

Estudo do Comportamento dos Concretos em Situações de Incêndio

Wagner, R.^a, <https://orcid.org/0000-0002-6514-0552>, (rafawagner2008@hotmail.com)

Schein, D.M.^a, <https://orcid.org/0000-0002-5567-2774>, (deboraschein@hotmail.com)

Santa Maria, C.S.^a, <https://orcid.org/0000-0003-4195-8664>, (carolsantos.sb@gmail.com)

Seidler, N.^a, <https://orcid.org/0000-0002-9036-0813>, (seidler@san.uri.br)

^a Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões (URI-Santo Ângelo), Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil.

Resumo

O concreto, quando submetido a situações de incêndio, sofre comprometimentos de suas propriedades, os quais podem alcançar grandes proporções e até mesmo resultar no colapso da estrutura. Este trabalho tem como objetivo a investigação da interferência da elevação da temperatura nas propriedades do concreto. Para tanto, foram preparados traços experimentais de acordo com a metodologia de dosagem de Paulo Helene e Terzian, com o traço 1:5 de cimento e agregados. Desta forma, foram moldados 30 corpos de prova para tipo de cimento estudado, sendo 6 deles como referência, 12 submetidos a temperatura de 300°C e 12 a temperatura de 500°C. Os mesmos foram submetidos ao resfriamento rápido e ao resfriamento lento, usuais em intervenções de combate a incêndios. Os cimentos utilizados foram o CP-II- 32 F, CP-IV, CP-V ARI. As amostras foram ensaiadas em relação à resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral e, de maneira geral, as maiores perdas de resistências foram observadas nos corpos de prova submetidos a temperatura de 500°C e resfriados rapidamente. Além disso, em relação ao resfriamento o CP-IV foi o que menos sofreu alterações, porém em relação à temperatura sofreu as maiores variações dentre os cimentos estudados.

Palavras Chave – Concreto, Incêndio, Resfriamento, Resistência Mecânica, Temperatura.

Abstract

The concrete, when subjected to fire situations, suffers from impairment of its properties, which can reach large proportions and even result in the collapse of the structure. This work aims to investigate the interference of temperature rise on the properties of concrete. For this, experimental traces were prepared according to Paulo Helene and Terzian dosing methodology, with the 1: 5 trace of cement and aggregates. Thus, 30 specimens were molded for the type of cement studied, 6 of them as reference, 12 submitted to 300 ° C and 12 to 500 ° C. They were subjected to rapid cooling and slow cooling, which are common in fire fighting interventions. The cements used were CP-II-32 F, CP-IV, CP-V ARI. The samples were tested for compressive strength and tensile strength by diametral compression and, in general, the largest strength losses were observed in specimens subjected to a temperature of 500 ° C and rapidly cooled. In addition, in relation to cooling, CP-IV was the least altered, but in relation to temperature, it presented the largest variations among the studied cements.

Keywords – Concrete, Fire, Cooling, Mechanical Resistance, Temperature.

1. Introdução

O concreto, por ser um dos materiais mais utilizados no mundo, exige que sejam realizadas muitas pesquisas para avaliar suas propriedades em situações peculiares e incomuns, como é o caso de uma eventual exposição ao fogo. Pesquisas voltadas ao comportamento do concreto em situações de incêndio tornam-se cada vez mais importantes, uma vez que o desenvolvimento de tecnologias do concreto para estas situações permite que as estruturas continuem apresentando um desempenho mínimo em temperaturas superiores às de serviço e que o calor não conduza o material à perda total da sua capacidade de suporte.

Quando uma edificação é atingida por um incêndio, os seus usuários ficam sujeitos a um elevado risco de vida e a construção pode sofrer riscos estruturais consideráveis, podendo até serem levadas ao colapso.

Em princípio, o concreto apresenta um desempenho adequado ao ser submetido a elevadas temperaturas, pois é um material não combustível e possui baixa condutividade térmica. Outro fundamento é que, durante o processo de aquecimento, o concreto não desprende gases tóxicos e resiste a um tempo considerável quando exposto ao fogo, mantendo boas características.

