

ESTUDO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO APÓS SUBMISSÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS*

Érika Elis Kuo¹
Diogo da Silva Fidelis¹
Willy Ank de Moraes²
Marcelo Costa Choukri³
Marcio de Moraes Tavares⁴

Resumo

O concreto é um material de baixa condutividade térmica, não é combustível e mesmo assim devido a sua composição heterogênea dos seus materiais, em situações de incêndio sofrem fisicamente, quimicamente e mecanicamente, podendo chegar ao colapso total da estrutura. Com o objetivo de estudar a resistência a compressão do concreto submetido a altas temperaturas, foram moldados 50 corpos de provas de 10 cm de diâmetro e 20 de altura sendo, 20 com uma resistência característica de 15 MPa, 20 com 20 MPa e 10 com 30 MPa. Os corpos de provas foram submetidos a temperaturas diferentes (300°C, 600°C, 900°C e 1050°C), e expostos durante 30, 60 e 90 minutos. A perda de resistência com o incremento da temperatura foi de cerca de 1,8 MPa para cada 100°C de elevação da temperatura, sendo que se verificou colapso, sem e com choque térmico, nas simulações com temperatura de 1050°C.

Palavras-chave: Concreto; incêndio; resistência térmica; resistência mecânica.

STUDY OF THE CONCRETE RESISTANCE UNDER COMPRESSION AFTER SUBMISSION TO HIGH TEMPERATURES

Abstract

Concrete is a material of low thermal conductivity, it is not combustible and even so due to its heterogeneous composition of its materials, in fire situations they suffer physically, chemically and mechanically, being able to arrive at the total collapse of the structure. In order to study the compressive strength of the concrete submitted to high temperatures, 50 specimens of 10 cm diameter and 20 cm high were molded. 20 specimens with a characteristic strength of 15MPa, 20 with 20MPa and, 10 with 30 MPa. The samples were subjected to different temperatures (300 °C, 600 °C, 900 °C and 1050 °C), and exposed times of 30, 60 and 90 minutes. The loss of resistance with the increase in temperature was about 1.8 MPa for every 100 ° C of temperature rise, and collapse, without and with thermal shock, was verified in the simulations with a temperature of 1050 ° C.

Keywords: Concrete; Fire; Thermic Resistance; Mechanic Resistance.

¹ Graduandos em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Guarujá), Guarujá, SP, Brasil. E-mail: diogo.fideliz.89@gmail.com.

² Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: wmorais@unaerp.br.

³ Arquiteto, Engenheiro Civil, Especialista em concreto, Professor da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mchoukri@unaerp.br.

⁴ *Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Coord. do Curso de Eng. Civil e de pós-graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.*

1 INTRODUÇÃO

Silva [1] aponta que o primeiro livro com instruções para combater incêndios apareceu em 1896 nos Estados Unidos, surgido em uma época antes de ocorrer incêndios com grandes perdas de vidas humanas. Naquele momento, a segurança contra incêndios era focada na conservação do patrimônio. Esta prática mudou após grandes incêndios com vítimas sendo um deles o do *Triangle Shirtwaist Company* em Nova Iorque em 1911. Com isso surgiu a quinta edição do *Fire Protection Handbook*, considerado um marco divisório da *NFPA (National Fire Protection Association)* em 1914 e que tinha como principal missão proteger vidas e não apenas propriedades.

No século passado, até nos anos 70, o Brasil se assemelhava aos EUA no fato de relegar a segurança contra incêndios a um segundo plano. Ainda não havia ocorrido incêndios com grandes perdas de vidas em território nacional. Porém, uma série de tragédias trouxe mudanças na sistemática da prevenção e combate ao incêndio no sistema brasileiro. Dentre as principais tragédias, têm-se a do incêndio no Gran-Circo Norte Americano em Niterói em 1961, com muitas perdas de vidas; incêndio no edifício Andraus em São Paulo em 1972, primeiro grande incêndio em prédios elevados e no edifício Joelma em São Paulo em 1974 [1].

Um incêndio tem o potencial de causar muitas mortes, além de enormes prejuízos financeiros e perdas de propriedades. Durante o evento do incêndio, e mesmo após sua extinção, é dever do projetista evitar o colapso total ou parcial da estrutura. Este mesmo requisito aparece, em segundo plano, para promover a proteção ao patrimônio das edificações.

