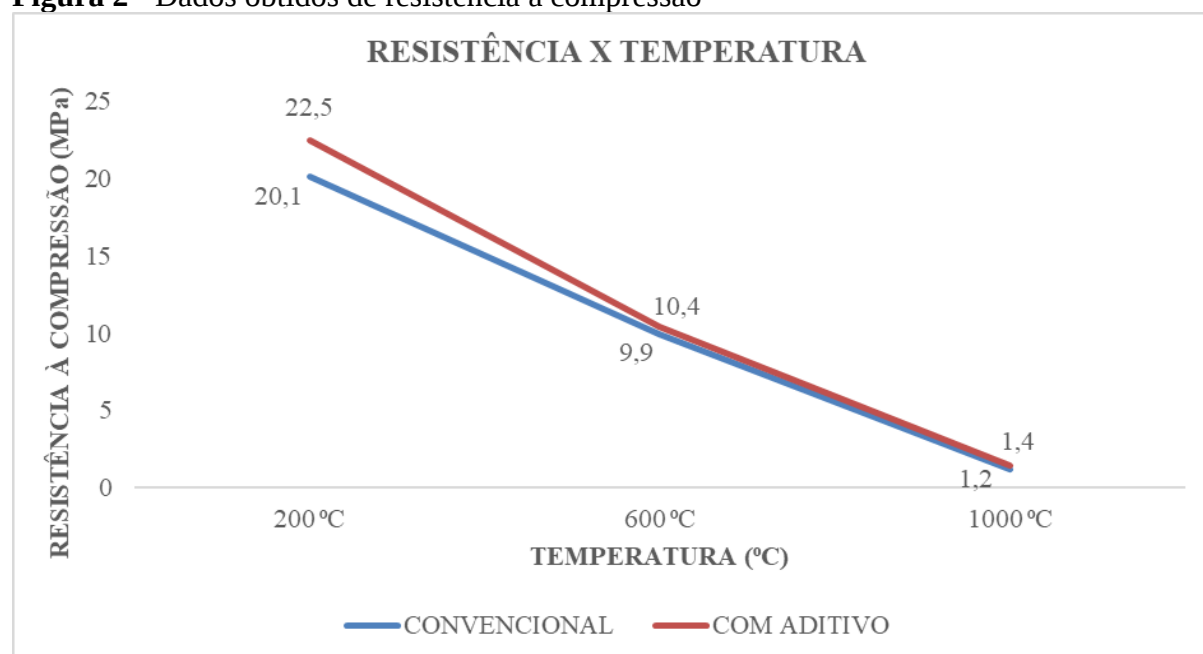
No capítulo em questão serão apresentadas análises e discussões dos resultados obtidos após ensaios à compressão em concretos com e sem aditivo plastificante, dando-se ênfase ao comportamento da resistência à compressão de ambos, após os mesmos sofrerem a ação de diferentes patamares de temperatura.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Foi realizado o ensaio à compressão em seis corpos de prova para cada patamar de temperatura. O ensaio iniciou colocando-se na mufla os seis corpos de prova, dos quais três eram de concreto com aditivo e três de concreto convencional, a diferentes patamares de temperatura de 200°C, 600°C e 1000°C, sendo seis para cada patamar de temperatura. Após sofrerem a ação da temperatura, os mesmos passaram por um resfriamento lento e posteriormente foram levados à prensa hidráulica. Todos foram analisados aos 28 dias de idade.

Os valores obtidos através do ensaio à compressão estão dispostos na Figura 2, que demonstra que foram realizadas a média dos três corpos de prova, adotando-se a média como a resistência à compressão para cada situação estudada.

Figura 2 - Dados obtidos de resistência à compressão



Fonte: Autor (2019).

4.2 EFEITOS DA TEMPERATURA

Não levando-se em consideração todas as variáveis do estudo, apenas considerando o efeito da temperatura no material concreto, nota-se que a resistência à compressão sofre um decréscimo gradativo quando exposto a temperaturas mais elevadas. Observa-se na Figura 1 que quando exposto a uma temperatura de 200°C ambos os concretos ainda manteriam suas funções estruturais, pois apresentaram valores equivalentes à resistência pretendida, assim como citado por Neville (1997).