Pesquisas referentes a elementos de concreto em altas temperaturas conduzem a resultados muito variáveis, pois sabe-se que o concreto é um material composto, cujos diferentes constituintes não reagem da mesma forma diante das altas temperaturas, o que torna o efeito do fogo um grave problema. A elevação gradual de temperatura provoca efeitos distintos no concreto e nas argamassas, verifica-se alteração na coloração, perda de resistência mecânica, esfrelamento superficial, fissuração ou até mesmo a própria desintegração da estrutura. Devido à perda de água que ocorre nesta situação, verificam-se ainda expansões e/ou contrações térmicas e modificações no arranjo cristalino de alguns dos constituintes do material.

Tem-se que a composição do concreto é um dos fatores que deve ser levado em consideração, pois tanto a pasta quanto o agregado podem se alterar com o acréscimo de temperaturas e de maneiras diferentes. A umidade inicial, o tamanho da peça e a taxa de crescimento da temperatura são fatores importantes que exercem influência, pois governam o desenvolvimento de pressões internas dos produtos gasosos de sua decomposição [1].

O objetivo desta pesquisa foi conhecer melhor o comportamento dos tipos de cimento quanto a ação do fogo, visando fornecer subsídios técnicos as pessoas que o lerem.

2. Referencial Teórico

2.1. *Propriedades térmicas do concreto*

Sabe-se que o concreto é um material que pode ser classificado como um mal condutor de calor, devido a suas propriedades caloríficas. Sua condutividade térmica é baixa, variando de 1,4 a 3,6 J/m².s.°C/m e sua difusibilidade térmica (velocidade com que ocorrem variações de temperatura na massa de concreto), segundo[2], situa-se entre 0,002 e 0,006 m²/h, variando em função do tipo de agregado.

A massa específica não interfere consideravelmente na condutividade dos concretos convencionais, porém a natureza mineralógica dos agregados exerce grande influência nesta propriedade. Tem-se que o agregado basáltico é o de menor condutividade térmica, na faixa de $2 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}^\circ/\text{m segundo}$ [3]. De acordo com [4] o tipo de agregado utilizado na produção do concreto influencia na perda de resistência à compressão devido à ação do fogo, porém, antes dos 500°C a diferença é desprezível.

Outra propriedade relacionada à variação de temperatura é o calor específico, ou seja, a capacidade térmica do concreto, que varia de cerca de 800 a $1200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, este valor aumenta em relação a temperatura e é inversamente proporcional a massa específica do concreto [2].

2.2. *Efeitos da alta temperatura no concreto*

O concreto quando submetido a situações de elevação exacerbada de temperatura, como nos casos de incêndio, sofre várias consequências em seus componentes. Dentre as variáveis que influenciarão no grau de alteração que poderá ocorrer no concreto estão o tempo de exposição, nível de temperatura atingida e o traço do concreto.

Algumas das mudanças que ocorrem são o esfarelamento da superfície calcinada, a separação parcial de pequenas camadas superficiais e os chamados lascamentos explosivos, os quais costumam ocorrer dentro dos primeiros 30 minutos a temperaturas de 250 à 400°C . Pesquisas revelam que a probabilidade de ocorrer lascamentos durante um incêndio cresce com a esbeltez de elementos estruturais e a ocorrência de altas tensões de compressão na seção ao longo de um incêndio [5].

Outras formas de deterioração são o esfarelamento superficial resultante da ação da elevada temperatura na parte carbonatada do concreto, a fissuração consequente da evaporação de água interna e a dilatação térmica dos componentes [2]. Segundo [6], a aderência entre o agregado graúdo e a pasta de cimento também é amplamente prejudicada pela elevação de temperatura.

De acordo com [4] a pasta do concreto, composta de cimento, areia e água, possui grandes quantidades de água capilar e água adsorvida, as quais evaporam ao longo do aumento da temperatura e geram um acréscimo de pressão de vapor no interior dos poros do material. Segundo [2], estas tensões de origem térmica dentro da matriz de concreto influenciam na desintegração das regiões superficiais dos elementos estruturais.

