

The effect of high temperatures on concrete compression strength, tensile strength and deformation modulus

Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto

A. A. A. DE SOUZA ^a
ambrosio@fec.unicamp.br

A. L. MORENO JR ^b
almoreno@fec.unicamp.br

Abstract

This paper has as a goal to present the results of experimental investigations on the behavior of concrete when submitted to high temperatures. A concrete of common utilization in our region, with cement and usual aggregates mixed in usual proportions (mix), was submitted to temperatures of 300°C, 600°C and 900°C, in order to assess probable variations in its compression strength, tensile strength and deformation module. The effect of rapidly cooling concrete, usual in fire fighting, was assessed; a few test bodies submitted to high temperatures were rapidly cooled and others were slowly cooled (to room temperature). The probable recovery of the mechanical properties under investigation following concrete rehydration – after a possible reduction from the effects of the high temperatures applied – was also assessed; test bodies were submitted to high temperatures and cooled slowly; a few were immersed in water and others were wrapped up in plastic film and then evaluated in relation to the researched properties for concrete ages of 28, 56, 112 and 224 days after slow cooling. Upon finishing this work, important results on the effect of high temperatures on concrete mechanical properties were obtained, thus providing a major contribution for the recovery design of structures that had been subject to fire.

Keywords: concrete, fire, mechanical propeties.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo a investigação experimental do comportamento do concreto quando submetido a elevadas temperaturas. Um concreto de utilização comum em nossa região, com cimento e agregados usuais, misturados em proporções também usuais (traço), foi submetido a temperaturas de 300 °C, 600°C e 900 °C , de maneira a se avaliar prováveis alterações na resistência à compressão, na resistência à tração e no módulo de deformação deste concreto. O efeito do resfriamento rápido do concreto, usual em intervenções de combate a incêndios, foi avaliado; alguns dos corpos-de-prova submetidos às altas temperaturas estipuladas foram resfriados rapidamente e outros foram resfriados lentamente (ao ambiente). A recuperação provável das propriedades mecânicas analisadas, com a reidratação do concreto – com possível redução após o efeito das altas temperaturas aplicadas - também foi avaliada; corpos-de-prova submetidos às altas temperaturas estipuladas e resfriados lentamente, foram parte imersos em água e parte envoltos em filme plástico e a seguir, cada parte correspondente foi avaliada, em relação às propriedades do concreto pesquisadas, para as idades do concreto de 28, 56, 112 e 224 dias após o resfriamento lento. Ao final deste trabalho, importantes resultados sobre o efeito de altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto puderam ser obtidos; contribuindo, em muito, para o estabelecimento de parâmetros para o projeto de recuperação de estruturas submetidas ao efeito do fogo.

Palavras-chave: concreto, altas temperaturas, propriedades mecânicas, reidratação.

^a Doutoranda, Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, ambrosio@fec.unicamp.br , Rua Saturnino de Brito, 135, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil, cep: 13083 - 852;

^b Professor Doutor , Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, almoreno@fec.unicamp.br , Rua Saturnino de Brito, 135, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil, cep: 13083 - 852;

1. Introdução

Os danos causados por um incêndio a uma estrutura de concreto podem ir desde uma simples descoloração ou mancha produzida pela fumaça, ou a completa destruição do elemento por perda de sua resistência mecânica.

Esses efeitos do fogo, assim como sua intensidade e extensão, estão diretamente condicionados à capacidade que o edifício, submetido ao incêndio, possui para contribuir com o seu desenvolvimento.

Infelizmente, não há como a segurança contra incêndios ser absoluta; assim, essa segurança consiste em reduzir os riscos mediante adoção de uma série de medidas que, na maioria das vezes, tem caráter apenas preventivo.

A experiência que se tem do comportamento das estruturas de concreto armado frente ao fogo é muito escassa. Devido às dificuldades que, obviamente, se apresentam para a realização de ensaios em escala real de uma estrutura, os dados conhecidos, em sua maioria, são resultados de ensaios de laboratório efetuados sobre elementos isolados da edificação e de experiências colhidas de edificações incendiadas involuntariamente.

