

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CURADO EM BAIXA TEMPERATURA

Lucas Alexandre Reginato*
Maiara Foiato**
Angela Zamboni Piovesan***

Resumo

O concreto basicamente é composto de cimento, agregados, água, bem como aditivos; seu endurecimento, entre outros fatores, são determinados pelas reações exotérmicas do cimento. Durante o inverno, ou em dias com baixas temperaturas, as peças concretadas sofrem mudanças em seu desempenho habitual, afetando diretamente o ganho de resistência do concreto. Esse problema é principalmente enfrentado na região Sul do Brasil onde as mínimas no inverno atingem temperaturas muito baixas, sendo comum chegarem próximas de 0 °C e até negativas. Eventualmente, são realizadas concretagens em temperaturas inferiores a 10 °C, em desacordo com a NBR 7212, e, ocasionalmente a concretagem em baixas temperaturas pode afetar a resistência estipulada para 28 dias do concreto. Para tal, analisou-se a influência da temperatura de cura do concreto em 8 °C e 23 °C para diferentes idades e com duas temperaturas da água de amassamento, onde se pode constatar que houve uma redução de 35% da resistência à compressão do concreto aos 28 dias para cura a 8°C em comparação a cura a 23°C, além disso, a dosagem com a temperatura da água de amassamento mais baixa não provocou interferência na resistência à compressão.

Palavras-chave: Concreto. Temperatura. Resistência.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), estima-se que o consumo de concreto atualmente no mundo seja na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano. Entre as principais razões da utilização desse material na construção civil, destaca-se a ótima resistência à água, possibilidade de diversas formas e tamanhos de elementos estruturais, além do baixo custo e rápida disponibilidade do material na obra, já que os principais componentes do concreto são agregados (miúdo e graúdo), água e cimento Portland. Além dos componentes principais, Martin (2005) destaca o crescimento na utilização de aditivos nas misturas de concreto; eles possibilitam modificar algumas das características ou propriedades deste material.

A principal propriedade do concreto é a sua resistência à compressão, que é medida pela tensão, ou seja, medida que fornece uma determinada força por unidade de área expressa em Megapascal (MPa), conforme descrito por Adão e Hemerly (2010).

* Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; lukas0910@gmail.com

** Graduada em Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; maiarafoiato@yahoo.com.br

*** Professora Mestre no Curso de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; angela.piovesan@unoesc.edu.br

Entre os inúmeros fatores que influenciam na resistência do concreto, pode-se citar a relação água/cimento, hidratação do cimento decorrentes do tempo de cura, temperatura e umidade, porosidade da matriz, características dos agregados, interação química entre agregados e pasta de cimento. Estando a resistência à compressão do concreto diretamente vinculada à relação água/cimento utilizada na dosagem deste, quanto maior for esta relação, maior será a porosidade do concreto e, como consequência, menor será sua resistência em razão do enfraquecimento da matriz do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Já a hidratação do cimento é basicamente uma sequência de reações químicas entre este componente e a água, obtendo como resultado a perda da consistência, a pega, o endurecimento e o desenvolvimento da resistência da pasta de cimento. Ligada a isso, o processo de cura do concreto consiste na manutenção de um ambiente favorável ao desenvolvimento de sua resistência, em termos de umidade e temperatura, sem que haja prejuízos ao produto final (ISERHARD, 2000).

No decorrer do inverno, as peças concretadas passam por alterações em seu desempenho habitual de desforma. Como a velocidade de hidratação de qualquer tipo de cimento é influenciada, sobretudo, pela temperatura e finura do cimento, durante os dias de baixa temperatura, é frequente o retardamento de pega do concreto e, como consequência, ocasionando a queda de resistência nas idades iniciais, podendo até impedir a desforma de peças estruturais. A má hidratação provocada pela ineficiência do processo de cura pode gerar danos irreversíveis (LAGUNA; IKEMATSU, 2011). Esses problemas ocorrem principalmente na região Sul do país, onde as mínimas no inverno atingem temperaturas muito baixas, inclusive com registros de temperaturas negativas. Conforme Instituto Nacional de Meteorologia (2013), no mês de julho desse ano nevou e houve formação de geada nos três Estados da região Sul do Brasil, com registro de $-7,8^{\circ}$ C, menor temperatura registrada na Região e no país até então. Durante cinco dias consecutivos, neste mês, houve registros de temperaturas negativas e máximas em torno de $5,6^{\circ}$ C em algumas cidades da região Sul. Somente no mês de julho ocorreram cinco massas de ar frio na região Sul.

