

INFLUÊNCIA DA CURA POR IMERSÃO EM CONCRETOS CONVENCIONAIS

Hugo Alessandro Almeida Diniz

Graduando em Engenharia Civil. Universidade Potiguar
E-mail: hugoadiniz@gmail.com

Italo Vale Monte Junior

Engenheiro Civil. Pós-Graduado em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Hídricos (UnP). Professor na Universidade Potiguar – UnP. E-mail: italo.vale@unp.br

Samuel Silva de Oliveira

Graduando em Engenharia Civil. Universidade Estácio de Sá
E-mail: oliveiradesamuel@gmail.com

Kalina J. Marques de Souza

Graduanda em Engenharia Civil. Universidade Potiguar
E-mail: kalinamarques@hotmail.com

ENVIO EM: Agosto de 2015

ACEITE EM: Maio de 2016

RESUMO: A cura é uma das principais etapas na execução do concreto, onde tem participação direta no processo de hidratação da pasta de cimento, que envolve os agregados e confere a conexão estrutural molecular. O objetivo desta etapa é a vedação do concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação. O presente trabalho buscou comparar o processo de cura por imersão com o processo de cura ao ar livre, verificando sua influência nas propriedades mecânicas do concreto. Para obter os resultados, realizou-se ensaios de resistência à compressão axial em seis idades, por um período de 70 dias. Observou-se um aumento médio de 14% na resistência a compressão dos corpos de prova com cura por imersão em relação ao referencial. Com base nos resultados, podemos concluir que a cura por imersão melhora o desempenho mecânico do material estudado.

Palavras-chave: Concreto. Cura. Resistência à compressão axial.

HEALING THE INFLUENCE OF IMMERSION IN CONCRETE CONVENTIONAL

ABSTRACT: The cure is one of the principals phases in the concrete's execution, where it have an direct participation in the cement paste hydration process, that evolves the aggregated and confer an structural molecular connection. The objective of this stage is the gasket of the concrete, maintaining the kneading water in the interior, avoiding the retraction and the transportation of the substances that can interfere in the hydration. This study sought to compare the cure process by immersion with "exposed to air" cure, verifying its influence on the mechanical properties of concrete. Order to obtain the results, this investigation were performed strength tests, ruptured by axial compression test in six ages, by a 70 days period. Was reached and 14 % in resistance gaining a compression in relation to the referential. Based on the results, we can conclude that cure by immersion improves the mechanical performance of the material studied.

Keywords: Concrete. Cure. Resistance to axial compression.



1 INTRODUÇÃO

O concreto é um composto de aglomerantes, agregados, aditivos minerais e água, que hoje possui a posição de material mais utilizado pela indústria da construção civil (ABCP apud WBCSD). Isso ocorre, segundo Mehta (2008), devido à sua capacidade de enfrentar os ambientes com presença e/ou incidência de água sem degradação acentuada e também de adquirir formas e tamanhos de diferentes sólidos geométricos, apresentando uma boa resistência mecânica e baixo custo econômico aliado à grande disponibilidade dos seus componentes em todo o mundo. Mediante a estas características, sua principal utilidade é na composição das estruturas de suporte de edificações, passarelas, pontes e estradas, dentre outros elementos construtivos.

Para confecção do concreto é necessário cumprir diversas etapas que são fundamentais para garantir e conferir suas características nos estados fresco e endurecido, onde, conforme Isaia (2012), “as propriedades do concreto endurecido dependem direta ou indiretamente da água”. Uma das etapas é o processo de cura, que consiste em impermeabilizar o concreto, após o término da “pega”, com uma camada de água ou vapor de água, impedindo a interferência de substâncias externas nas reações de hidratação dos compostos cimentícios e evitando a evaporação da água de amassamento. De acordo com Isaia (2012),

A cura do concreto com água é o meio mais efetivo de prevenir fissuração prematura e desenvolvimento adequado das reações de hidratação nas primeiras idades, onde a manutenção da superfície do concreto saturada de água previne a sua difusão do interior para o meio ambiente.

A função deste procedimento estende-se também ao controle de temperatura do concreto, visto que as reações químicas ocorrentes são exotérmicas e, havendo elevação da temperatura os cristais formados – estruturas responsáveis pelas características mecânicas - e a matriz fissuram, permitindo a entrada de agentes agressivos e comprometendo o concreto. Este fato é asseverado pelo professor e pesquisador P. Kumar Mehta (1994), onde ele afirma que “a morfologia é afetada pelo espaço disponível, temperatura de hidratação e impurezas presentes no sistema”. É importante salientar que existe uma quantidade mínima de água que possibilita a hidratação do cimento e uma boa trabalhabilidade (BOTELHO et al, 2010).