O desenvolvimento do concreto nos últimos anos ampliou o desempenho e a área de atuação do material. O estudo do desempenho deste material estrutural e das matérias-primas que o compõem é primordial para estabelecer as condições de projeto e execução que acatem aos requisitos para segurança ao fogo, reduzindo ou evitando o colapso parcial e total das estruturas, conforme ilustrados na Figura 1 [2].



(a)



(b)

Figura 1.(a) Incêndio Edifício Sede II da CESP em São Paulo - Brasil, 1987 e (b) Colapso total do depósito das lojas Zelo S/A, em Barueri, SP - Brasil, 1994 [2].

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo estudar a resistência do concreto submetido a elevadas temperaturas, avaliando a sua perda de resistência em situações similares às enfrentadas durante um incêndio.

2 DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho foi testada a resistência à compressão do concreto submetido a altas temperaturas através de ensaios experimentais. Foram ensaiados corpos de prova cilíndricos, aquecidos em um forno mufla da marca Quimis, modelo Q-318M24. Verificando-se a influência de diferentes temperaturas e variação de tempo de exposição na resistência do concreto. A seguir são descritos os procedimentos adotados para os ensaios.

O material usado para a produção do concreto foi agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água. Como agregado graúdo foi utilizado brita 1, de origem basáltica, e um agregado miúdo constituído de areia fina, cimento Portland de alto forno CP III-40e a água potável fornecida pela rede de abastecimento da UNAER-Guarujá.

Este trabalho foi elaborado com amostras de 15 MPa, 20 MPa e 30 MPa em corpos de provas cilíndricos de 10 x 20 cm, curados durante 28 dias. As amostras foram divididas em 3 grupos e submetidas à 4 níveis de temperaturas em 3 intervalos de tempo diferentes de exposição, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Relação entre tempo e temperatura dos ensaios

Temperatura	Duração da exposição
300°C	30, 60 e 90 minutos
600°C	
900°C	
1050°C	

Os traços, dosagens relativos dos elementos constituintes do concreto, foram adotados conforme publicado por Silva [3]. Cada elemento do concreto foi pesado e os traços foram feitos na quantidade para 5 moldes de 10 cm x 20 cm, suas composições são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição unitária das amostras

Materiais adicionados	Traço de 15 MPa		Traço de 20 MPa		Traço de 30 MPa	
	kg	%	kg	%	kg	%
Cimento CPIII 40RS	13,2	40%	13,2	41%	10	24%
Areia fina	11,8	36%	10,1	32%	13,5	32%
Brita n° 1	4,4	13%	5,6	18%	13,1	31%
Água	3,5	11%	3	9%	5	12%
Total	32,9	100%	31,9	100%	41,6	100%
Fator a/c	0,79		0,53		0,38	

A moldagem dos corpos de prova (CPs) foi realizada em trinta e cinco dias, sendo feito 5 corpos de provas por dia, limitados pela quantidade dos moldes disponíveis (5 moldes). No total, foram confeccionados um total de 50 CPs. A mistura dos materiais foi realizada em uma betoneira com capacidade para 400 L e logo após a mistura foi moldada na geometria dos corpos de prova através de adensamento manual, como

ilustrado na Figura 2. Todos os corpos de prova passaram por um período de cura de 28 dias, antes de serem submetidos aos ensaios mecânicos e simulações de incêndio.



Figura 2. Adensamento manual do concreto.

Para a simulação das condições de incêndio, empregou-se um forno tipo mufla, marca Quimis, modelo Q-318M24. Este equipamento está disponível, através de um convênio de colaboração técnica, no centro tecnológico da UNAERP-Guarujá. Os corpos de prova foram aquecidos individualmente, devido às restrições das dimensões internas do forno mufla, conforme ilustrado na Figura 3.a.



(a)



(b)

Figura 3.(a) Introdução de um CP no forno mufla para a simulação das condições de incêndio.
(b) Prensa utilizada para teste de compressão dos CPs.

