

INTERFERÊNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA E DA CURA NA RESISTÊNCIA FINAL DO CONCRETO

Erli Raquel Zortea Andretta
Mestre, Engenheira Civil, Unoesc
Mariana Amadigi Ostetto
Engenheira Civil

Resumo: O trabalho discorre sobre os efeitos da alteração da temperatura da água de amassamento e da cura na resistência final do concreto. O objetivo da pesquisa é verificar se o concreto sofre mudanças na resistência quando submetido a temperaturas mais altas ou baixas que a considerada temperatura ambiente. Para isso, a abordagem se dá para o ensaio de compressão, o qual apresentará a resistência do concreto. Os resultados de resistência final do concreto podem apresentar alterações em virtude de diversos fatores. O calor de hidratação do cimento, também é um tópico de grande influência com relação às patologias do concreto. Foi apresentado embasamento teórico com autores que já realizaram estudos sobre o assunto, para que seja possível realizar a comparação com os resultados obtidos ao final dos ensaios. O estudo foi realizado na cidade de Xanxerê, no Oeste de Santa Catarina, região Sul do Brasil, onde as temperaturas de inverno e verão são extremas e que também ocorrem muitas variações durante o mesmo dia. Após verificação dos resultados dos ensaios de compressão, é possível dizer que uma temperatura ambiente ideal para realização de concretagem está na casa dos 21°C.

Palavras-chave: Concreto. Temperatura. Resistência.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais se têm notícias de inovação no meio da Engenharia Civil, a busca de novas tecnologias e soluções para problemas corriqueiros é fundamental. O mercado está gradativamente mais exigente e requer progressivamente que os profissionais desta área tão nobre garantam maior qualidade para seus produtos finais.

A construção civil é um meio que recebe muitas influências de diversos fatores diariamente, que podem interferir nos resultados finais de um empreendimento. Pode-se dizer que um dos principais problemas enfrentados por este segmento de trabalho são os fatores climáticos. Este tipo de problema está relacionado com a geração de atraso no cronograma e no andamento da obra, possíveis retrabalhos e alteração das características finais da estrutura. Algumas regiões são mais afetadas em decorrência deste fator, por isso, deve se ter consciência de que alguns cuidados devem ser tomados para evitar problemas durante o processo de construção.

A região Sul do Brasil é sempre lembrada por suas temperaturas mais baixas em comparação com as outras regiões do Brasil. Por isso, o estudo será realizado em uma localidade que faz parte

desta região, ficando no estado de Santa Catarina em sua parte Oeste. Muitas vezes em dias muito frios em que ocorre concretagem de elementos estruturais, o concreto pode demorar mais que o normal para iniciar o seu endurecimento e pode acabar perdendo sua resistência. Além disso, já nos primeiros dias pode apresentar um número significativo de fissuras na superfície.

A partir desta situação, este estudo tem como objetivo verificar se ocorre alteração na resistência final do concreto quando os seus componentes forem expostos a variação de temperatura. Estes resultados serão obtidos através de ensaios que serão realizados em laboratório a partir de testes de compressão de corpos de prova. Além da resistência à compressão do concreto, será realizado também o acompanhamento da temperatura do calor de hidratação do cimento.

O presente relatório compreende um embasamento teórico composto do conceito e histórico do concreto, seguido de explicações a respeito dos seus componentes. Além disso, será discorrido sobre as propriedades do concreto, tanto em seu estado fresco quanto endurecido, sua dosagem e produção. Posteriormente, será brevemente comentado a respeito de alguns ensaios que podem ser realizados com o concreto.

2 DESENVOLVIMENTO

O autor Neville (2016, p. 375), explica que os ensaios realizados com concreto em laboratórios são feitos sob temperaturas geralmente controladas e constantes. Como antigamente os testes com concretos eram realizados em locais com climas temperados, a temperatura padrão escolhida para realização dos ensaios sempre variava entre 18 e 21°C. Atualmente, muitas propriedades básicas do concreto fresco e endurecido são definidas a partir do seu comportamento neste intervalo de temperatura.

Cecconello e Tutikian (2012, p. 77), comentam que o Brasil é formado por um território bastante extenso e que engloba diferentes condições climáticas, inclusive locais com baixas temperaturas em determinados períodos do ano. O caso do clima dos estados da região Sul do Brasil é um exemplo que pode ser comparado com outros países da América Latina, onde a incidência de baixas temperaturas em longos períodos do ano é caracterizada pelo clima temperado.