Existem diversas formas para a correta execução do processo de cura em estruturas de concreto. Estas serão definidas mediante algumas variáveis, por exemplo, logística da obra e clima. Segundo Mehta (2008), “a cura [...] pode ser efetuada por repesamento ou imersão; outras estruturas podem ser curadas por borrifamento ou neblina de água, ou pelo uso de revestimentos saturados de água que retenham umidade”.

A falta de compromisso com os processos de cura, *in loco*, trazem consequências na formação da microestrutura do concreto, que se torna frágil, implicando em uma matriz mais vulnerável. Decorrente a isto, a superfície do concreto apresenta uma maior probabilidade de degradação e o concreto não atinge seu potencial máximo de resistência.

Entendendo a importância do processo de cura em concretos, este trabalho é produto de pesquisa realizada nos laboratórios de materiais de construção do IFRN, com o desígnio de comprovar a influência de dois processos de cura na resistência à compressão do concreto.

Os processos empregados nesta pesquisa foram, a cura ao ar livre ou externa, onde esta foi escolhida como referência por representar as condições mais próximas

às realizadas nos canteiros de obras e a cura por imersão em tanque de água, por ser o método empregado no controle tecnológico do concreto, em quase totalidade, nas obras do Rio Grande do Norte.

A cura ao ar livre consiste em expor o concreto à intemperismos físicos e químicos, sem choques ou esforços que o comprometam. Sendo assim este concreto não terá mecanismos de proteção de retração, perda de umidade, controle de temperatura e, consequentemente, deficiência na formação dos cristais.

A cura em tanque de água caracteriza-se por imergir o concreto em água à temperatura de 25°C, protegendo este, principalmente nas primeiras idades, de possíveis retrações, agentes agressivos externos, perda de umidade, dentre outros benefícios. Bauer (2001, pg. 260), afirma que “quanto mais perfeita e mais demorada for a cura do concreto, tanto melhores serão as suas características”.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

A pesquisa foi iniciada estabelecendo os objetivos, os ensaios e o cronograma, auxiliados por consulta a bibliografias, referenciando os métodos aplicados as normas vigentes, estudando as características dos materiais empregados e o comportamento dos concretos. O cálculo do traço foi estabelecido utilizando o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), adaptado do método criado pelo ACI (*American Concrete Institute*), onde foi estabelecida a resistência característica a compressão (fcj_{28}) igual a 32 MPa.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS:

2.1.1 Aglomerante Hidráulico

Os aglomerantes hidráulicos, na presença de água, são os responsáveis pela coesão dos concretos, unindo todos os componentes e transformando o concreto em uma substância aparentemente homogênea. Para o concreto da pesquisa em questão foi utilizado o Cimento Portland CP IV -32 RS RRAA, apresentando em sua composição resistência a sulfatos (RS) e à reação álcali-agregado (RRAA), cuja massa específica é de 2940 Kgf./cm².

2.1.2 Agregado Miúdo

O agregado aplicado foi areia média derivada de leito de rio passante na peneira 4,75mm. Para tais agregados, foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária da areia. Na granulometria foi utilizada a série normal de peneiras, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003), peneirados uma amostra do material, e calculado o módulo de finura. O ensaio de massa específica foi realizado por meio do frasco de Chapman, seguindo as instruções da NBR NM 52 (ABNT, 2009). A massa unitária foi obtida, segundo NBR NM 45 (ABNT, 2006), inserindo o material no recipiente e adensando três camadas, com vinte e cinco golpes cada. Na tabela 1 seguem os resultados expressimos:

Tabela 1 – Características físicas dos agregados miúdos

| Módulo de finura | 2,231 |
|---|---------------------------|
| Tipo de areia | Média |
| Massa específica | 2604,17 kg/m ³ |
| Massa unitária compactada (MU _{comp}) | 1594,7 kg/m ³ |

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

2.1.3 Agregado Graúdo

Constitui-se o agregado graúdo desta pesquisa a brita granítica proveniente de britador no estado do Rio Grande do Norte. Foram utilizados dois diâmetros máximos com o intuito de conferir ao concreto maior coesão, os quais são 6,3mm e 19,0mm, na proporção de 60% de brita com diâmetro máximo deste para 40% de brita com diâmetro daquele. Foram realizados ensaios de massa específica e unitária descritos na tabela 2 abaixo, que mostra os resultados da caracterização.