Após um processo de cura natural com duração de 28 dias, os cinquenta corpos de prova (CPs) preparados foram empregados da seguinte forma neste estudo:

1. trinta e nove CPs foram submetidos a ensaios de compressão, conforme ilustrado na Figura 3.b, sendo:

- quinze amostras testadas diretamente, sem a realização de aquecimento, de forma a obter-se uma referência inicial;
- seis amostras aquecidas a uma taxa de aquecimento de aproximadamente 27°C/min.
- asdezoito amostras restantes aquecidas diretamente na temperatura desejada.

As temperaturas para simular as condições de incêndio empregadas neste trabalho foram 300°C, 600°C, 900°C e 1050°C. Tais valores foram definidos com base na literatura existente nesta área [4, 5, 6 e 7]. Após o aquecimento os corpos de prova foram resfriados em um recipiente contendo água a temperatura ambiente de forma a simular um resfriamento brusco que pode ocorrer durante o combate a um incêndio em uma estrutura de concreto. Por isso, a água foi trocada a cada corpo de prova resfriado, de forma a manter as mesmas condições de resfriamento para todos as amostras.

Os ensaios de compressão foram realizados em uma prensa hidráulica manual, existente no centro tecnológico da UNAERP-Guarujá, ilustrada na Figura 2.b. Tal prensa determina a força de compressão suportada pelas amostras em toneladas, utilizando-se a seguinte equação obter a tensão de resistência, σ (MPa).

$$\sigma = \frac{F}{A} \cdot 98,06 \quad (1)$$

Na qual:

σ é a tensão de resistência em MPa;

F é a força em toneladas (ton);

A é a área em cm²;

98,06 é um fator de conversão.

Para avaliar mais corretamente alguns resultados, empregou-se a distribuição estatística de Weibulltriparamétrica, já utilizada com sucesso pelos autores em outros trabalhos [12]. Esta distribuição pode ser descrita pela equação (2):

$$P(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - x_u}{x_0} \right)^m \right] \quad (2)$$

Sendo:

x_0 é o fator de escala, que é o valor característico da distribuição (%ascensão típica);

m é o parâmetro de forma da distribuição (grau de agrupamento dos dados) e

x_u é chamado parâmetro de localização, representando o menor valor característico da ascensão nas amostras (%).

Neste caso, como o número de amostras por condição é pequeno (< 10), adotou-se o cálculo de probabilidade de Bernard, definido pela equação (3):

$$P(x) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (3)$$

Sendo:

P(x) = Probabilidade de ocorrência da variável x;

i = número sequencial da amostra (ordenadas em valores crescentes) e

n = número total de amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados da tensão de resistência à compressão e o módulo de elasticidade, em MPa, determinado conforme a NBR 6118:2014[9], o ACI [11] e o CEB-90 [11], obtidos nas 15 amostras testadas diretamente, sem a realização de aquecimento. Pelos dados apresentados pela Tabela 3, observa-se que um mesmo traço de concreto, apresenta uma natural variação em sua resistência, mesmo em estado normal. Por isso, empregou-se a análise de Weibull, via equação (2), para se obter uma descrição mais fidedigna dos dados. Os parâmetros obtidos por esta análise estão apresentados na Tabela 4, para os três traços analisados.

Tabela 3. Amostras de referência, testadas em compressão sem aquecimento (valores obtidos e médias)

Traço	Data moldagem	#CP	Força, F (Ton.)	Tensão de resistência, σ (MPa)	Módulo de Elasticidade, E (MPa)		
					NBR 6118 [9]	ACI [10]	CEB/90 [11]
15 MPa	15/09	1	10,19	12,98	20.176,24	19.920,44	27.524,10
	20/09	2	9,62	12,25	19.603,82	19.355,27	27.202,84
	22/09	3	12,59	16,04	22.426,74	22.142,40	28.800,89
	28/09	4	9,04	11,52	19.003,67	18.762,73	26.867,97
		Média	10,36	13,20	20.302	20.050	27.600
20 MPa	29/09	5	12,68	16,15	22.506,75	22.221,40	28.846,60
	29/09	6	12,69	16,17	22.515,63	22.230,16	28.851,67
	5/10	7	13,18	16,79	22.946,21	22.655,28	29.097,98
	5/10	8	14,67	18,69	24.208,52	23.901,59	29.822,45
	6/10	9	16,45	20,96	25.635,17	25.310,15	30.644,21
	6/10	10	18,16	23,13	26.934,64	26.593,14	31.394,17
	11/10	11	14,24	18,14	23.851,09	23.548,69	29.617,00
	11/10	12	15,16	19,31	24.609,50	24.297,49	30.053,16
		Média	14,65	18,67	24.150	23.850	29.800
30 MPa	18/10	13	15,25	19,43	24.682,44	24.369,50	30.095,15
	18/10	14	13,68	17,43	23.377,40	23.081,01	29.345,09
	20/10	15	23,69	30,18	30.763,50	30.373,46	33.602,96
		Média	17,54	22,35	26.270	25.940	31.010