Para Laguna e Ikematsu (2009), em dias de inverno ou com baixas temperaturas, as peças concretadas sofrem mudanças em seu desempenho habitual de desforma, o que pode afetar a produção industrial. É também nessas épocas que as concreteiras recebem muitas solicitações de informações sobre o que acontece com as peças concretadas nas primeiras idades, já que algumas vezes elas não endurecem e não ganham resistência. Os autores ainda comentam que quando se realizam concretagens em tempo frio, é difícil determinar o tempo que o concreto vai levar até que se inicie o estágio de endurecimento, pois pode-se dizer que a temperatura é um dos principais fatores que interferem na resistência.

Sabendo que a região Oeste de Santa Catarina passa por meses onde ocorrem temperaturas mais baixas quando comparada com outras regiões do país, o objetivo do estudo é verificar se ocorrem mudanças das resistências finais do concreto quando submetidos a baixas e altas temperaturas no processo de cura e utilizando a água de amassamento na produção de concreto com temperatura modificada. A partir disso, é necessário a coleta de alguns dados climatológicos da região, para que seja possível realizar os processos do estudo da forma mais real possível.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (2017), pode-se perceber que a temperatura média anual da região Oeste de Santa

Catarina varia entre 18 a 22°C, dados do ano de 2017. Em algumas épocas do ano, as temperaturas chegam perto de 0°C, ou ainda atingem temperaturas negativas. Segundo Mello e Kruscinski, da Epagri Ciram (2011), o mês de julho é o mais frio do ano e a cidade de Xanxerê – SC tem uma temperatura média de 7,9°C entre os meses de junho a agosto.

Mediante ao descrito, houve o interesse em realizar ensaios com o concreto para verificar se existem alterações em sua resistência final em decorrência da variação de temperatura. Tendo como base as grandes variações de clima que se têm na região, o estudo aconteceu visando buscar condições mais próximas aos reais, a fim de obter resultados mais efetivos.

Todos os procedimentos laboratoriais foram realizados no Bloco I do Campus de Xanxerê da Universidade do Oeste de Santa Catarina. Foi realizada a caracterização dos agregados através dos ensaios de granulometria, massa unitária, massa específica e umidade. Além destes, também foram realizados neste local a produção do concreto, a moldagem dos corpos de prova, os ensaios de resistência, abatimento e cura.

Para a realização dos ensaios de resistência final do concreto, moldados com diferentes temperaturas da água, foi realizado uma sequência de procedimentos. Primeiramente, foi definido um traço de concreto com objetivo de analisar a sua resistência final. O traço referido é um pré-definido, utilizado em uma empresa da região atuante no mercado, apresentado da seguinte maneira: 1 : 2,63 : 2,84 : 0,45, sendo: cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : água. O cimento utilizado é o CP II Z – 32, a areia é a fina e o agregado graúdo brita 0.

O traço supracitado é comum para estruturas de concreto armado em obras da região do Oeste de Santa Catarina, pretendendo atingir 30MPa aos 28 dias de idade. Foi utilizado um traço comum para esta região para que os resultados fossem os mais reais possíveis em relação aos problemas enfrentados em épocas críticas de baixa e alta temperatura.

O ensaio de granulometria foi realizado para o agregado graúdo e miúdo, utilizando as peneiras regulamentadas pela ABNT NBR 7211, com a série normal. A massa unitária foi feita seguindo o processo que se apresenta na ABNT NBR 7251, sendo que o resultado final é a média dos três ensaios. O ensaio de massa específica foi realizado com o que se prioriza da ABNT NBR NM 52 para agregado miúdo e 53 para o graúdo. O valor da

massa específica foi conhecido pela relação da massa do agregado seco e seu volume. A umidade dos agregados pôde ser medida através da razão entre a diferença da massa úmida e da massa seca pela massa seca, multiplicado por 100, tendo o percentual de umidade do agregado ensaiado.

Após realização da caracterização dos agregados, deu-se início a produção do concreto. Foram realizados ensaios com quatro diferentes temperaturas, sendo elas 0°C, 08°C, temperatura ambiente e 40°C. Para a produção do concreto, a água de amassamento foi submetida à temperatura especificada para cada um dos concretos ensaiados. Para garantir a temperatura correta da água para as temperaturas de 0 e 08°C, foi utilizado um refrigerador com controlador de temperatura. Para o caso dos 40°C, foi utilizado um termostato para medir a temperatura da água aquecida através de uma resistência. Além da água de amassamento, a cura também se deu nas temperaturas especificadas.