Na fase inicial do incêndio verifica-se o aumento gradual da temperatura, geralmente dentro de um curto espaço de tempo e em temperaturas abaixo de 250°C o efeito sobre a resistência mecânica do concreto é muito pequena. Nesta fase começa a ocorrer a desidratação do gel de C-S-H, bem como a retração por perda de água. Acima de 300°C já ocorre uma perda considerável de resistência mecânica do concreto, fato que se intensifica em situações de resfriamento rápido, sendo que o mesmo pode ser responsável pelas maiores perdas de resistência mecânica. Já quando é realizado o resfriamento lento há uma possibilidade de se recuperar até 90% da resistência do concreto [2]. A Tabela 1 apresenta os efeitos da temperatura, ao longo do seu acréscimo, no concreto.

Tabela 1: Efeitos causados no concreto e suas respectivas temperaturas de origem.

TEMPERATURA [°C]	EFEITO	RESISTÊNCIA RESIDUAL [%]
100-200	Lascamento, início da desidratação C-S-H**	100
200-300	Retração por perda de água da tobermorita**** e dilatação dos agregados	90
300-400	Intensificação da desidratação do C-S-H**, ocorrência de fissuras superficiais	80
400-500	Retração acentuada por desidratação do hidróxido de cálcio	40
500-600	Desidratação acentuada do hidróxido de cálcio	30
575	Expansão do quartzo, com fissuração da matriz cimentícia	-
600-700	Transformação dos agregados. $\text{CaCO}_3^* \rightarrow \text{CaO}^* + \text{CO}_2^*$	-
870	Transformação do quartzo em tridimita***	-

*Carbonato de cálcio transformando-se em óxido de cálcio + dióxido de carbono.

**Composto químico do cimento Portland, descrito por $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

***Cristal de baixa resistência mecânica gerado após a exposição do quartzo a altas temperaturas.

****Gel mineral que se forma na interface matriz cimentícia - agregado graúdo durante durante a cura do concreto

Fonte: Macedo et.al

3. Materiais e Métodos

3.1. Caracterização dos materiais

3.1.1 Cimento

Os cimentos empregados na pesquisa foram o CP II- 32F, CP-IV e o CP-V ARI, todos de acordo com a NBR 16697[8]. Suas composições químicas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química do cimento

Óxidos	Resultados em %		
	CP II-F-32	CPIV-32	CPV-ARI
Al_2O_3	4,25	9,43	4,38
SiO_2	18,03	29,98	19,08
Fe_2O_3	2,94	4,12	2,97
CaO	61,27	44,96	61,57
MgO	2,71	2,17	3,15
SO_3	2,59	2,21	3,08
Perda ao Fogo	6,75	4,79	3,58

Fonte: Cimentos Itambé

3.1.2 Agregados

Em relação aos agregados graúdos, a norma [9] os define como materiais pétreos, obtidos por fragmentação artificial ou natural, inertes, com propriedades adequadas, possuindo dimensão nominal máxima inferior a 152mm e mínima superior ou igual a 0,075mm. Os agregados graúdos utilizados são de origem basáltica provenientes da cidade de Santo Ângelo/RS, sendo estes caracterizados como brita 1, com a variação de diâmetros entre 9,5 e 19 mm.

De acordo com [9] os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,150mm. Estes podem ser de origem natural, resultado de um processo de britagem, ou uma mistura de ambos. O agregado miúdo empregado na pesquisa é a areia média de rio, proveniente da cidade de Santa Maria/RS, que possui origem mineral.

3.1.3 Água

A água para ser utilizada nos concretos deve ser potável, com as mesmas propriedades da água utilizada para consumo humano. A água empregada na pesquisa foi potável advinda da Companhia Rio-grandense de Saneamento, da cidade de Santo Ângelo/ Rio Grande do Sul.