Graça, Bittencourt e Santos (2005) destacam que na região Sul do Brasil a maior parte dos problemas em concretos, em virtude do clima frio, referem-se às geadas com ocorrência de neve ou gelo sendo estes potencializados pela ação do vento. Os efeitos do clima frio são mais prejudiciais quando ocorrem de forma rápida no concreto, principalmente nas primeiras idades onde ocorre o resfriamento deste em decorrência das reações de hidratação do cimento que inicialmente tendem a liberar calor. Esse choque térmico pode causar fissurações generalizadas, inicialmente superficiais e podendo posteriormente se estender por toda a massa, principalmente em estruturas esbeltas.

Estudos realizados no sul do país para concretos de barragens, mostraram que corpos de prova mantidos em condições de temperatura entre 15° C e 25° C apresentaram diferenças significativas na resistência à compressão, com valores entre 15% e 30% inferiores para o concreto mantido à temperatura mais baixa, com as maiores diferenças para os concretos com relação água/cimento maiores (GRAÇA et al., 2005 apud GRAÇA; BITTENCOURT; SANTOS, 2005).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), para misturas de concreto moldados a uma temperatura de 21° C, e curadas a diferentes temperaturas em cura úmida, desde abaixo de 0

°C até 21 °C, para a temperatura de cura próxima do congelamento a resistência aos 28 dias é aproximadamente a metade da resistência do concreto curado a 21 °C, ou seja, em temperaturas abaixo de zero quase não se desenvolve resistência.

Mehta e Monteiro (2008) enfatizam que em climas frios a baixa temperatura da cura do concreto pode retardar e até impedir o desenvolvimento da resistência do concreto. Desse modo, é importante ter um entendimento dos possíveis efeitos da temperatura nas propriedades do concreto nas primeiras idades. Quando o concreto está congelado e é mantido nessa condição, nenhum ganho de resistência ocorre. Assim, o concreto fresco deve ser mantido protegido de congelamento até que o ganho de resistência alcançado seja adequado. A NBR 7212 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), estabelece a temperatura mínima para o lançamento do concreto em 10 °C, alertando para utilização de cuidados especiais quando este limite não for respeitado.

A cura insuficiente do concreto pode também ser prejudicial para outras propriedades do concreto, além da resistência à compressão, porém, a maioria das decisões se baseia nessa característica.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento do concreto quando submetido à cura a baixa temperatura em 8 °C, comparado com concreto à cura em 23 °C, fazendo utilização de duas temperaturas da água de amassamento, em temperatura ambiente e a 5 °C.

Os corpos de prova foram moldados de acordo com as orientações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Após a desmoldagem, os corpos de prova foram curados a 23 °C em tanque com temperatura controlada e os corpos de prova submetidos à temperatura de 8 °C foram curados em refrigerados também com temperatura controlada.

O ensaio de resistência à compressão seguiu as recomendações da NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados agregados britados de origem basáltica de jazidas da região do Meio-Oeste catarinense, em três frações granulométricas distintas (brita 1, brita 0, pó de perda), com areia natural média.

A caracterização física dos agregados britados, brita 1, brita 0 e pó de pedra, estão apresentadas na Tabela 1 e seguiram as especificações das normas Brasileiras NM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), NM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) e NM 53 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b).

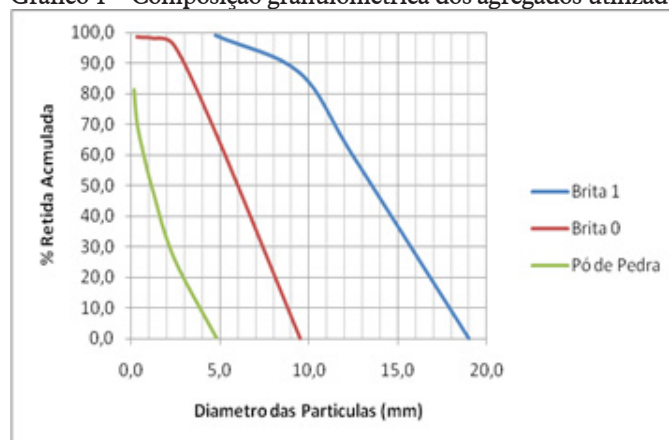
Tabela 1 – Caracterização física dos agregados

Determinação	Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Areia média
Dimensão máxima característica (mm)	19	9,5	4,8	4,8
Módulo de finura	7,5	5,6	2,9	1,9
Massa específica (g/cm ³)	2,85	2,73	2,79	2,57
Massa unitária (g/cm ³)	1,6	1,56	1,56	1,36

Fonte: os autores.