A produção do concreto foi feita em betoneira estacionária disponibilizada pelo laboratório da universidade. A sequência da colocação dos materiais no equipamento foi a seguinte: parte da água, agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e restante da água, levando em consideração a umidade da areia. A mistura foi realizada pelo tempo de 3 a 5 minutos após todos os componentes dentro da betoneira, respeitando o recomendado pela ABNT NBR 12655, que é de no mínimo 60 segundos de mistura.

A partir do concreto produzido, foi realizado o teste de abatimento do tronco de cone do concreto ou Slump Test para os quatro concretos produzidos em diferentes temperaturas, a fim de verificar a sua consistência. Os resultados obtidos através deste ensaio podem ser vistos através da tabela apresentada na Imagem 01 e do gráfico apresentado na Imagem 02, as quais apontam que conforme a temperatura aumenta, a trabalhabilidade do concreto diminui.

Além deste, também foi realizado o ensaio de compressão do concreto para identificação das suas resistências finais, sendo o foco principal deste estudo. Foram produzidos, ao todo, 28 corpos de prova, divididos entre as quatro temperaturas que serão ensaiadas. Destes, 04 foram destinados para controle de temperatura de hidratação do cimento no interior do corpo de prova, um para cada temperatura. Os restantes, foram rompidos aos 14 e 28 dias de idade, sendo um conjunto de 03 corpos de prova para cada temperatura e idade do concreto. Os processos

para moldagem dos corpos de prova seguirão o que se prioriza na ABNT NBR 5738:2015.

Os corpos de prova foram moldados e submetidos, ainda no cilindro metálico, à temperatura do ensaio. Para o caso das temperaturas de 0°C e 8°C, os corpos de prova moldados foram dispostos dentro do refrigerador com controlador de temperatura. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em uma caixa com água que ficou dentro do refrigerador para realização da cura na temperatura necessária. Foram realizadas aferições da temperatura do refrigerador diariamente e em horários diferentes, a fim de garantir que se mantenha constante.

Os corpos de prova que foram curados à temperatura ambiente, foram moldados e desmoldados sem que houvesse um controle diferenciado. Após 24 horas da moldagem, foram desmoldados e dispostos no tanque do laboratório da universidade até que atingissem a idade correta para o rompimento.

Para o caso dos corpos de prova submetidos aos 40°C, foram moldados e levados para estufa programada com esta temperatura, onde permaneceram por 24 horas até serem desmoldados. A estufa utilizada é da marca "Lucadema".

Após desmoldados, foram colocados em uma caixa térmica com água na temperatura de 40°C. Essa temperatura foi alcançada através de um sistema de aquecimento adaptado para a realização do ensaio.

O sistema era composto por três partes principais, compostas por um termostato digital modelo TIC – 17RGTi, da marca "Full Gauge", o qual era responsável por apresentar a temperatura da água da cura dos corpos de prova. O termoresistor era mantido submerso na caixa com água, responsável por identificar a sua temperatura e enviar para o painel digital. Para este caso, o equipamento foi programado para que temperatura permaneça em 40°C. Para o aquecimento da água, foi utilizado uma resistência de 1500 W de potência e 220 V de tensão, que também ficou submersa. Junto com o painel digital, continha um contator com função de fazer com que a resistência ligue e desligue automaticamente para que se mantenha a temperatura correta da água na caixa. O sistema ficou conectado 24 horas por dia, em tomada 220 V para que funcionamento durante o período de teste.

O controle de temperatura de hidratação do cimento também foi realizado através de um

equipamento adaptado que foi montado com a ajuda de técnicos em elétrica.

O equipamento também era composto por um termostato digital modelo TIC – 17RGTi, da marca “Full Gauge”. O termoresistor foi envolvido por plástico filme e concretado juntamente com o corpo de prova. No painel digital, o termoresistor enviava qual era a temperatura no interior do corpo de prova, que era a de calor de hidratação do cimento.

Assim como os corpos de prova que foram utilizados para medir a resistência aos 14 e aos 28 dias, os que serviram para medir o calor de hidratação de cimento, estarão submetidos às mesmas condições de cura. Cada um foi colocado à temperatura necessária para desenvolvimento correto dos ensaios.

Para realização do teste de compressão para obter a resistência dos corpos de prova, foi utilizada a prensa hidráulica disponível no laboratório da universidade. Antes de serem submetidos ao ensaio de compressão, os corpos de prova foram ser retificados no laboratório. Cada corpo de prova foi submetido à esforços de compressão até o seu rompimento. A partir disso, foi verificado qual é resistência, dada em MPa.