O presente trabalho apresenta resultados de avaliação experimental do efeito de altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto. Tem por finalidade principal, prestar contribuição ao meio técnico no estabelecimento de parâmetros para o projeto de recuperação de estruturas submetidas ao efeito do fogo.

2. Efeitos da alta temperatura no concreto

2.1 Propriedades Mecânicas do Concreto

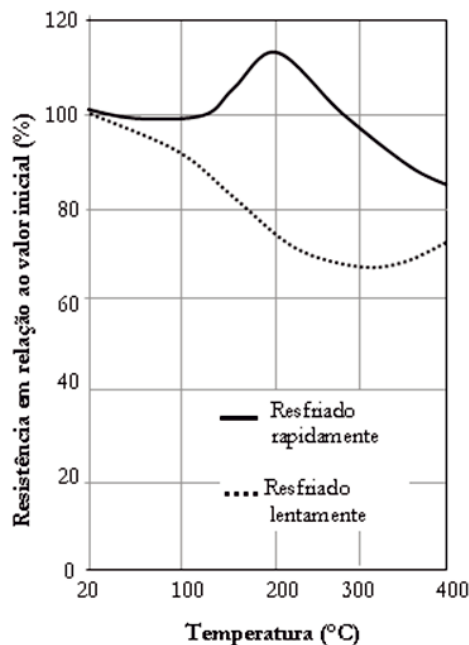
Resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação longitudinal, são propriedades mecânicas do concreto que tem seu valor reduzido quando este é submetido a temperaturas elevadas.

De acordo com Paulon [1], quando submetido à temperaturas de até 150°C, o concreto não sofre alteração sensível de sua resistência, mas, para temperaturas superiores a esta, a resistência à

Tabela 1 – Efeito da elevação da temperatura no módulo de deformação do concreto (Paulon (1))

Temperatura (°C)	Módulo de Elasticidade Residual (%)
25	100
100	75
200	68
300	48
400	35
500	33
600	9

Figura 1 – Efeito do resfriamento rápido na resistência à compressão do concreto (Cânovas (13))



tração começa a diminuir, chegando a níveis de decréscimo, em torno de 70% aos 600°C; devido à desidratação do gel e ao aumento da microfissuração, tabela [1].

A resistência à compressão não sofre alteração apreciável até cerca de 300°C. Entretanto, a partir deste valor, uma redução considerável se inicia, assumindo uma perda em torno de 20%, de acordo com Almeida [2]. Ensaios realizados por Galletto & Meneguini [3], confirmando Almeida [2], apresentaram, para o concreto convencional aquecido a 300°C e resfriado lentamente, uma perda de resistência à compressão de 24 % em relação à sua resistência original, sem aquecimento.

A redução da resistência à compressão do concreto submetido à temperatura da ordem de 600°C é de cerca de 50%, de acordo com Petrucci [4]. Neville [5], justifica esta redução pela ocorrência de uma degradação progressiva do concreto submetido a esta temperatura; com as camadas superficiais quentes tendendo a separar-se, com descamamento do interior do concreto, mais frio. A fissuração é intensificada nas juntas, nas regiões mal adensadas ou, no caso do concreto armado, nos planos das barras de aço que, depois de expostas, passam a conduzir calor acelerando o efeito nocivo da temperatura elevada no concreto.

Ensaando corpos de prova cilíndricos, com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, aquecidos a 300°C e resfriados lenta e rapidamente, Galletto & Meneguini [3] obtiveram redução respectiva de apenas 4% e 21% do módulo de deformação longitudinal, em relação aos corpos-de-prova que não foram submetidos à temperatura elevada. Resultado que difere, significativamente, dos resultados apresentados na tabela anterior.

A diferença entre os resultados, obtidos pelos vários pesquisadores do assunto, e observada no parágrafo anterior, não é rara.

Malhotra [6], justifica esta diferença devido a fatores como: diferenças de tensões atuantes e da condição de umidade do concreto enquanto este se encontra sob aquecimento; diferenças na duração da exposição à temperatura elevada; diferenças de propriedades físicas e mecânicas dos agregados, etc.