Tabela 2 – Características físicas dos agregados miúdos.

| Grandeza | Brita com D _{máx} de 6,3 mm | Brita com D _{máx} de 19,0 mm |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Massa específica | 2513 kg/m ³ | 2513 kg/m ³ |
| MU _{comp} | 1464 Kg/m ³ | 1535kg/m ³ |
| MU _{comp} da mistura | 1595 kg/m ³ | |

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

2.1.4 Água

Reagente do cimento na hidratação dos compostos cimentícios, a água, de acordo com Isaia (2011) “é um componente vital do concreto porque, juntamente com o cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere a compacidade da matriz para dotar as estruturas da durabilidade e vida útil previstas em projeto”. Esta água é proveniente de distribuição pública, no município de Natal/RN, concessionada a empresa CAERN, Companhia de águas e esgotos do Rio Grande do Norte.

2.2 CARACTERIZAÇÃO E CONFEÇÃO DO CONCRETO

2.2.1 Cálculo do traço

O produto desta pesquisa foi dimensionado pelo método de dosagem adaptado pela ABCP, como supracitado, para atingir abatimento, no ensaio do tronco de cone, de 70 ± 10 mm. Pelas características apresentadas na confecção do concreto, definiu-se o desvio padrão (SD) igual a 4,0 MPa de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015, pg. 14) “O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.”

A resistência característica (*f_{ck}*) dimensionada foi de 32,0 MPa e sabendo que o desvio padrão apresentado na produção foi de 4,0 MPa, logo, a resistência característica ao 28 dias (*F_{cj28}*) é de 38,6 MPa, calculado pela equação abaixo.

Tendo a resistência aos vinte e oito dias, pôde-se obter o fator água/ aglomerante pela curva de Abrams. O fator obtido foi igual a 0,428.

Como decorrência do fim dos passos do método de dosagem ACI/ ABCP chegou-se ao traço representado na tabela 3, abaixo.

Tabela 3 – Traço realizado

| |
|---|
| Cimento: Areia : Brita 1 : Brita 2 : a/c |
| 1: 0,991: 0,996: 1,495: 0,428 |

Fonte: Acervo pessoal dos autores

2.2.2 Proporcionalamento e mistura do concreto

“O Proporcionalamento é o processo de medição e introdução dos ingredientes no misturador para o preparo do concreto” (MEHTA, 2008). A aferição da massa dos materiais foi feita em balança com precisão de 0,001 kg, com o intuito de conferir maior credibilidade ao trabalho. O processo de mistura foi mecânico (realizado em betoneira de 120L), apenas com a introdução manual dos materiais na betoneira. Primeiramente foram inseridos os agregados graúdos, já na proporção preestabelecida, e conseguinte a este uma fração da água. Após os pedriscos estarem bastante umedecidos foi adicionado o cimento. Esta etapa fora analisada visual e cuidadosamente, a fim de garantir que a pasta (matriz) tivesse preenchido toda a superfície de contato dos agregados, para conferir homogeneidade no concreto produzido. Ratificado este fato, em seguida foram adicionados os agregados miúdos e o restante da água, nesta ordem.

2.2.3 Teste de abatimento

Após 10 minutos de mistura (etapa descrita no tópico acima) foi retirada uma fração deste concreto para realização do Slump test, teste de abatimento no tronco de cone, segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O ensaio manteve conformidade com o dimensionamento estipulado no método, apresentando abatimento igual a 72,5mm.

2.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Esta etapa foi realizada conseguinte ao teste de abatimento, onde foram untados os corpos de prova cilíndricos 10x20mm com desmoldante e moldados três corpos de prova, por idade e cura, seguindo as instruções da NBR 5738 (ABNT, 2015). A qual estipula que o concreto deve ser inserido no molde com uma concha “U” e adensado em duas camadas, com dose golpes em cada. Após moldagem, todos os concretos permaneceram no laboratório durante 24h, cobertos com placas de vidro untadas com desmoldante para evitar a evaporação da água de amassamento e a perda de umidade. Concluída esta etapa de endurecimento inicial os corpos foram desmoldados e alocados para os dois ambientes de cura. O ambiente de cura por imersão consistiu em um tanque com água, condição real de controle tecnológico de concreto no mercado na construção civil. Já o ambiente de cura por exposição ao ar livre consistiu em um local externo e descoberto, exposto a todos os tipos de intempéries, porém sendo protegido de possíveis impactos e da influência de público externo a pesquisa. Os ambientes desta pesquisa estão apresentados na figura 1.

Figura 1 – À esquerda os corpos imersos em câmara úmida, à direita os corpos de prova nas condições de cura externa.