Após a realização dos ensaios, a apresentação dos resultados deste estudo foi demonstrada através de dados matemáticos, pois se trata de uma pesquisa quantitativa, a fim de apresentar se há ou não interferência da temperatura da água de amassamento e da cura do na resistência final do concreto. Foram confeccionadas tabelas e gráficos com os resultados obtidos, além de média das resistências avaliadas e realização de um estudo estatístico com desvio padrão.

Os resultados obtidos para os ensaios de compressão, estão apresentados nas tabelas da Imagem 03 e 04 e também são comparadas através de um gráfico, visto na Imagem 05.

A partir dos ensaios realizados com os equipamentos elétricos, que foram o termostato e o controlador de temperatura, foi possível acompanhar a temperatura do calor de hidratação do cimento no interior dos corpos de prova. Esse acompanhamento foi realizado para as quatro temperaturas diferentes de produção de concreto. A partir das temperaturas alcançadas, foi possível confeccionar gráficos comparando a temperatura do calor de hidratação do cimento com a temperatura em que se encontrava o meio onde o corpo de prova estava inserido. A Imagem 06 apresenta um gráfico com um comparativo do calor de hidratação de cada temperatura.

Após os ensaios realizados, pode ser visto que cada concreto acaba tendo um comportamento diferenciado em relação ao calor de hidratação. Com a sobreposição das linhas, pode-se perceber que, com exceção do segmento correspondente à temperatura ambiente, todas apresentam uma variação mais significativa do calor de hidratação durante as primeiras idades.

Pode ser observado que a linha que representa a temperatura de 40°C, tem o pico de temperatura em suas primeiras idades, depois decai e se estabiliza. Já a linha que representa a temperatura de 0°C e a de 8°C, após apresentarem a primeira queda não se estabilizam, ocorrendo mais um pico de temperatura perto dos 21 dias de idade.

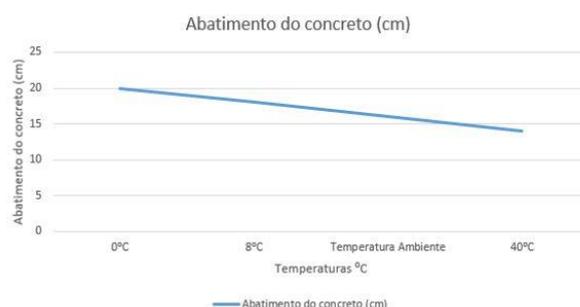
O acompanhamento da temperatura do calor de hidratação do cimento pode evitar muitos problemas em estruturas. Para Carneiro, Gil e Campos Neto (2011, p. 27-28), o fenômeno de calor de hidratação causa danos para a estrutura de concreto armado, provocando fissuras, as quais podem se tornar vias para interpolação de água, atingindo a armadura e causando corrosão. Essas fissuras ocorrem através da retração devida a queda de temperatura após atingir o seu ponto máximo, que é quando as reações de hidratação do cimento acabam.

Imagem 01 - Tabela de resultados obtidos no Slump Test com as temperaturas ensaiadas

Resultados obtidos no Slump Test				
Temperatura água e cura do concreto	0°C	8°C	Temperatura Ambiente	40°C
Abatimento do concreto (cm)	20	18	16	14

Fonte: A autora, 2019.

Imagem 02 - Relação entre o abatimento do concreto e a temperatura



Fonte: A autora, 2019

Imagem 03 - Resumo dos resultados dos corpos de prova rompidos aos 14 dias

Resumo dos ensaios de compressão			
Temperatura	Idade	Média (MPa)	Desvio padrão
0 a 4°C	14 dias	16,07	0,8
8 a 10°C	14 dias	9,09	0,48
Temp. Ambiente	14 dias	19,17	0,6
38 a 40°C	14 dias	14,71	0,37

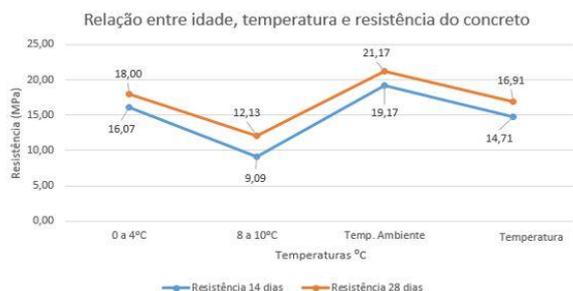
Fonte: A autora, 2019

Imagem 04 - Resumo dos resultados dos corpos de prova rompidos aos 28 dias

Resumo dos ensaios de compressão			
Temperatura	Idade	Média (MPa)	Desvio padrão
0 a 4°C	28 dias	18,00	0,14
8 a 10°C	28 dias	12,13	0,65
Temp. Ambiente	28 dias	21,17	0,54
38 a 40°C	28 dias	16,91	0,09