Um fator que pode ser colocado como de grande influência no efeito de altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto é a velocidade do resfriamento. A aplicação de água em um incêndio, por exemplo, equivale a um resfriamento brusco, causando uma grande redução de resistência devido aos intensos gradientes de temperatura que se originam no concreto, Figura [1].

Finalmente, é importante observar que parte deste decréscimo, nas propriedades mecânicas do concreto, resultante de seu aquecimento, pode ser recuperado com a rehidratação. Segundo Cãnovas [7], se a temperatura do concreto não ultrapassa os 500°C, este pode sofrer uma reidratação posterior; que pode fazê-lo recuperar até 90% de sua resistência inicial após um ano.

Desta maneira, uma generalização ampla dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores é muito difícil; sem a devida consideração dos fatores anteriormente assinalados na interpretação destes vários resultados.

3. Avaliação experimental do concreto quando submetido à elevadas temperaturas

3.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, foram executados com cimento e agregados usuais, misturados em proporções também usuais (traço).

O traço utilizado garantiu um abatimento de 15 cm, obtido de acordo com a NBR NM 67 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone [8]. A proporção dos materiais, em peso, utilizada foi de 1:3:3 (cimento, areia, brita). A relação água/cimento empregada igual a 0,60.

O cimento utilizado foi o CPII-32.

A areia utilizada no concreto foi uma areia média, apresentada na tabela [2], conforme especificações da NBR 7211/05 [9].

O concreto foi preparado de acordo com as especificações da NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório [10] e os corpos-de-prova foram moldados de acordo com a NBR 5738 –

Tabela 2 – Resultado do ensaio de caracterização do agregado miúdo

Peneiras abertura (mm)	Material retido (g)	Porcentagem retida (em peso)	
		Individual	Acumulada
76	0	0	0
64	0	0	0
50	0	0	0
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	55,1	4,44	4,44
4,8	22,2	1,79	6,23
2,4	135,4	10,92	17,15
1,2	259,7	20,95	38,10
0,6	285	22,98	61,08
0,3	221,3	17,85	78,93
0,15	220,8	17,81	96,74
Fundo	40,4	3,26	-
Total	1239,9	100	302,67

Diâmetro máximo = 6,3 mm Módulo de Finura = 2,98

Tabela 3 – Resultado do ensaio de caracterização do agregado graúdo - silicoso

Peneiras abertura da malha (mm)	Material retido (g)	Porcentagem retida (em peso)	
		Individual	Acumulada
76	0	0	0
64	0	0	0
50	0	0	0
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	3086,0	60,5	60,5
9,5	1074,0	21,05	81,55
6,3	618,9	12,14	93,69
4,8	139,5	2,73	96,42
2,4	182,6	3,58	-
Total	5101	100	332,16

Diâmetro máximo = 19 mm Módulo de Finura = 1.80

Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto [11].

3.2 Ensaios principais – procedimento

Para cada temperatura analisada, 300 °C, 600 °C e 900 °C, foram executados 66 corpos de prova de concreto. Estes corpos de prova foram ensaiados para a avaliação dos efeitos da temperatura sobre a resistência à compressão, sobre a resistência à tração e sobre o módulo de deformação longitudinal do concreto.

Decorridos 3 meses de sua concretagem, e tendo-se estabilizado o ganho de resistência à compressão do concreto, 6 corpos de prova foram ensaiados para que fossem avaliadas as propriedades mecânicas citadas. Dos 6 corpos-de-prova, 3 foram submetidos à compressão e 3 à tração. Dos 3 CP's submetidos à compressão, em 2 deles foi obtido, também, o módulo de deformação longitudinal do concreto.

Cada grupo de 60 corpos de prova restantes foi submetidos à temperatura estipulada - 300 °C, 600 °C ou 900 °C.

O aquecimento foi gradual, a uma taxa de 15°C/min, partindo-se de uma temperatura inicial de 25°C, fixada como temperatura ambiente, para todos os corpos de prova.

Atingida a temperatura final, os corpos de prova permaneceram nesta condição por período de tempo correspondente a 2 horas, para que toda a massa de concreto atingisse a mesma temperatura. Ao final deste período, 6 deles foram resfriados rapidamente, por imersão em água corrente.