3.2. Dosagem

Para a dosagem foi utilizada a metodologia da análise experimental de Paulo Helene e Terzian[10], definindo o traço intermediário fixo de 1:5, de cimento e agregados, um teor argamassa de 52% e *slump* 8 ±1.

3.3. Apresentação das amostras

Foram moldados 30 corpos de prova por tipo de cimento. Destes, 6 foram ensaiados sem serem submetidos a elevação de temperatura, para servirem de referência ao estudo e 24 foram levados à mufla. A Tabela 3 apresenta os tipos de cimentos e as temperaturas analisadas, bem como a quantidade de corpos de prova destinados a cada variável.

Tabela 3: Quantidade de corpos de prova moldados para cada variável e tipo de cimento

CIMENTO	TEMPERATURA 300°C		TEMPERATURA 500°C		TEMPERATURA AMBIENTE
	Resfr. Lento	Resfr. Rápido	Resfr. Lento	Resfr. Rápido	
CP- II - 32 F	6	6	6	6	6
CP- IV	6	6	6	6	6
CP- V ARI	6	6	6	6	6

Fonte: Autores.

3.4. *Moldagem e Cura dos Corpos de Prova*

Foram moldados corpos de prova de 10 x 20cm, que após a pesagem e seleção dos materiais, foi realizada a concretagem através de uma betoneira com capacidade para 100 litros. Primeiramente foi adicionado o agregado graúdo e metade da quantidade de água a ser utilizada. Logo após foi adicionado o cimento em sua totalidade e, posteriormente, a quantidade restante de água e o agregado miúdo. O adensamento foi realizado com o auxílio de uma haste metálica de 16 mm e se sucedeu em 2 camadas de 12 golpes. A Figura 1 apresenta o adensamento dos corpos de prova e a Figura 2 os corpos de prova recém moldados.



Fig. 1. Adensamento dos corpos de prova através de haste metálica.



Fig. 2. Corpos de prova cilíndricos moldados.

Em 24 horas os corpos de prova foram desmoldados, identificados e levados à câmara úmida, com 95% de umidade e temperatura de 23 ± 2 graus Celsius, onde permaneceram por 28 dias, até serem levados à mufla para serem submetidos à elevação de temperatura.

3.5. *Aquecimento e resfriamento de corpos de prova*

Após 28 dias em câmara úmida os corpos de prova foram submetidos ao aquecimento na mufla com uma elevação média de temperatura de $20^\circ\text{C}/\text{min}$.

Posteriormente a estabilização da temperatura desejada os corpos de prova foram mantidos na mufla durante 1 hora, assemelhando-se assim a um tempo de exposição ao fogo de 1 hora. Para simular um resfriamento lento, passado esse período, para cada tipo de cimento e temperatura 6 corpos de prova foram retirados da mufla e deixados em temperatura ambiente. O resfriamento brusco foi realizado nos outros 6 corpos de prova, através da imersão dos mesmos, imediatamente após serem retirados da mufla, em água saturada de cal à temperatura de 21°C . A Figura 3 apresenta os corpos de prova na mufla, logo após a abertura da mesma. Na Figura 4 pode-se ver o resfriamento lento e a Figura 5 o resfriamento rápido sendo realizado.



Fig. 3. corpos de prova sendo retirados da mufla.



Fig. 4. Corpos de prova elevados a 300°C sendo resfriados lentamente.



Fig. 5. Resfriamento rápido dos corpos de prova.

3.6. Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram atendidas as determinações da norma [11] e o mesmo foi realizado aos 28 dias de idade do concreto, após completo resfriamento dos corpos de prova.

O ensaio foi realizado através de uma prensa hidráulica, com capacidade de 2000 kN, monitorada por computador. A Figura 6 ilustra a realização deste ensaio.

3.7. Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma [12] com a mesma prensa utilizada no ensaio de resistência à compressão. A Figura 7 mostra o referido ensaio.



Fig. 6. Ensaio de Resistência à compressão.



Fig. 7. Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral.