Fonte: Acervo pessoal dos autores

2.2.5 Ensaio de rompimento

O ensaio de rompimento dos corpos de prova foi realizado em prensa hidráulica, operada por software de sua fabricante, Contenco. A capacidade da prensa é de 100 toneladas, o que está em conformidade com a resistência de projeto do concreto. O teste foi desempenhado cumprindo os passos da NBR 5739 (ABNT, 2007), realizando o capeamento para garantir a tensão igual em toda a superfície e rompendo três corpos de prova por compressão axial de cada situação de cura para a análise da resistência. É importante salientar que antes do ensaio as faces da máquina e dos corpos de prova foram limpas e secas, e os corpos ensaiados ao menor tempo possível depois de retirados das condições de cura, procedendo de acordo com a norma acima citada.

Os rompimentos ocorreram em seis idades de cura diferentes, sendo estas 3 dias, 7 dias, 14 dias, 28 dias, 50 dias e 70 dias. A proximidade das primeiras idades foi proposital, pois nestas as reações de hidratação dos compostos cimentícios ocorrem de forma acelerada.

3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos no decorrer da pesquisa, analisando os sentidos e a ciência. O julgamento foi feito com base nos resultados dos ensaios de resistência a compressão, de forma comparativa, tendo estes como base para as conclusões geradas.

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em seis idades, supracitadas, onde foram respeitadas as tolerâncias tempo de execução do ensaio, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007) “os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma data especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na tabela 1. Em se tratando de corpos de prova moldados de acordo com a NBR 5738, a idade deve ser contada a partir da hora de moldagem”. A tabela 4 representa as tolerâncias, retiradas da norma de forma adaptada.

Tabela 4 – Tolerância para idade de ensaio

| Rompimento | Tolerância |
|------------|------------|
| 24 horas | 0,5 hora |
| 3 dias | 2 horas |
| 7 dias | 6 horas |
| 28 dias | 24 horas |
| 63 dias | 36 horas |
| 91 dias | 48 horas |

Fonte: Adaptado da NBR 5739 (ABNT, 2007)

Na tabela 5 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova, sendo estes a média do rompimento de 3 corpos de prova por processo de cura, nas diferentes idades ensaiadas.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

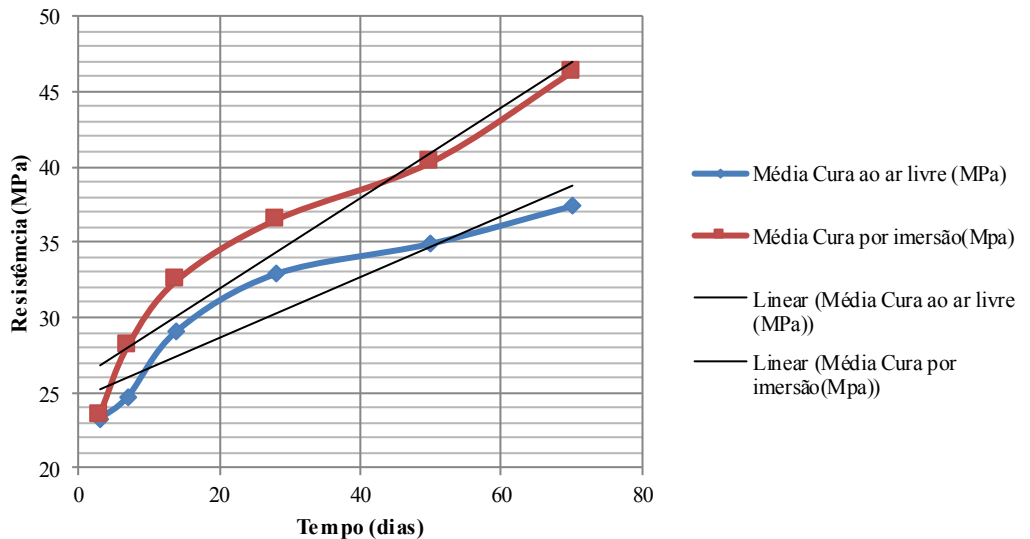
| DIAS | RF - Média Cura ao ar livre (MPa) | Média Cura por imersão (MPa) | Aumento (%) |
|-------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|
| 3 | 23,26 | 23,53 | 1,16 |
| 7 | 24,75 | 28,11 | 13,56 |
| 14 | 29,12 | 32,47 | 11,52 |
| 28 | 32,88 | 36,47 | 10,92 |
| 50 | 34,89 | 40,29 | 15,19 |
| 70 | 37,38 | 46,27 | 23,77 |
| MÉDIA | 30,38 | 34,52 | 13,64 |

Fonte: Acervo pessoal dos autores

Expõe-se nesta tabela o ganho, em porcentagem, de resistência nos concretos curados em tanque de imersão em água por idade, tendo o método referencial como 100%, já que este é o mais usual em obra.