Após esse processo de resfriamento rápido, os corpos-de-prova foram ensaiados, à compressão e à tração, para que os resultados obtidos fossem comparados com os obtidos para o concreto sem aquecimento.

Os 54 corpos-de-prova restantes foram resfriados lentamente. Após ter sido atingida a temperatura estipulada, os mesmos permaneceram dentro do forno e a temperatura foi reduzida, gradualmente, à uma taxa de 1°C/min, até que fosse atingida a temperatura ambiente.

Após o resfriamento lento, 6 corpos-de-prova foram retirados do forno e ensaiados, para que seus resultados fossem comparados com os obtidos para os corpos-de-prova sem aquecimento e para os corpos-de-prova submetidos ao resfriamento rápido.

Dos 48 corpos-de-prova restantes, 24 foram imersos em água e 24 foram envolvidos por filme plástico.

De cada grupo destes 24 corpos-de-prova, 6 foram avaliados em

Tabela 4 – Propriedades Mecânicas do Concreto sem Aquecimento

Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
30,45	2,73	2,75

relação às propriedades mecânicas de interesse aos 7 dias, 6 aos 28 dias, 6 aos 56 dias e 6 CP's aos 112 dias. A comparação dos resultados entre os 2 grupos mencionados, proporcionou a avaliação da re-hidratação do concreto após ser submetido à elevadas temperaturas.

4. Resultados experimentais

Os resultados apresentados na tabela [3] foram adotados como "padrão" de comparação (100%) para avaliação do decréscimo de resistência mecânica do concreto, quando submetido as elevadas

Tabela 5 – Propriedades mecânicas do concreto aquecido e resfriado lentamente

Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração (MPa)		Módulo de elasticidade (MPa)	
Padrão	100%	Padrão	100%	Padrão	100%
300°C	88%	300°C	79%	300°C	50%
600°C	86%	600°C	60%	600°C	30%
900°C	8%	900°C	2%	900°C	3%

Tabela 6 – Propriedades mecânicas do concreto aquecido e resfriado rapidamente

Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração (MPa)		Módulo de elasticidade (MPa)	
Padrão	100%	Padrão	100%	Padrão	100%
300°C	81%	300°C	63%	300°C	41%
600°C	73%	600°C	61%	600°C	19%
900°C	0%	900°C	0%	900°C	0%

Tabela 7 – Resistência à compressão do concreto aquecido, resfriado lentamente e envolvido em filme plástico

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	82%	82%	77%	81%
600°C	51%	60%	63%	51%
900°C	9%	10%	10%	11%

Tabela 8 – Resistência à compressão do concreto aquecido, resfriado lentamente e imerso em água

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	74%	84%	94%	93%
600°C	55%	72%	85%	85%
900°C	38%	40%	38%	46%

Tabela 9 – Resistência à tração do concreto aquecido, resfriado lentamente e envolvido em filme plástico

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	71%	67%	69%	69%
600°C	51%	57%	64%	61%
900°C	6%	8%	8%	9%

Tabela 10 – Resistência à tração do concreto aquecido, resfriado lentamente e imerso em água

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	74%	81%	98%	98%
600°C	51%	75%	92%	94%
900°C	31%	37%	46%	50%

Tabela 11 – Módulo de elasticidade do concreto aquecido, resfriado lentamente e envolvido em filme plástico

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	54%	50%	45%	53%
600°C	28%	20%	14%	13%
900°C	3%	3%	3%	3%

Tabela 12 – Módulo de elasticidade do concreto aquecido, resfriado lentamente e imerso em água

Resistência à compressão (MPa)	7 dias	28 dias	56 dias	112 dias
300°C	60%	69%	88%	90%
600°C	65%	56%	81%	82%
900°C	3%	4%	7%	7%

temperaturas estipuladas. Desta maneira, as tabelas [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10] e [11] apresentam resultados expressos em relação aos padrões estipulados.