Nota-se que quando atingido um patamar de 600°C de temperatura o concreto já demonstrou uma perda na sua resistência à compressão bastante significativa, apresentando perda maior que 50% em comparação ao obtido a 200°C, contrapondo o citado pelos autores Neville (1997) e Souza e Moreno Jr (2010), que em seus estudos citam que a resistência à compressão do concreto após completar 28 dias de vida não demonstra uma perda muito significativa em temperaturas de até 600°C. Essa variação de resultados, segundo Forigo (2017), é decorrente de vários fatores inerentes ao concreto ou relativos às condições de ensaios, como a taxa de aquecimento da mufla, a relação água/cimento, os tempos de exposição aos patamares de temperatura e o tipo de resfriamento utilizado.

Quando exposto a um patamar de temperatura de 1000°C é possível notar que o concreto perdeu praticamente toda sua resistência à compressão, apresentando uma perda de 95% na sua resistência em comparação ao obtido a 200°C, sendo assim apresentou resultados compatíveis com os descritos pelos autores citados no presente estudo.

4.3 EFEITOS DO ADITIVO PLASTIFICANTE

Levando em consideração os resultados obtidos e descritos na Figura 1, avaliando o concreto convencional em comparação com o concreto com aditivo nota-se que o aditivo foi eficiente em temperaturas menos elevadas, não apresentando diferença acentuada quando exposto a temperaturas mais altas.

Sendo assim, em um patamar de 200°C é possível observar que o concreto com aditivo resistiu a esforços de compressão cerca de 12% a mais que o concreto convencional, porém a temperaturas de exposição de 600°C e 1000°C o mesmo apresentou valores irrisórios de acréscimo

na resistência à compressão, sendo assim considera-se que a temperaturas muito altas a presença do aditivo plastificante não obteve um desempenho satisfatório.

4.4 OCORRÊNCIA DE *SPALLING*

Considerando apenas a ocorrência de *spalling* em ambos os concretos, é possível observar por meio do Quadro 4 que não houve a ocorrência de *spalling* em nenhum dos corpos de prova, isso se dá, segundo Costa *et. al.* (1994), porque o *spalling* é mais comum em concretos de alta resistência, por terem uma estrutura mais compacta e com menos poros, em que o vapor sente mais dificuldade de evadir do interior da peça, causando assim rupturas bruscas na mesma e impossibilitando qualquer ensaio de resistência.

Nota-se que em comparação com o concreto convencional a presença do aditivo plastificante não teve grande interferência na ocorrência ou não de *spalling*.

Quadro 4 - Dados obtidos da ocorrência de *spalling*

OCORREU <i>SPALLING</i> ?					
TEMPERATURA	ADITIVO	CP1 (N/S)	CP2 (N/S)	CP3 (N/S)	MAIOR FREQ. (N/S)
200 °C	NÃO	N	N	N	N
	SIM	N	N	N	N
600 °C	NÃO	N	N	N	N
	SIM	N	N	N	N
1000 °C	NÃO	N	N	N	N
	SIM	N	N	N	N

Fonte: Autor (2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se o efeito da temperatura sobre as amostras de concreto foi possível observar que ela influenciou significativamente, pois conforme aumentava a temperatura de exposição maior era a redução das resistências à compressão, tanto no concreto convencional quanto no com aditivo.

O concreto com aditivo não apresentou uma grande discrepância em relação ao concreto convencional em temperaturas mais altas (600°C e 1000°C), porém a um patamar de 200°C o

concreto com aditivo apresentou uma melhora na resistência à compressão significativa, obtendo valores de até 12% a mais que os obtidos no convencional.

Quanto à ocorrência de *spalling*, podemos notar que tanto o concreto com aditivo quanto o sem aditivo resistiram bem a todos os patamares de temperatura, sendo que nenhuma das peças apresentou o fenômeno de *spalling*.