3.8 Perda ao fogo

O ensaio de determinação de **perda ao fogo** exprime a diminuição de massa do **cimento** após aquecimento em mufla a 950°C. A maior parte desse valor é referente ao dióxido de carbono (CO₂) e, a outra parte, à água evaporada do gesso. Indica a extensão da carbonatação e e da hidratação do óxido de cálcio e de magnésio livre devido a exposição ao ar. Segundo Neville, A. M. (2016), o teor máximo de perda ao fogo a 1000 °C estabelecido pela BS EN-197-1 é de 5%, enquanto que o valor estabelecido pela ASTM C 150-09 é de 3%, excetuando os cimentos CP-IV que é de 2,5%. Para cimentos com filer calcário admite-se um valor maior de perda ao fogo, desta forma, o teor de filer calcário influenciará no percentual de diferença significativa dos resultados de PF.

3.9 Análise da Variância

Foram realizadas Análises da Variância amostral (ANOVA) comparando os valores encontrados na pesquisa em laboratório e com isto facilitando as conclusões da presente pesquisa.

4. Resultados

As Figuras 8 e 9 apresentam respectivamente, os gráficos com os resultados dos rompimentos e a porcentagem de perda de resistência dos corpos de prova em relação a suas referências. A Tabela 4 demonstra as percentagens das perdas de resistencia mecânica em relação aos corpos de prova de referencia.

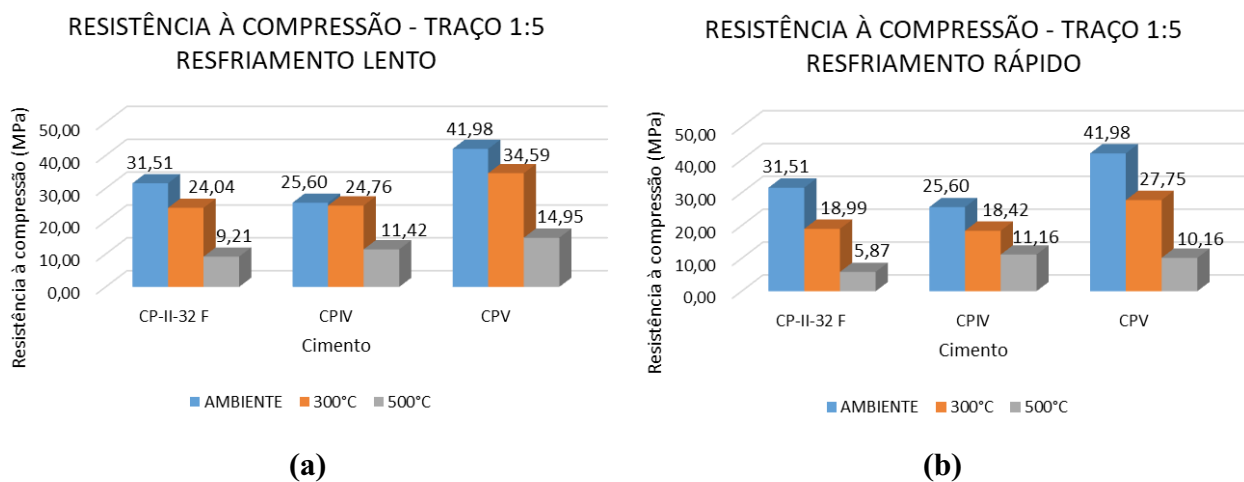


Fig. 8. Gráficos dos resultados dos rompimentos à compressão. Fonte: Autores.