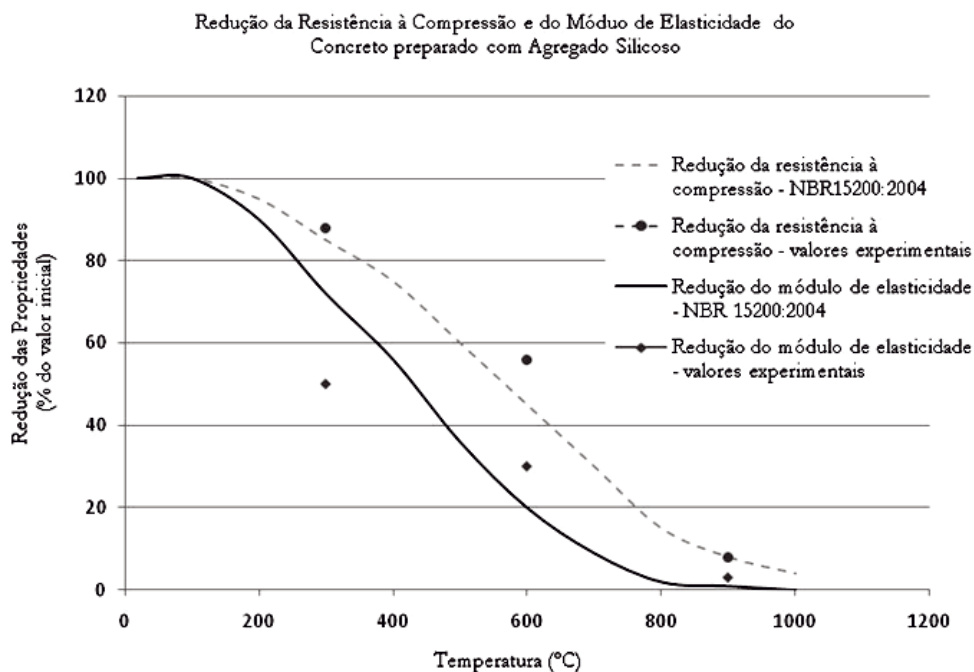
Devido a intensa microfissuração, resultante do resfriamento rápido, todos os corpos-de-prova submetidos a temperatura de 900 °C se partiram; motivo pelo qual não estarem apresentados os resultados relativos a esta temperatura, para o caso do resfriamento rápido.

Os valores obtidos nas tabelas citadas, relacionados às temperaturas de 300°C e 600°C foram obtidos do trabalho de pesquisa de Doro [12].

5. Avaliação dos resultados

Os resultados experimentais para redução da resistência à compressão e módulo de elasticidade foram comparados com a curva de redução dessas propriedades apresentadas na NBR 1500 (ABNT, 2004) na Figura [2]. Os valores experimentais para a resistência à compressão são próximos aos da curva da NBR, somente para a temperatura máxima de aquecimento igual a 600°C houve diferença significativa, mas esta apresentou redução menor do que a da Norma.

Figura 2 – Valores experimentais de redução da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto preparado com agregado silicoso e da NBR 15200:2004



Em relação ao módulo de elasticidade as diferenças entre os valores experimentais e os valores da Norma foram observados para as temperaturas máximas de 300°C e 600°C, com maior redução e menor redução, respectivamente.

Os resultados apresentados nas Figuras [3]; [4] e [5], evidenciam forte decréscimo da resistência à compressão a partir de 600 °C, quase que se anulando para temperaturas próximas à 900 °C. Este resultado, em maior ou menor grau de redução, já era esperado tendo por base estudos anteriores sobre o assunto. Na

temperatura de 600 °C, o concreto perde não só a água livre, mas também a água contida no gel do cimento, provocando, como consequência, um alto grau de fissuração superficial. Os agregados se expandem dando lugar a tensões internas que prejudicam a resistência à compressão do concreto.