Sendo assim, o uso de um aditivo plastificante pode ser útil ao concreto em situações de incêndio em que seu ambiente interno não alcance alto grau de elevação da temperatura, principalmente em edificações que contenham instalações de prevenção contra incêndio, onde é dimensionado para o fogo não se propagar rapidamente, podendo assim manter os elementos estruturais com sua resistência adequada e evitando a ruína do mesmo.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa e em análise de referências estudadas, verificou-se que alguns estudos poderiam contribuir para o aperfeiçoamento e melhor compreensão do comportamento do concreto. Dessa forma, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Analisar a resistência à compressão do concreto com aditivo plastificante em patamares de temperatura com menores intervalos, de modo a obter resultados mais aproximados;
- Analisar a ocorrência de *spalling* do concreto com aditivo plastificante em patamares de temperatura com menores intervalos, de modo a obter resultados mais aproximados;
- Expandir a pesquisa para concretos com dosagens diferentes e maiores porcentagens de adição do aditivo, analisando se ocorrerá alguma diferença significativa;
- Utilizar outros aditivos ou marcas diferentes, observando se ocorrerá uma melhora significativa quanto à ocorrência de *spalling* e resistência à compressão;
- Utilizando os mesmos critérios deste estudo, manter o concreto por um tempo maior à exposição da temperatura, verificando os efeitos causados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimentos para moldagem e cura dos corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12655**: concreto – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

BESERRA, S. A. **Influência do tipo e do tempo de duração de cura nas propriedades mecânicas de concretos de alto desempenho (cad) produzidos em período quente ($t > 25^{\circ}\text{C}$) e de baixa umidade relativa do ar ($h < 50\%$)**. 2005. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

CASONATO, C. A.; CAETANO, L. F.; LIMA, R. C. A.; BÉRGMAN, C. P.; GASTAL, F. P. S. L. **O spalling no concreto de alto desempenho**. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COSTA, C.N.; FIGUEIREDO, A.D.; SILVA, V.P. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

COSTA, C.N.; SILVA, V.P. **Considerações sobre a segurança das estruturas de concreto em situação de incêndio**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES, R. R. A.; MOURA, R. C. A. O Concreto como material de construção. **Cadernos de graduação**, Sergipe, n.17, p 49-58, out. 2013.

FERNANDES, F. M.; SILVA, B. V.; **Influência da adição de aditivo plastificante e água para manter o abatimento ao longo do tempo na resistência à compressão do concreto**. 19f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

FLORES, B. C.; ORNELAS, É. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de combate a incêndio – manual de bombeiros**. 1. ed. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia, 2016.

FONSECA, R. O. **Concretos submetidos a ciclos de temperaturas elevadas. estudos experimentais em corpos de prova localizados em unidades de produção de uma usina siderúrgica**. 2010. 185f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

FORIGO, C. **Determinação da resistência à compressão em concretos expostos a altas temperaturas por meio de ensaios não destrutivos**. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

HELENE, P.; LEVY, S. **Boletín Técnico**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, México, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **834**: Fire-resistance tests – elements of building construction, Suíça, 1999.

LARA, L. A. M. **Materiais de construção**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Ouro Preto, 2013.

LE MOS, P. S. B. **Estudo de estruturas de concreto sob altas temperaturas através do método dos elementos finitos**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO, G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, T. C.; LIMA, S. F. Concreto e suas inovações. **Cadernos de graduação**, Maceió, n.1, p. 31-40, maio. 2014.

LIMA, R. C. A. **Investigação do Comportamento de Concretos em Temperaturas Elevadas**. 2005. 257f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LORENZON, A.; **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas**. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pini, 1994.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M. P. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. **Semana: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, n.1, p 47-55, mar. 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Editora Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

OLIVEIRA, A. P. L.; GONÇALVES, D.; BRITTO, K. L.; CAMPOS, N. S.; SILVEIRA, S. I.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, S. S.; **Resistência característica do concreto à compressão**. Instituto Doctum de Ensino de Minas Gerais, Juiz de Fora, 2016.

OLIVEIRA, L. D.; PASSADES, A. J. **Tabela de traços de concreto**. Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Editora Globo S.A, 1998.

SILVA, L. C. T. **Dicas de construção - Aditivos.** Disponível em < <https://www.sitengenharia.com.br/diversosaditivos.htm> > Acesso em: 18 de mai. 2019.

SILVA, V. P. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio.** 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2016.

SIMIANO, L. F.; BAUMEL, L. F. S. **Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio.** Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná, Curitiba, 2013.

SOUZA, A. A. A.; MORENO JR, A. L. Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, Campinas, n.4, p 432-448, dez. 2010.