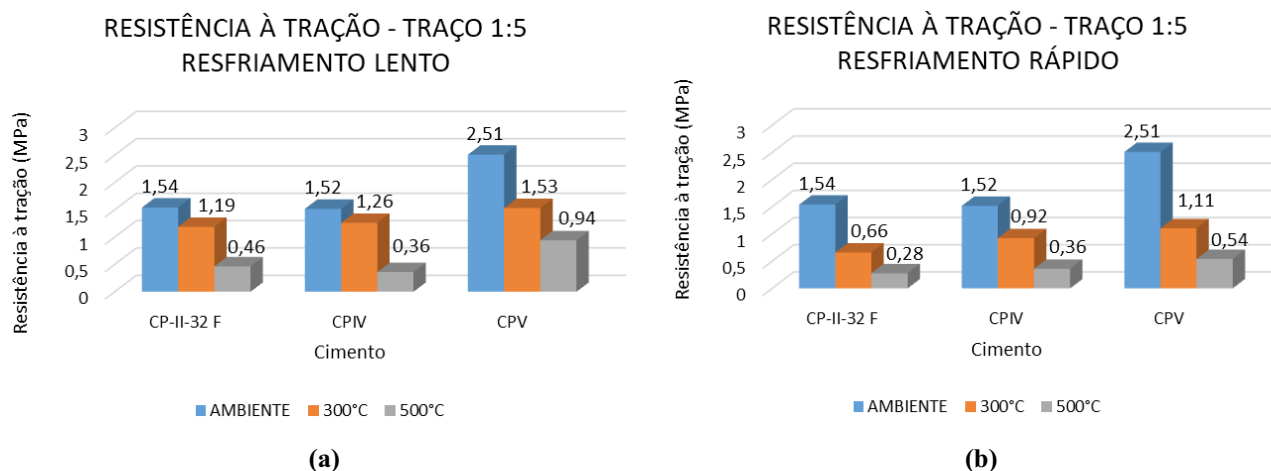


Fig. 9. Gráficos dos resultados dos rompimentos à tração. Fonte: Autores.

Tabela 4. Porcentagens das perdas de resistência mecânica em relação aos corpos de prova referência.

Resistência à compressão lento			Resistência à compressão rápido		
CIMENTO	redução a 300°C (%)	redução a 500°C (%)	CIMENTO	redução a 300°C (%)	redução a 500°C (%)
CPII	17,79	68,52	CPII	35,07	79,93
CPIV	3,27	55,39	CPIV	28,03	56,39
CPV	17,60	64,38	CPV	33,90	75,79

(a) (b)

Resistência à tração lento			Resistência à tração rápido		
CIMENTO	redução a 300°C (%)	redução a 500°C (%)	CIMENTO	redução a 300°C (%)	redução a 500°C (%)
CPII	22,94	69,91	CPII	57,14	81,82
CPIV	16,92	76,26	CPIV	39,34	76,26
CPV	38,96	62,37	CPV	55,85	78,46

(c) (d)

Fonte: Autores.

Analisando as figuras 8 e 9 e tabela 4, pode-se perceber que o CP-IV, quando exposto ao resfriamento lento, quase não sofreu alterações em sua resistência à compressão a 300°C. A 500°C, este tipo de cimento continuou sendo o que menos sofreu variações, porém perdeu mais de 50% da sua resistencia inicial. Os resultados atingidos pelo CP-II e pelo CP-V são semelhantes entre si quando observados nestas mesmas condições.

Considerando-se o resfriamento rápido pode-se destacar que o CP-II foi o que mais sofreu alterações em sua resistência à compressão, seguido do CP-V, para ambas as temperaturas. O CP-IV continuou apresentando os melhores resultados de resistência para este tipo de resfriamento. Para esta condição de resfriamento e elevação da temperatura a 500°C, é importante destacar que alguns corpos de prova moldados com CP-IV sofreram deterioração física, não podendo assim serem utilizados para os ensaios de resistência mecânica.

Segundo a Análise da Variância, para o cimento CP-II-F, percebeu-se que não existem diferenças significativas entre resfriamento lento e rápido, tanto a 300°C quanto a 500°C, nas resistências à compressão. Entretanto, para as mesmas temperaturas na resistência à tração, pode-se concluir que existem diferenças consideráveis nestes dois tipos de resfriamento, nesta mesma análise.

Quanto ao concreto moldado com CP-V é possível perceber alterações significativas na sua resistência à compressão a 500°C, porém a 300°C não apresentou diferenças consideráveis, o que se repete na resistência à tração. Também, de acordo com ANOVA, para o CP-IV não foram verificadas alterações significativas na resistência à compressão entre tipos de resfriamento para a mesma temperatura.