Observa-se também que os corpos-de-prova conservados imersos em água, vão recuperando parte de sua resistência à compressão inicial com o passar do tempo, reidratando-se. Esta reidratação é tanto maior quanto menor a temperatura a que foi submetido o

Figura 3 – Recuperação da resistência à compressão, em relação à resistência inicial, do concreto em função do tipo de hidratação

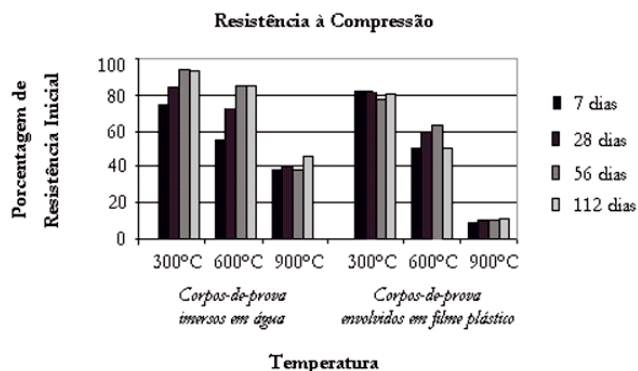


Figura 4 – Recuperação da resistência à tração, em relação à resistência inicial, do concreto em função do tipo de hidratação

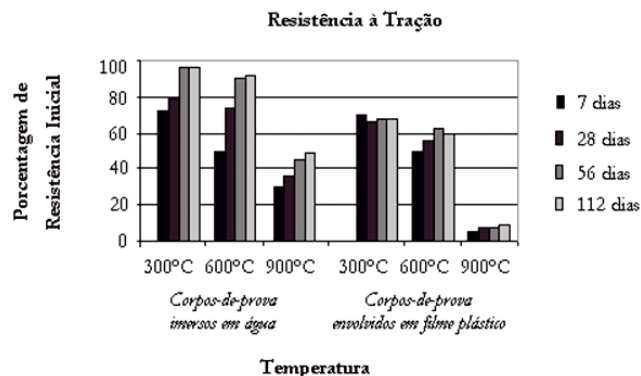
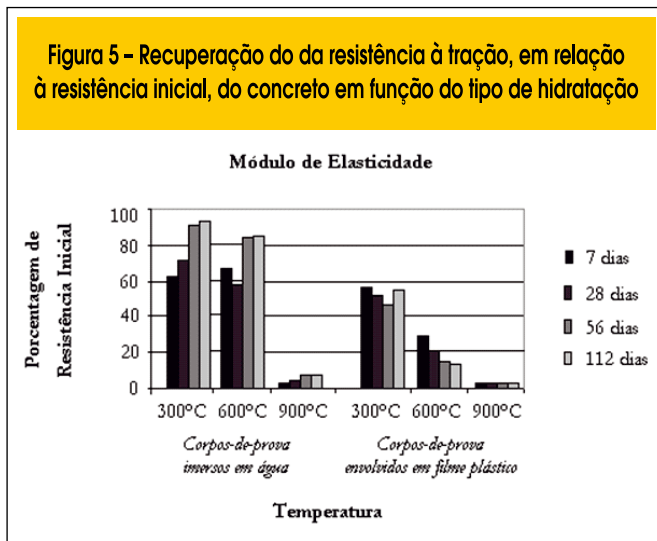


Figura 5 – Recuperação da resistência à tração, em relação à resistência inicial, do concreto em função do tipo de hidratação



concreto. Esta recuperação, alcançou valores entre 40% e 90% para concretos reidratados durante 112 dias, com os menores valores relativos a uma maior temperatura de aquecimento.

Em relação à resistência à tração, pôde-se observar que esta sofreu maior prejuízo que a resistência à compressão; com o decréscimo de resistência mais acentuado. Este fato também já era esperado tendo-se por base a microfissuração do concreto, que prejudica em maior grau a resistência à tração.

Entretanto, vale observar, que a recuperação da resistência à tração com a re-hidratação do concreto foi maior do que a observada para a resistência à compressão; neste caso a recuperação alcançou valores entre 50% e 95%, sendo, do mesmo modo que para a resistência à compressão, os valores inferiores relativos às maiores temperaturas de aquecimento.

No que diz respeito ao módulo de deformação, convém observar que, para temperaturas da ordem de 600 °C, o módulo de deformação foi reduzido para 20% de seu valor original, chegando a se anular para temperaturas da ordem de 900 °C. Entretanto, vale observar, que uma vez re-hidratado, o concreto recuperou quase que 80% do módulo de deformação inicial; no caso de aquecimento à temperaturas inferiores a 600 °C.