O Gráfico 1 apresenta a determinação da composição granulométrica dos três agregados utilizados, sendo realizada segundo as orientações da NM 248 – Agregados – determinação da composição granulométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

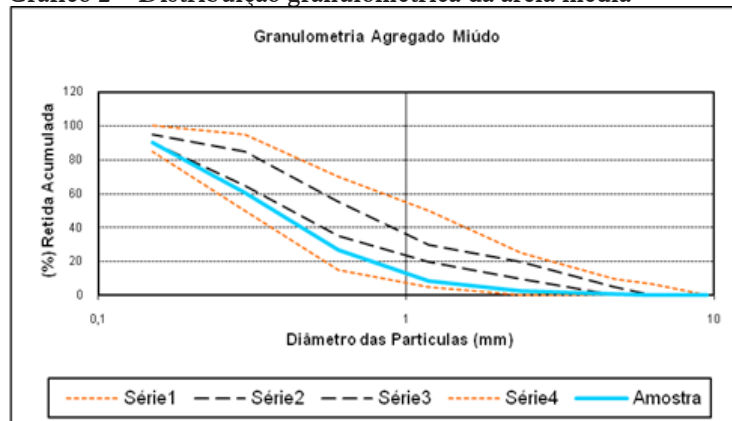
Gráfico 1 – Composição granulométrica dos agregados utilizados



Fonte: os autores.

Com os agregados britados, utilizou-se areia natural média. Assim, as características físicas da areia utilizada estão demonstradas na Tabela 1, já o Gráfico 2 ilustra a distribuição granulométrica da areia empregada. Além dos agregados, foi utilizado cimento Portland tipo II Z e aditivo plastificante.

Gráfico 2 – Distribuição granulométrica da areia média



Fonte: os autores.

A água utilizada na pesquisa tem condições de potabilidade e é proveniente da rede de abastecimento local.

2.2 TRAÇO UTILIZADO

O traço utilizado está apresentado na Tabela 2, baseado em um estudo de dosagem realizado previamente a fim de se obter aproximadamente 25 MPa de resistência à compressão aos 28 dias. A consistência foi determinada segundo as especificações da NM 67 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), encontrando-se como resultado para a mistura um abatimento de 130 mm. A massa específica do concreto foi de 2382 kg/m³.

Tabela 2 – Traço unitário utilizado

Material	Traço unitário
Cimento CP II Z	1
Brita 1	1,74
Brita 0	0,68
Pó de Pedra	0,52
Areia Média	2,07
Água	0,65

Fonte: os autores.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para as diferentes temperaturas de cura e para as condições da água de amassamento são apresentadas na Tabela 3 para diferentes idades de rompimentos.

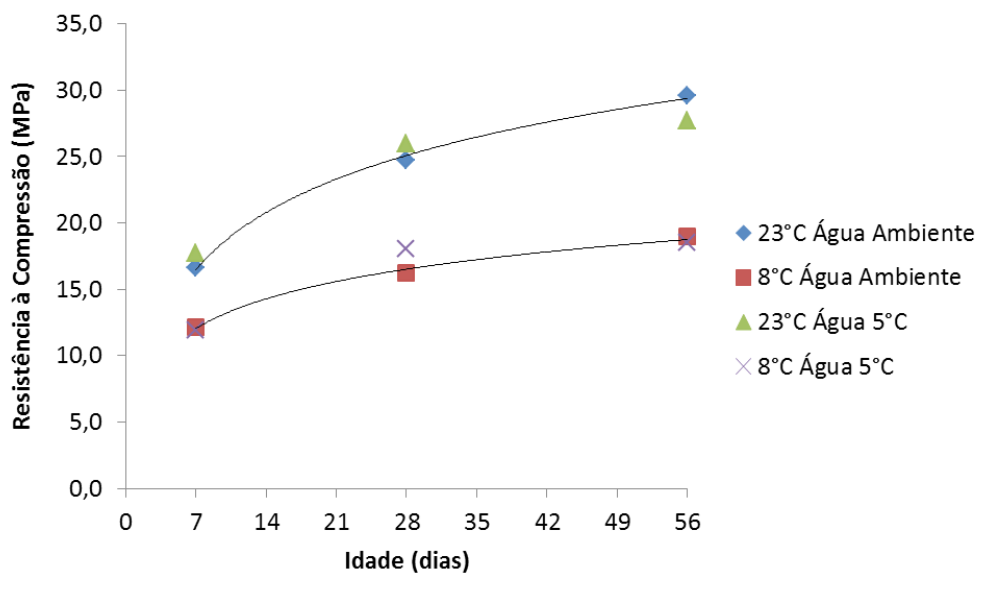
Tabela 3 – Resultados obtidos para as diferentes condições de contorno