5. Conclusão

De modo geral pode-se verificar que a diferença numérica entre as porcentagens de perda de resistência dos corpos de prova entre resfriamento lento e rápido foi considerável, porém a análise científica pela ANOVA constatou que o único tipo de concreto com alterações significativas foi o composto de CP-V quando elevado a 500°C, nos demais não houveram diferenças significativas entre os dois tipos de resfriamento nos corpos de prova rompidos à compressão. Porém nos corpos de prova rompidos a tração essa diferença estatística foi facilmente perceptível e pôde-se notar grandes variações nas resistências dos corpos de prova com CP-II-F-32 tanto a 300°C quanto a 500°C e com CP-V a 500°C apenas.

Os corpos de prova formados de CP-IV apresentaram maior variação de resistência de 300°C para 500°C tanto à compressão como à tração. Deste modo, em relação ao CP-IV é possível concluir que este tipo de cimento apresenta variações muito pequenas na sua resistência quando submetido à temperatura de 300°C, o que não equivaleu a 500°C, onde é possível perceber perdas de mais de 50% em relação à resistência inicial. Em partes pode-se justificar a baixa resistência do CP-IV a 500°C pela deterioração física destes corpos de prova ocorrida no resfriamento rápido nesta pesquisa.

Na Análise da Variância, para o CP-IV não foram verificadas alterações significativas entre os tipos de resfriamentos para a mesma temperatura. Isso significa dizer que, em relação ao resfriamento, o CP-IV foi o que menos sofreu alterações, porém em relação a temperatura sofreu as maiores variações dentre os cimentos estudados. A ocorrência deste comportamento pode ser justificada pelo fato de ser encontrada, em sua composição química, grande quantidade de cinza volante presente neste cimento, parte reagindo como reação pozolânica e parte sem reagir. Como a cinza volante tem propriedades isolantes em caso de incêndios, pode-se atribuir esta propriedade como uma possível razão para este concreto ter resistido as temperaturas iniciais, em 300°C.

Em todos os casos a perda numérica de resistência foi maior no resfriamento rápido e a 500°C. O concreto composto de CP II teve a maior perda, chegando a perder 80 % de sua resistência quando rompido a tração, após passar por aquecimento a 500 graus e resfriamento rápido. Os resultados atingidos pelo CP-II e pelo CP-V são semelhantes entre si quando observados nas mesmas condições.

Fazendo uma análise da composição química dos cimentos, mais especificamente da propriedade de perda ao fogo, como esperado o CP-II-F foi o que obteve maior perda de resistência, já o CP-IV obteve melhores desempenhos que o CP-V mesmo apresentando em sua composição um valor maior para a perda ao fogo que o CP-V.

O concreto que apresentou melhor desempenho foi o constituído de CP-IV, quando aquecido a 300 graus e resfriamento lento, com uma redução de somente 3 % em sua resistência.

Referências

- [1] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. xxi, 751 p.
- [2] MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M. P. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. Semana: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, V. 32, p 47 – 55, 2011.
- [3] SOUSA, et.al; Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto. IBRACON, 2010.
- [4] LORENZON, A. Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas. Trabalho de conclusão de curso. Pato Branco, 2014.
- [5] COSTA, C.N; SILVA V.P. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural. Brasília, 2002.
- [6] LIMA, et.al. Efeitos de alta temperatura no concreto. II Seminário de patologias nas edificações, Porto Alegre, 2004.
- [7] Macedo et al.(2016). Análise Termoestrutural de Vigas de Concreto Armado em Situação de Incêndio. Ibracon, Belo Horizonte-MG, 2016.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [9] _____. NBR 7211: Agregados para concreto- Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- [10] _____. NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.
- [11] _____. NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- [12] NEVILLE, A, M. Propriedades do Concreto. 5ª Edição. Bookman Editora, Porto Alegre, 2016.
- [13] HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini, 2001. 349 p.