6. Conclusões

A pesquisa aqui exposta pode contribuir para um melhor entendimento sobre o efeito de elevadas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto e, da mesma maneira, futuramente, contribuir para o estabelecimento de parâmetros para o projeto de recuperação de estruturas submetidas ao efeito do fogo.

Foi observado que, quando submetido a uma temperatura próxima de 900 °C, a resistência mecânica do concreto, seja ela em relação à tração ou compressão, alcança níveis próximos de zero. Em relação à redução do módulo de deformação longitudinal com o aquecimento do concreto, o que poderia interferir em muito no grau de deslocamento vertical de um elemento estrutural, pôde-se concluir que este pode alcançar valores próximos de zero para temperaturas até inferiores a 900 °C.

Observou-se, também, que a reidratação do concreto, após o

aquecimento, pode contribuir para a recuperação de parte significativa da resistência mecânica inicial do concreto, seja ela em relação à compressão, tração ou módulo de deformação. Da mesma forma, foi observado, que esta recuperação é inversamente proporcional à temperatura a que foi submetido o concreto, ou seja, quanto maior a temperatura, menor é a taxa de recuperação (ou reidratação) do concreto.

Um resultado que deve ser evidenciado, diz respeito à citada reidratação do concreto. Mesmo quando submetido à 900 °C existe a possibilidade desta reidratação, com recuperação de até 60% da resistência mecânica inicial do concreto.

Outro resultado interessante, diz respeito à velocidade de recuperação das propriedades mecânicas com a reidratação do concreto. Foi observado que, quando aquecido e reidratado, a recuperação da resistência à compressão é relativamente rápida, alcançando níveis próximos ao nível máximo de recuperação observado, já aos 56 dias após o início da reidratação.

Os resultados obtidos foram coerentes com estudos anteriores sobre o tema aqui pesquisado. Entretanto, deve-se ressaltar, mais uma vez, que muitas são as variáveis envolvidas no problema e qualquer alteração destas variáveis pode resultar em diferenças significativas entre resultados de trabalhos de pesquisa sobre o assunto. Dentre estas variáveis, podem ser destacadas a umidade do concreto, a relação água/cimento na mistura, o tipo de agregado, o tipo de cimento, o tamanho do corpo de prova, o tempo de exposição à temperatura, a taxa de elevação de temperatura e a taxa de resfriamento, etc.

É importante destacar também, que os resultados aqui obtidos, quando somados aos obtidos em pesquisas anteriores sobre o tema, podem colaborar na previsão do grau de degradação que uma estrutura, ou elemento estrutural, pode ter alcançado após um incêndio; item importante no projeto de recuperação/reforço desta estrutura ou elemento estrutural.

7. Referências bibliográficas

- [01] Paulon, V. A. Durabilidade do Concreto – Avanços da Tecnologia. In: 7° SIMPATCON – Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, Campinas, São Paulo, 1984.
- [02] ALMEIDA, D. F. A. Patologia, Terapia e Profilaxia nas Construções. In: 19° SIMPATCON – Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, Campinas, São Paulo, 1998.
- [03] GALLETO, A.; MENEGUINI, E. C. A. Comportamento do concreto submetido à temperaturas elevadas. Seminário apresentado à disciplina Análise Experimental de Estruturas – FEC-UNICAMP, Campinas, 2000.
- [04] PETRUCCI, E. G. R. Concreto de Cimento Portland, Editora Globo, Rio de Janeiro, 1987.
- [05] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto, Editora Pini, São Paulo, 1997.
- [06] MALHOTRA, V. M. Durability of Concrete, ACI SP 126, vol. 1 e 2, 1991.
- [08] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. - NBR NM 67, Rio de Janeiro, 1998.

- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Especificação – Determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos. – NBR7211, Rio de Janeiro, 2005.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preparação do concreto em laboratório. - NBR 12821, Rio de Janeiro, 1993.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. – NBR 5738, Rio de Janeiro, 2003.
- [12] DORO, P. S. Efeito de altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação, Relatório de Iniciação Científica – CNPq. Campinas, 2001.
- [13] CÂNOVAS, M.F. Patologia e terapia do concreto armado. Editora Pini, São Paulo, 1988.