Tabela 4. Parâmetros da equação de Weibull (2) calculados a partir dos resultados da ascensão capilar aferidos nos CPs analisados neste trabalho.

Tipo de traço	n	x_0 (%)	m	x_u (%)	x_{50} (%)	R^2
15 MPa	4	2,105	0,795	11,29	12,62	0,992
20 MPa	8	3,430	1,056	15,62	18,04	0,938
30 MPa	3	4,857	0,467	17,22	19,44	1,000

Observação: R^2 coeficiente de correlação de Pearson. x_{50} valor para uma probabilidade de 50% (similar à média, porém mais representativo).

Os resultados da Tabela 4 ilustram que os resultados obtidos para cada traço apresentam um grau de agrupamento (m) proporcional ao número de amostras disponíveis (n). O traço que apresentou uma resistência amostral mais similar ao valor nominal foi o traço de 20 MPa ($x_{50} = \sigma_{50} = 18,04$ MPa ou 90% da resistência teórica). Apesar do traço de 30 MPa ter apresentado as maiores resistências absolutas, este foi o traço que apresentou uma menor resistência amostral relativa ao valor teórico ($x_{50} = \sigma_{50} = 19,44$ MPa ou 65% da resistência teórica).

Os resultados absolutos de resistência (σ) e de módulo de elasticidade (E), para amostras dos três traços, testadas nas temperaturas de 300, 600, 900 e 1050 °C, estão apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

Tabela 5. Amostras de referência, testadas em compressão após simulação de incêndio a 300 °C

Traço	Data moldagem	#CP tempo	Força, F (Ton.)	Tensão de resistência, σ (MPa)	Módulo de Elasticidade, E (MPa)		
					NBR 6118 [9]	ACI [10]	CEB/90 [11]
15 MPa	15/09	16 (30")	7,40	9,43	17.193,69	16.975,70	25.872,83
	22/09	17 (30")	10,08	12,84	20.067,05	19.812,63	27.462,69
	28/09	18 (30")	6,59	8,39	16.225,42	16.019,70	25.351,76
20 MPa	6/10	19	12,05	15,35	21.940,51	21.662,34	28.523,49
30 MPa	18/10	20	9,86	12,56	19.846,85	19.595,22	27.339,03

Tabela 6. Amostras de referência, testadas em compressão após simulação de incêndio a 600 °C

Traço	Data moldagem	#CP tempo	Força, F (Ton.)	Tensão de resistência, σ (MPa)	Módulo de Elasticidade, E (MPa)		
					NBR 6118 [9]	ACI [10]	CEB/90 [11]
15 MPa	15/09	21 (30")	7,71	9,82	17.550,13	17.327,62	26.066,81
	20/09	22 (60")	4,69	5,97	13.687,99	13.514,44	24.037,21
	22/09	23 (30")	7,05	8,96	16.765,39	16.552,83	25.641,24
20 MPa	29/09	24	7,61	9,69	17.435,95	17.214,88	26.004,55
	5/10	25	7,38	9,40	17.170,44	16.952,74	25.860,22
	5/10	26	9,32	11,87	19.295,73	19.051,09	27.030,67
30 MPa	20/10	27	17,98	22,90	26.800,82	26.461,02	31.316,91

Tabela 7. Amostras de referência, testadas em compressão após simulação de incêndio a 900 °C