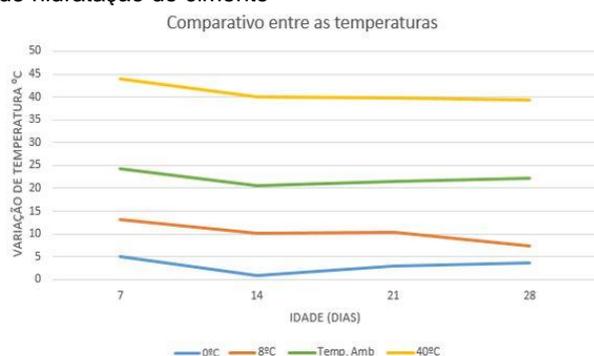
Fonte: A autora, (2019).

Imagem 05 - Relação entre idade, temperatura e resistência do concreto



Fonte: A autora, (2019).

Imagem 06 - Comparação entre as temperaturas de calor de hidratação do cimento



Fonte: A autora, (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos para os ensaios de compressão com variadas temperaturas, foi possível realizar um comparativo entre elas e identificar quais podem ser as mais adequadas para realização da concretagem. Sendo assim, durante a pesquisa, ficou claro que a melhor temperatura para realização da concretagem é de em média 21°C, visto que os melhores resultados de resistência a compressão dos concretos foram obtidos com essa temperatura. Em acordo, a ABNT NBR 7212 (1984, p. 04), propõe que o concreto seja lançado com temperaturas que variem entre 10 e 32°C, fora desses limites, devem ser tomados cuidados especiais.

De acordo com Carneiro, Gil e Campos Neto (2011), quando se fala em temperaturas elevadas,

as patologias se devem ao calor de hidratação, quando ocorre em um nível elevado. Esse fator pode causar alguns problemas à estrutura, como por exemplo o aparecimento de fissuras. Essa patologia pode ser responsável por pela perda de resistência dos elementos estruturais, causando corrosão das armaduras. Para Bueno (2000), quando se fala em baixas temperaturas de concretagem, deve-se tomar cuidado pois a pega pode sofrer influência e ser retardada, diminuindo a resistência do concreto e atrasando seu enrijecimento.

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se que, em projetos de estruturas, seja realizada a especificação da temperatura de lançamento do concreto em função do calor de hidratação. Isto se justifica pelo fato de que este fenômeno pode causar patologias já citadas neste trabalho, podendo causar graves problemas à estrutura.

É necessário que haja um cuidado muito grande na realização de concretagens em dias com temperaturas que fogem do que é considerado ideal para sua execução. Por isso, é imprescindível que se realize um planejamento objetivando o sucesso de cada etapa do empreendimento, a fim de garantir que não ocorram patologias que possam ocasionar danos à estrutura de concreto.

Propõe-se como continuação desta pesquisa, como sugestão de trabalho futuro, um estudo mais amplo com relação as patologias que podem afetar o concreto relacionado a temperatura. Esta sugestão se deve ao fato de se estar situado em uma região onde ocorrem variações consideráveis de temperatura em um mesmo dia, o que pode acarretar danos a estrutura de concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. Boletim Técnico. 7 ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

____ NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

____ NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998

AZEREDO, Hélio Alves de. O Edifício até sua Cobertura. 2ª Edição. Ed. Afiliada. São Paulo, 1997.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. Universidade Estadual Paulista – UNESP,

Departamento de Engenharia Civil. Bauru - SP, agosto de 2016.
Disponível em: <
[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTO
S.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTO_S.pdf)> Acesso em 20 de agosto de 2018.

CECCONELO, Vinício; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. A influência das baixas temperaturas na evolução das resistências do concreto. Revista IBRACON de estruturas e materiais. São Leopoldo - RS, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/285/254>> Acesso em 02 de novembro de 2018.

FUSCO, Péricles Brasiliense. Tecnologia do Concreto Estrutural. 2 ed. Ed. Pini. São Paulo, 2012.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2016.

PETRUCCI, Eladio G. T. Concreto de Cimento Portland. 6 ed. Ed. Globo. Porto Alegre, 1978.

RIPPER, Ernesto. Como evitar erros na construção civil. 3 ed. Ed. Pini. São Paulo, 1996.

TUTIKIAN, Bernado F., HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. Cap. 12. IBRACON, 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc56.pdf>> Acesso em 20 de setembro de 2018.

YAZIGI, Walid. A Técnica de Edificar. 14ª Edição. Ed. Pini. São Paulo, 2014.