O gráfico 1, a seguir, exprime os dados da tabela 5 relacionando as grandezas tempo e resistência à compressão axial, nas duas condições de cura, apresentando também a função linear de cada curva de resistência, no intuito de aprimorar as condições de análise.

Gráfico 1 – Curvas de resistência das duas condições de cura



Fonte: Acervo pessoal dos autores

Partindo para a análise dos resultados, calculou-se o desvio padrão das resistências obtidas, este sendo de 0,76 MPa, e observou-se o ganho de resistência que o concreto obteve com a realização da cura por imersão em tanque de água. Como a primeira idade de rompimento teve um ganho de apenas 0,27 MPa, a influência da cura foi desconsiderada. Este fato pode ser atribuído à hidratação ainda estar iniciando e houve pouca formação do C-S-H (Silicato de Cálcio hidratado), fase cristalina proveniente da hidratação que é responsável pela resistência. Nas outras idades a influência do processo de cura é notável, chegando à última idade com 23,77%, e tendo em média um ganho de 14% em relação ao referencial.

Sabendo que as reações de hidratação ocorrem de forma acentuada nas primeiras idades, presume-se que a cura vai ser muito importante nestas, já que os componentes microestruturais estarão sendo formados e o concreto não terá mecanismos de defesa contra agentes agressivos internos. Devido a isto, buscou-se uma análise que mostrasse o ganho a cada idade relacionado ao mesmo tipo de cura e, após isto, comparou-se os ganhos ao longo das idades nos dois processos. A visualização esquemática deste exame está na figura 2.

Figura 2 – Esquema de ganho de resistência por metodologia de cura

| | Média Cura ao ar livre (MPa) | Média Cura por imersão (MPa) | |
|--------|------------------------------|------------------------------|--------|
| 6,38% | 23,26 | 23,53 | 19,42% |
| 17,66% | 24,75 | 28,11 | 15,55% |
| 12,90% | 29,12 | 32,47 | 12,30% |
| 6,11% | 32,88 | 36,47 | 10,20% |
| 7,15% | 34,89 | 40,29 | 15,13% |
| | 37,38 | 46,27 | |

Fonte: Acervo pessoal dos autores

Os crescimentos destacados foram os que apresentaram maiores discrepâncias comparando os dois métodos de cura, apresentando um ganho notoriamente superior nos concretos curados em tanque de cura aos sete dias e aos setenta dias. Aos sete dias o resultado foi bastante expressivo, e a partir desse resultado, podemos indicar esta idade como tempo de cura mínimo em concretos, visto que aos três dias o ganho foi estatisticamente irrelevante. Após os sete dias os ganhos na resistência apresentam uma variação mínima até os cinquenta, onde a diferença no crescimento aumenta novamente. Este fato é entendido, pois o com a cura por imersão em água o concreto permanece protegido contra variações de temperatura, agentes externos e todos os fatores influenciadores citados neste trabalho.

4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES DE ESTUDO

Neste trabalho, pôde-se comprovar a influência positiva do processo de cura por imersão, em concreto habituais, por meio dos testes resistência a compressão axial. Pela bibliografia consultada, a superioridade dos concretos curados é devido a película de água ter exercido uma função protetora do concreto amenizando interferências externas e conferindo melhor condição para o desenvolvimento das reações intersticiais. Os resultados almejados foram atingidos satisfatoriamente, apresentando confiabilidade durante todo o experimento.

No tocante ao prosseguimento desta pesquisa, recomenda-se o monitoramento das variáveis externas como: temperatura, presença de salinidade e umidade do ar de forma comparativa nos dois processos de cura. A análise microscópica da formação dos cristais e das estruturas amorfas poderá ser mais um resultado o qual ratificará a influência da cura por imersão e de outros processos de cura.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTAND. **Sustentabilidade do concreto**. 2010. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2015. 6 p.

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2007. 9 p.

_____. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2007. 23 p.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2001. 8 p.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2001. 6 p.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2001. 8 p.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Mi: ABNT, 2003. 6 p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado, eu te amo.** 6. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 507 p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471 p.

ISAIA, Geraldo Cechella. A água no Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella et al. **CONCRETO: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 9. p. 311-346.

MEHTA, K. P.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. Cap. 1.

_____. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