Traço	Data moldagem	#CP tempo	Força, F (Ton.)	Tensão de resistência, σ (MPa)	Módulo de Elasticidade, E (MPa)		
					NBR 6118 [9]	ACI [10]	CEB/90 [11]
15 MPa	15/09	28 (60")	2,11	2,69	9.181,09	9.064,69	21.982,10
	20/09	29 (90")	1,89	2,41	8.689,29	8.579,12	21.788,26
	22/09	30 (30")	3,53	4,50	11.875,19	11.724,63	23.158,21
20 MPa	6/10	31	1,97	2,51	8.871,28	8.758,81	21.859,15

30 MPa	18/10	32	5,26	6,70	14.495,93	14.312,14	24.446,53
	20/10	33	8,65	11,02	18.589,22	18.353,54	26.638,01
	20/10	34	6,30	8,03	15.864,39	15.663,26	25.159,89

Tabela 8. Amostras de referência, testadas em compressão após simulação de incêndio a 1050 °C

Traço	Data moldagem	#CP tempo	Força, F (Ton.)	Tensão de resistência, σ (MPa)	Módulo de Elasticidade, E (MPa)		
					NBR 6118 [9]	ACI [10]	CEB/90 [11]
15 MPa	15/09	35 (60")	0,00	0,00	0,00	0,00	19.958,83
	20/09	36 (30")	2,09	2,66	9.137,48	9.021,63	21.964,62
	22/09	37 (30")	3,62	4,61	12.025,62	11.873,15	23.228,81
20 MPa	11/10	38	0,00	0,00	0,00	0,00	19.958,83
30 MPa	20/10	39	0,00	0,00	0,00	0,00	19.958,83

As Figuras 4 a 6 apresentam gráficos, para os três traços de 15, 20 e 30 MPa, respectivamente, correlacionando a resistência residual, $\% \sigma$, com as quatro temperaturas da simulação, T (°C). Para elaborar estes gráficos foram considerados como referência de resistência os valores das resistências características (χ_{50} ou σ_{50}), obtidas pela análise de Weibull, apresentados na Tabela 4: $\sigma_{50} = 12,62$; $18,04$ e $19,44$ MPa, respectivamente para o traço de 15, 20 e 30 MPa de resistência nominal. Todos os gráficos apresentam uma regressão linear simples entre a resistência residual e a temperatura ($\% \sigma$ vs. T).

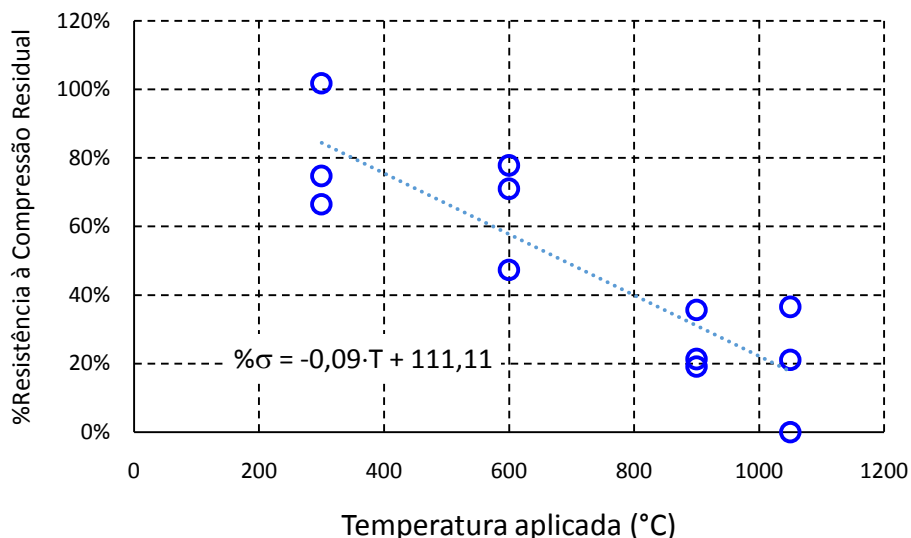


Figura 4. Resultados de resistência residual em função da temperatura para o traço de 15 MPa (coeficiente de determinação $R^2 = 0,77$).