Temperatura da Água	Temperatura de Cura	Idade		
		7 dias	28 dias	56 dias
Ambiente	23 °C	16,6	24,8	29,6
	8 °C	12,2	16,2	19
5 °C	23 °C	17,7	26	27,7
	8 °C	11,9	18,1	18,5

Fonte: os autores.

A evolução da resistência à compressão para diferentes idades pode ser observada no Gráfico 3, em que se constata que a resistência aumentou com a evolução da idade do concreto.

Gráfico 3 – Evolução da resistência à compressão para as diferentes condições de contorno



Fonte: os autores.

Analisando a influência da temperatura da água de amassamento na evolução da resistência do concreto, pode-se observar no Gráfico 3 que não houve diferença significativa quanto à temperatura da água de amassamento a 5 °C ou em temperatura ambiente. Entretanto, quando se analisa a temperatura de cura do concreto, pode-se constatar que esta exerce influência direta na resistência à compressão dele.

Verificando a resistência à compressão aos 7 dias, quando a temperatura de cura está em 8 °C nota-se que ocorre uma redução de aproximadamente 27% da resistência em relação à cura aos 23 °C, contudo, a 28 e 56 dias houve um aumento desta diferença, chegando a aproximados 35% e 36%, respectivamente.

4 CONCLUSÃO

Quanto à influência da temperatura de cura e à temperatura da água de amassamento do concreto, pode-se concluir que:

- a) a evolução da resistência à compressão não é comprometida quando a temperatura da água de amassamento do concreto é reduzida a 5 °C;
- b) a resistência à compressão é afetada negativamente com a redução da temperatura de cura do concreto, resultando na redução de até 35% da resistência à compressão do concreto quando curado a 8 °C em comparação com a cura a 23 °C, aos 28 dias.

De forma mais ampla, ressalta-se que devem ser tomados cuidados especiais quanto à concretagem em temperaturas próximas ou inferiores a 8 °C, principalmente quanto à desforma dos elementos de concreto armado, considerando que as temperaturas baixas reduzem o ganho de resistência do concreto podendo ocasionar fissuração após a retirada do escoramento dos

elementos de concreto, em virtude da redução da resistência à compressão frente a condições normais de cura.

Abstract

Evaluation of resistance of concrete compression cured in low temperature

Concrete is basically composed of cement, aggregates, water and additives, and its hardening, among other factors, are determined by the exothermic reactions of cement. During the winter or on days with low temperatures, concreted parts undergo changes in their usual performance, directly affecting the resistance's gain of concrete, this problem is mostly faced in the southern Brazil where the minimum winter are very low temperatures, being generally near 0 ° C, and even lower. Eventually castings are performed at temperatures below 10 ° C, against the NBR 7212, occasionally concreting at low temperatures can affect the resistance set for 28 days of concrete. So, it was analyzed the influence of curing temperature on the concrete from 8 ° C to 23 ° C for different ages and with two water temperatures of kneading, where it can be seen that there was a 35% reduction of the compressive strength of the concrete after 28 days to cure at 8 ° C compared to curing at 23 ° C, besides that, the dosing with the lower water kneading temperature did not cause any interference in the compressive resistance.

Keywords: Concrete. Temperature. Resistance.

REFERÊNCIAS

ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLY, Adriano Chequetto. **Concreto Armado: novo milênio, cálculo prático e econômico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7212 - Execução de concreto dosado em central**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

GRAÇA, Newton Goulart; BITTENCOURT, Rubens Machado; SANTOS, Sergio Botassi dos. Efeitos da temperatura sobre o concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Boletim agroclimatológico mensal**. Brasília, DF, 2013. 52 p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201307.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

ISERHARD, José Luís Rodrigues de Freitas. **Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar**. 2000. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LAGUNA, Luis Antonio; IKEMATSU, Paula. A influência da temperatura na desforma do concreto. **Revista Técnica**. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2013.

MARTIN, Juan Fernando Matías. Aditivos para concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.