Pelos valores obtidos dos coeficientes angulares das regressões lineares (média de $-0,107\%$), considerando as suas resistências amostrais, mostradas na Tabela 4, os traços testados perdem em média 1,81 MPa de resistência à compressão para uma elevação de temperatura de 100 °C. O traço de 15 MPa perde menos (1,14 MPa) do

que os traços de maior resistência: 2,16 e 2,14 MPa para cada 100°C para os traços de 20 e 30 MPa, respectivamente. Além disso, mais uma vez, o traço de resistência nominal de 20 MPa se destacou entre os demais, por apresentar um coeficiente de determinação, R^2 ou coeficiente de correlação de Pearson mais elevado. Isso indica que é o traço com o comportamento mais confiável dentre os demais.

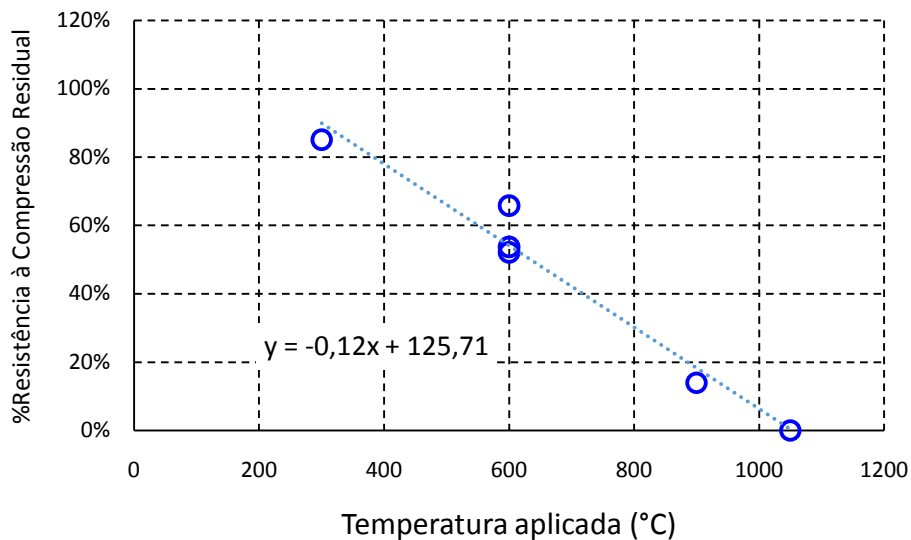


Figura 5. Resultados de resistência residual em função da temperatura para o traço de 20 MPa (coeficiente de determinação $R^2 = 0,96$).

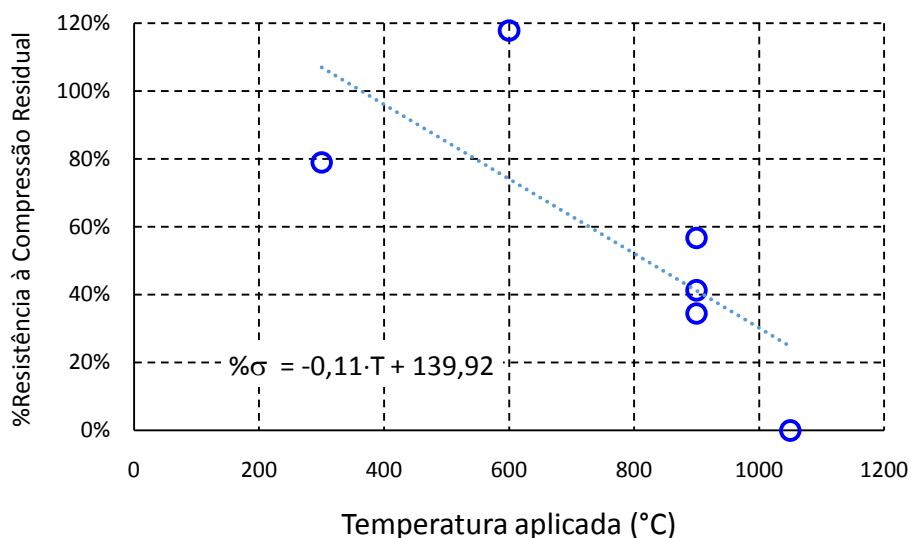


Figura 6. Resultados de resistência residual em função da temperatura para o traço de 30 MPa (coeficiente de determinação $R^2 = 0,56$).

Os corpos de prova do traço de 15 MPa foram submetidos à temperatura de simulação de incêndio em tempos variando de 30 a 90 minutos. Analisando os resultados, quanto ao tempo de submissão nas temperaturas simuladas para este traço, verifica-se que:

1. a 300°C os corpos de prova (CPs 16, 17 e 18) foram expostos durante 30" e a perda de resistência foi de até 34%;

2. na temperatura de 600°C o corpo de prova do dia 15/09 e 22/09 (CP 21 e 23), expostos durante 30" perderam apenas de 22% a 29% de sua resistência, porém o corpo de prova do dia 20 (CP 22), que foi exposto durante 60" nesta mesma temperatura de 600°C perdeu cerca de 53% de sua resistência;
3. a 900°C os corpos de prova foram expostos a 30" (CP 30), 60" (CP 28) e 90" (CP 29) apresentaram perdas de 64, 79e 81% de sua resistência original, respectivamente;
4. a 1050°C o corpo de prova do dia 15/09 foi exposto a 60" e ao ser esfriado na água entrou em colapso.

Além disso, o corpo de prova do traço de 20MPa, que foi testado no dia 11/10 após ser exposto a 1050°C durante 90" (CP 38), apresentou coloração alaranjada e um rompimento central a 1 minuto no aquecimento, colapsando dentro da própria mufla, confirmando a susceptibilidade à fratura por tensões térmicas, conforme apontado pelo trabalho de Lorenzon [11].

3 CONCLUSÃO

Os resultados neste trabalho mostram que mesmo em condições normais, há uma dispersão natural dos resultados de resistência mecânica do concreto, sendo aconselhável uma análise estatística para melhor descrever suas características estruturais. A quantidade de amostras testadas é relevante para gerar resultados descritivamente mais confiáveis, conforme observado pelos valores do parâmetro de forma da distribuição (m) da distribuição de Weibull, adotada neste trabalho.

Através da análise dos resultados obtidos, através da realização de ensaios de compressão em CP submetidos a um ciclo de aquecimento e resfriamento, simulando condições de incêndio, conclui-se que todos os traços de concreto estudados apresentam uma perda relativamente linear na resistência mecânica. A linearidade é justificada pelos valores elevados do coeficiente de determinação R^2 , especialmente para o traço de resistência nominal intermediária (20 MPa) que apresentou $R^2 = 0,96$.

Com o aumento da temperatura há uma queda média de 0,018 MPa na resistência à compressão para cada 1°C. O traço com menor resistência perde 1,14 MPa para um incremento de 100°C e os traços de maior resistência foram mais sensíveis na perda de resistência, apresentando uma média de 2,15 MPa para cada 100°C de aquecimento. Além disso, muitas amostras apresentaram fraturas e consequente perda total da resistência mecânica em temperaturas acima dos 1000 °C, para todos os traços testados.

Os resultados mostram que é preciso muito aprimorar os estudos do concreto sobre essa situação devido a sua importância e suas variações de misturas, traços e aditivos.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, V. P. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. n. 0, p. 237, 2012.
- 2 SOUZA, A. A. A. DE. Procedimento de ensaio para verificação em laboratório da tendência ao lascamento do concreto em situação de incêndio. p. 336, 2010.
- 3 SILVA, Gildásio Rodrigues. Manual de traços de concreto. São Paulo, Ed. Nobel, 1975.

- 4 COSTA, C. N. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. p. 401, 2008.
- 5 COSTA, C. N. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio. n. January, 2002.
- 6 PHAN, Long T. Fire performance of high-strength concrete: A report of the state-of-the art. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Office of Applied Economics, Building and Fire Research Laboratory, 1996.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. p. 15, 2001.
- 8 MORAIS, Willy Ank; FONSECA, E. S.; TAVARES, F. G. Associação entre a morfologia de trincas de pisos cerâmicos e seu comportamento mecânico em fratura. Cerâmica (São Paulo. Impresso), v. 61, p. 303-308, 2015. ABNT NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.
- 9 ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2014.
- 10 COMITÉ EURO/INTERNACIONAL DU BÉTON (CEB). FIP Model Code, Final Draft, Bulletin D'Information N, 203, 204 e 205. Paris, 1990.
- 11 LORENZON, A. Análise da Resistência Residual do Concreto após Exposição a Altas Temperaturas. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná p. 1–57, 2014.